

Geologisches Jahrbuch Hessen

(Bis 1975 Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden)

Band 110

Mit 76 Abbildungen, 37 Tabellen und 9 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden

Wiesbaden 1982

Geol. Jb. Hessen	110	297 S.	76 Abb.	37 Tab.	9 Taf.	Wiesbaden 1982
------------------	-----	--------	---------	---------	--------	----------------

ISSN 0341-4027

Geologisches Jahrbuch Hessen

(Bis 1975 Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung zu Wiesbaden)

Band 110

Mit 76 Abbildungen, 37 Tabellen und 9 Tafeln

Herausgabe und Vertrieb

Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden

Wiesbaden 1982

Geol. Jb. Hessen	110	297 S.	76 Abb.	37 Tab.	9 Taf.	Wiesbaden 1982
------------------	------------	--------	---------	---------	--------	----------------

ISSN 0341-4027

Schriftleitung

Dr. JOE-DIETRICH THEWS, ALBERT KARSCHNY

Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Leberberg 9, 6200 Wiesbaden

Hinweis für Autoren

Manuskripte sind entsprechend den neu bearbeiteten „Bonner Anweisungen“ abzufassen: Richtlinien für die Verfasser geowissenschaftlicher Veröffentlichungen. – Ausgearbeitet von H. D. LANG, A. RABIEN, W. STRUVE und E. WIEGEL, 36 S.; Hannover 1976.

[Zu beziehen durch E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller); Johannesstraße 3A, D-7000 Stuttgart 1.]

Sonderdrucke der in diesem Jahrbuch (früher Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.) veröffentlichten Arbeiten können vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung bezogen werden.

© Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1982

Printed in Germany

Die in diesem Jahrbuch veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck, Vervielfältigung auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without written permission from the publisher.

Herstellung: Hans Meister KG, Kassel

Inhaltsverzeichnis

BARGON, E.:	
Tätigkeitsbericht des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung für das Geschäftsjahr 1981 (1. 1.–31. 12. 1981)	281
DIETRICH, H.:	
Das Devon-Profil vom locus typicus des Ballersbacher Kalkes (Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge). Mit 2 Abbildungen und 1 Tabelle	27
GRONEMEIER, K., FRESSEL, W., PEKDEGER, A., SCHENK, D., & WINKLER, A.:	
Mineralogisch-geochemische Untersuchungen der Verwitterungsvorgänge in Tonsteinen der Oberen Röt-Folge (Rhön). Mit 7 Abbildungen und 4 Tabellen.	117
HAUDE, R.:	
Ophiuren (Echinodermata) aus dem Karbon des Rheinischen Schiefergebirges. Mit 6 Abbildungen und 6 Tafeln	5
HENNINGSEN, D., & RABIEN, A.:	
Die hochoberdevonischen Feldspat-Sandsteine (Dasberg- bis Wocklum-Stufe) der mittleren Dillmulde (Rheinisches Schiefergebirge, Bl. 5216 Oberschedl). Mit 9 Abbildungen und 3 Tabellen	67
HERZBERG, A.:	
Hessisches Geologisches Schrifttum 1980 mit Nachträgen aus den Jahren 1966–1979	267
HÖLTING, B.:	
Geogene Konzentrationen von Spurenstoffen, insbesondere Schwermetallen, in Grundwässern ausgewählter Gebiete Hessens und vergleichende Auswertungen mit Grund-(Mineral-)Wässern anderer Gebiete. Mit 26 Abbildungen, 17 Tabellen und 1 Tafel	137
HOLTZ, S., & SCHOPPE, J.:	
Das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa, Vogelsberg (Hessen). Mit 8 Abbildungen und 6 Tabellen.	239
KÜMMERLE, E.:	
Beobachtungen zur Tektonik im Rheingau. Mit 1 Abbildung	101
KUPFAHL, H.-G.:	
Der Mittlere Buntsandstein auf Blatt 4822 Gudensberg (Nordhessen). Mit 1 Tafel.	91
SCHRAFT, A.:	
Ein FORTRAN IV-Programm zur Konstruktion von THIESSEN-Polygonen. Mit 1 Abbildung und 1 Tabelle.	257
SPEETZEN, E., STREBIN, M., & BISCHOFF, L.:	
Der Nensten-Quarzit, ein turbiditisches Beckensediment im oberen Mitteldevon des Ostsauerlandes (Rheinisches Schiefergebirge). Mit 7 Abbildungen, 1 Tabelle und 1 Tafel .	37
TOUSSAINT, B.:	
Zur Infiltration der Modau im Bereich ihres Schuttflächers (hessisches Oberrheingebiet). Mit 9 Abbildungen und 4 Tabellen.	215

Ophiuren (Echinodermata) aus dem Karbon des Rheinischen Schiefergebirges

Von

REIMUND HAUDE*

Kurzfassung: Aus dem Karbon des Rheinischen Schiefergebirges werden zwei Ophiuren-Arten aus den Kulm-Tonschiefern (ca. cd III α – β) und eine Art aus den Hangenden Alaunschiefern der unteren Namur-Stufe (cn E2) beschrieben: *Pectenura horni* n. g. n. sp. (Namur) ist der bisher jüngste Vertreter der Stenurida und nahe verwandt mit dem monotypischen *Protasteracanthion* aus dem Unterdevon des Hunsrückschiefers. Ein stark zerfallener *Furcaster* n. sp.? (Kulm) zeigt bisher kaum beachtete Skelett-Strukturen und -Elemente. Zwei als monotypisch angegebene Arten von *Chattaster* HAHN & BRAUCKMANN 1981 werden revidiert und als zwei Ontogenesestadien von *Ch. hueffneri* (SCHÖNDORF) den Protasteridae innerhalb der Oegophiurida zugeordnet.

Abstract: Three species of ophiuroids are described from the Carboniferous of the Rhenish Schiefergebirge: *Pectenura horni* n. g. n. sp. from the lowermost Namurian is the hitherto youngest representative of the Stenurida, and closely related to the poorly understood *Protasteracanthion* STÜRTZ from the Lower Devonian of Bundenbach. A fairly disarticulated *Furcaster* sp. of Lower Carboniferous age gives new results on the skeletal structure of the genus. The two only species of *Chattaster* HAHN & BRAUCKMANN 1981 from the Lower Carboniferous had to be redescribed. They are revised as growth stages of *Ch. hueffneri* (SCHÖNDORF) which belongs to the Oegophiurida, not to the Ophiurida.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1. Präparation	6
1.2. Aufbewahrungsorte des Originalmaterials	7
2. Stellerioidea LAMARCK 1816	7
2.1. <i>Pectenura</i> n. g.	8
2.1.1. <i>Pectenura horni</i> n. sp.	8
2.2. <i>Furcaster</i> STÜRTZ 1886	13
2.2.1. <i>Furcaster</i> n. sp.?	14
2.3. <i>Chattaster</i> HAHN & BRAUCKMANN 1981	19
2.3.1. <i>Chattaster hueffneri</i> (SCHÖNDORF 1915)	20
3. Schriftenverzeichnis	25

* Dr. R. HAUDE, Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Georg-August-Universität, Goldschmidtstr. 3, 3400 Göttingen.

1. Einleitung

Aus dem Karbon, genauer: nur dem Unterkarbon, des Rheinischen Schiefergebirges sind bisher erst vier Ophiuren-Exemplare bekannt geworden:

SCHÖNDORF (1915: 499) beschrieb aus dem „mittelkarbonischen Grauwackenschiefer“ (cu III α oder β , HAHN & BRAUCKMANN 1981: 13) von Eckelshausen bei Biedenkopf zwei Exemplare als „*Lapworthura Hüffneri*“; allerdings sind auf seiner Abbildung kaum Einzelheiten erkennbar.

W. E. SCHMIDT (1930: 71) erwähnte einen „unbestimmbaren Ophiurenrest“ aus dem Kulm-Kieselkalk von Richstein bei Laasphe. (Dieses Exemplar stand für die vorliegende Untersuchung noch nicht zur Verfügung.)

HAHN & BRAUCKMANN (1981) beschrieben eine einzelne Ophiure aus dem Kulm-Tonschiefer (cd III α) von Herborn als „*Chattaster dillensis* n. g. n. sp.“ und revidierten die Exemplare von SCHÖNDORF als *Ch. hueffneri*. Sie stellten die Gattung zu den Ophiurinae innerhalb der Ophiurida und diskutierten phylogenetische Beziehungen. Anhand der Abbildungen ist außer der Ophiurennatur und der Erhaltung der Exemplare kaum eine taxonomisch relevante Struktur erkennbar.

Die vorliegende Untersuchung erstreckte sich zunächst auf mehrere Exemplare einer kleinen Ophiure aus den Hangenden Alaunschiefern (cnE2, tiefe Namur-Stufe) bei Sundern sowie auf Armreste einer stark zerfallenen Ophiure aus den Kulm-Tonschiefern (cd III α , mittlere Visé-Stufe) von Steinberg bei Aprath. Bei der oberkarbonischen Form handelt es sich um eine neue Gattung, deren nächste Verwandte, außer im Mitteldevon der USA, im Rheinischen Schiefergebirge nur aus dem Hunsrückschiefer (Underdevon) bekannt geworden sind. Die unterkarbonische Form ist ein *Furcaster*, an dem wichtige Einzelheiten des Skelettbaus aufgezeigt werden können.

Im Zusammenhang mit der gleichzeitigen Untersuchung stratigraphisch älterer Ophiurinae wurden auch die gerade publizierten Originale von *Chattaster* HAHN & BRAUCKMANN 1981 herangezogen. Abgüsse der als Hohlformen (Negative) im feinklastischen Gestein erhaltenen Fossilien (s. u.) ergaben jedoch beträchtliche morphologische Abweichungen von den Beschreibungen, die HAHN & BRAUCKMANN (1981) allerdings auf die Beobachtung nur dieser Negativform gegründet hatten. Damit wurde die im folgenden ebenfalls mitgeteilte Revision von *Chattaster* erforderlich.

Danksagung:

Herr E. THOMAS (Witten) stellte mir den bisher einzigen Ophiuren-Rest von Gut Steinberg bei Aprath zur Verfügung; Herr Dr. M. HORN (Wiesbaden) ermöglichte die Untersuchung der außergewöhnlichen namurischen Ophiuren, Herr Dr. G. KAUFFMANN (Marburg) sandte das Originalmaterial der Sammlung des Geologisch-Paläontologischen Instituts, Marburg. Von Frau Dr. H. UFFENORDE (Göttingen) wurde das Manuskript durchgesehen. – Allen sei hiermit herzlich gedankt.

1.1. Präparation

Die Ophiuren liegen in einem Tonstein bzw. tonigen Siltstein. Da der Calcit der Skelettelemente weggelöst ist, sind die Fossilien als Hohlformen, d. h. als

(negative) Abdrücke erhalten. Nach vorsichtiger Versiegelung vorhandener Sprünge und Haarrisse des Gesteins mit Mecosan wurden jeweils mehrere (positive) Latex-Abgüsse hergestellt. Die ersten Abzüge dienten der Entfernung des in den Hohlformen enthaltenen Fe-Mulms, die späteren – nach Bedampfung mit Ammoniumchlorid – der Untersuchung bzw. als Abbildungsvorlage. (Wegen der meist hochdifferenzierten Skelettmorphologie der Echinodermen mit den zahlreichen Unterschneidungen ist die Verwendung von Modelliermassen, wie z. B. „Fimo“ – vgl. BECKER & LIPPMANN 1972 – ungeeignet, weil dadurch kleine Hohlräume leicht verfüllt und damit feine Strukturen zerstört werden.)

1.2. Aufbewahrungsorte des Originalmaterials

- Wi. – Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
 Gö. – Geologisch-Paläontologisches Institut u. Museum, Göttingen
 Mbg. – Institut für Geologie und Paläontologie, Marburg/Lahn

2. *Stelleroidea* LAMARCK 1816

Klasse *Stelleroidea* LAMARCK 1816
 Unterklasse *Ophiuroidea* GRAY 1840
 Ordnung *Stenurida* SPENCER 1951
 Unterordnung *Scalarina* HOTCHKISS 1976

Diagnose: *Stenurida* mit gegenständigen *Ambulacralia*.
 Familie *Klasmuridae* SPENCER 1925, emend. HOTCHKISS 1976

Diagnose: (s. HOTCHKISS 1976: 3): *Scalarina* mit flachen Armen ohne ausgeprägte *Ambulacralfurchen*; *Ambulacralia*-Paare nicht zu Wirbeln verschmolzen, Dorsalseite mit tiefer Median-Einsenkung, Ventralseite mit mehr oder weniger vollständig geschlossener, flacher Median-Aufwölbung, die auf das distal folgende *Ambulacralia*-Paar übergreift; *Sublateralialia* länglich-transversal; *Lateralialia* mit sattelartigen bis bifurkaten, einander überlappenden Basen und abradialem langem Sporn, Spitze des Sporns mit Stacheln oder kammartigem Anhang; keine interbrachialen Scheibenelemente, kein calcifizierter Madreporit; abradialer Sporn der *Lateralialia* nicht von dorsalem Integument bedeckt; radiale Spalte des Mundrandes mehr oder weniger geschlossen.

Bemerkungen:

Nach HOTCHKISS (1976: 3) enthielt die Familie bisher die Gattungen *Klasmura* RUEDEMANN 1916 (Oderdevon), *Antiquaster* KESLING 1971 (Mitteldevon) und (durch den im folgenden beschriebenen Fund von *Pectenura* n. g. bestätigt) *Protasteracanthion* STUERTZ 1886 (Unterdevon).

Verbreitung:

Durch *Pectenura* n. g. n. sp. wird die stratigraphische Reichweite der *Stenurida* (bisher: Unterordoviz bis Oberdevon) bis ins Oberkarbon erweitert.

2.1. *Pectenura* n. g.

Typus-Art: *Pectenura horni* n. sp.

Derivatio nominis: pecten (gr.) – Kamm, wegen der Form der Lateralia-Anhänge; ura (gr.) – Schwanz, entsprechend der üblichen Verwendung des Nomens bei der Benennung von Ophiuren.

Diagnose: (wegen Monotypie s. bei der Art.)

2.1.1. *Pectenura horni* n. sp.

(Taf. 1 Fig. 1–4, Taf. 2 Fig. 1–7; Abb. 1, 2)

Derivatio nominis: Nach Herrn Dr. M. HORN (Wiesbaden), der mir das wichtige Material zur Untersuchung überließ.

Holotypus: Das auf Taf. 1 Fig. 1, 2 im Abdruck abgebildete Expl. Wi-H1484/4(1) u. 8(1) (Gegenstücke).

Locus typicus: SW Sundern, Bönkhäuserbach-Stollen des Sorpe-Stausees, Bl. 4613 Balve, R 34 29 94 H 56 86 72.

Stratum typicum: Hangende Alaunschiefer der unteren Namur-Stufe (cn E2) (vgl. HORN 1960).

Paratypoide: Wi-H1484/3 u. 7(2) (Gegenstücke), Wi-H1484/7(1) u. 1(1) (Gegenstücke), Wi-H1484/4(2) u. 8(2, dazu gehört auch H1484/5) (Gegenstücke), Wi-H1484/6 u. 10 (Gegenstücke), Wi-H1484/2(1 u. 2).

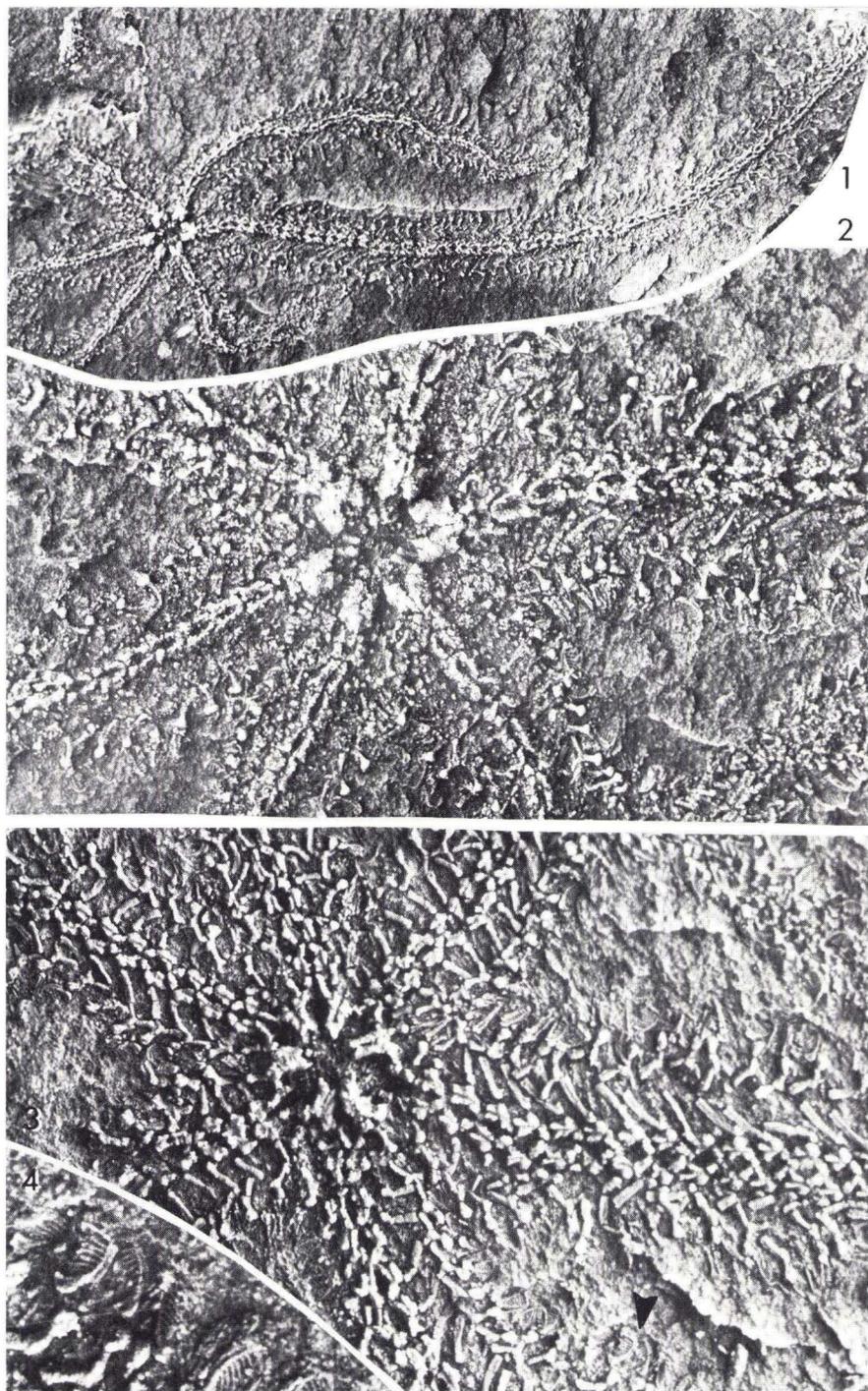
Material und Erhaltung: Mehrere kaum bis vollständig zerfallene Exemplare in verschiedenen Niveaus einer mindestens 2 cm dicken, feinlamellierten Tonschieferlage: 6 fast komplette Exemplare, davon 2 mit vollständigem Mundrand und allen Armen; zahlreiche unterschiedlich weit verstreute Skelettstücke und -elemente.

Diagnose: Klasmuridae mit 5(?) oder 6 sehr verschieden langen Armen, relativ langen Sublateralia und je einem kammförmigen Anhang pro Laterale anstelle von Stacheln.

Beschreibung

Körperscheibe: Eine Scheibe mit deutlich interbrachialen Bereichen war nicht erkennbar. Das dorsale Integument ist durchsetzt von granulae, die z. T. winzige Dörnchen tragen (Taf. 2 Fig.4). Ein Madreporit wurde nicht beobachtet.

Mundrand: Der Mund ist im Vergleich zur Armbreite relativ klein. Die kurzen Mundeckstücke sind relativ weit ventrad abgesenkt. Das mit ihnen jeweils fest über eine Synostose verbundene „1. Ambulacrale“ ist kompakt und ebenfalls recht kurz. Es bildet mit dem Mundeckstück einen relativ scharfen Winkel (Abb. 1A). Entsprechend groß ist der in der adradial gelegenen Grube für das 1. Ambulacralfüßchen zur Verfügung stehende Raum. Die Grube für das 2. Mundfüßchen liegt ventro-lateral im distalen Bereich des „1. Ambulacrale“. Die Furche des Nervenrings ist dorsal tief in das Mundeckstück eingeschnitten (Taf. 1 Fig. 2, Taf. 2 Fig. 5; Abb. 1A, C).



Tafel 1

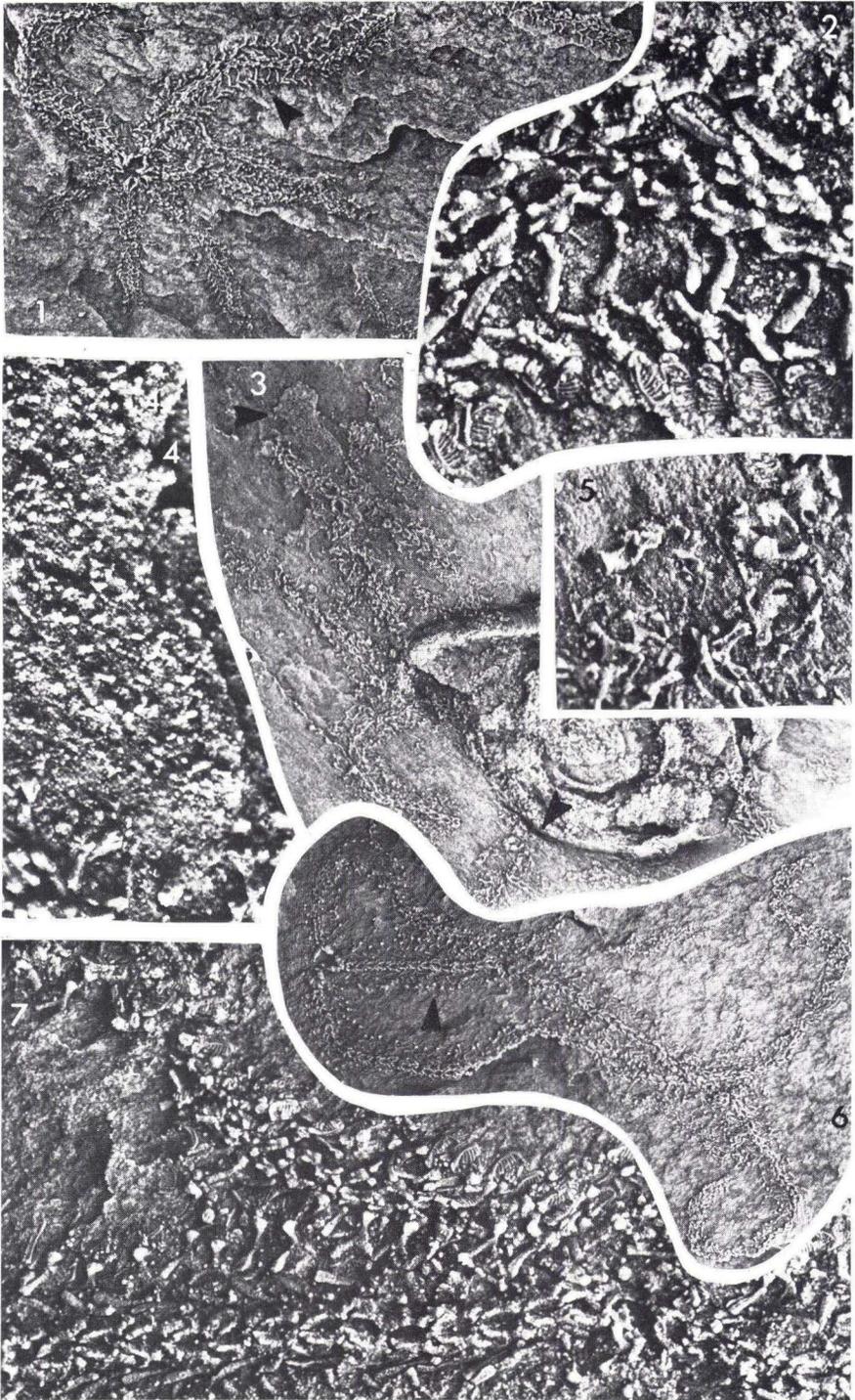
Pectenura horni n. g. n. sp.; Latex-Abzüge.

Fig. 1. Expl. Wi-H 1484/8(1), Dorsalseite ($\times 5$).

Fig. 2. Detail aus Fig. 1 ($\times 18$).

Fig. 3. Expl. Wi-H 1484/4(1), Ventralseite ($\times 18$).

Fig. 4. Detail aus Fig. 3, Kamm-Elemente ($\times 40$)



Tafel 2

Pectenura horni n. g. n. sp.; Latex-Abzüge.

Fig. 1. Expl. Wi-H 1484/7(1), Ventralseite ($\times 5$).

Fig. 2. Detail aus Fig. 1 ($\times 30$).

Fig. 3. auf Wi-H 1484/3 mehrere z. T. zerfallene Exemplare ($\times 5$).

Fig. 4. Detail aus Fig. 3, Körperwand mit granulae und Dörnchen ($\times 32$).

Fig. 5. Detail aus Fig. 3, mehrere Halbkiefer (dorsal) ($\times 18$).

Fig. 6. Expl. Wi-H 1484/4(2), Dorsalseite ($\times 5$).

Fig. 7. Detail aus Fig. 6 ($\times 18$).

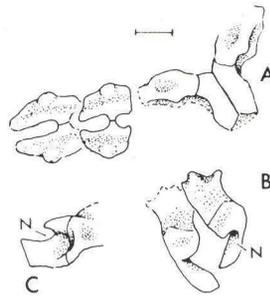


Abb. 1. *Pectenura horni* n. g. n. sp.; Maßstrich=0,2 mm. A. Kiefer und 2 proximale Ambulacralia-Paare, Ventralseite; Ambulacralfurche wahrscheinlich in proximaler Mitte der „Wirbel“ geschlossen; B. 2 Halbkiefer mit tiefen Furchen des Nervenrings (N), Dorsalseite; C. Halbkiefer, Adradialseite. [A, B: Skizzen nach Details aus Wi-H1484/7(2), C: aus Wi-H1484/3.]

Arme: Die vollständig erhaltenen Exemplare haben 5(?) bis 6 Arme von sehr ungleicher Länge, die an die sog. „Kometenform“ bei Seesternen erinnern (Taf. 1 Fig. 1) (vgl. HAECKEL 1878). Die größten Armlängen betragen 2,2 und 2,4 cm [bei Expl. Wi-H1484/4(2)] und 1,8 cm [bei Expl. Wi-H1484/8(1)].

Das Skelett der Arme ist sehr flach; das dorsale Integument scheint abradial bis über die Mitte der Lateralia zu reichen. Das distale Ende der Arme ist stumpf (Taf. 1 Fig. 1.)

Die Ambulacralia sind gegenständig angeordnet. Sie sind nicht zu Wirbeln verschmolzen sondern nur bindegewebig verbunden (postmortaler Zerfall). Die mediane Ventralseite dieser wirbelähnlichen Ambulacralia-Paare ist – vor allem im Distalteil – gegen den Zentralkanal nicht vollständig geschlossen. In der ventralen Wand beiderseits dieser medianen, annähernd rhombischen Öffnung verläuft je eine schmale Furche (Abb. 2). (Die adradialen Ränder dieser Furchen bilden die bei LEHMANN 1957: 150 u. Abb. 31 und STÜRTZ 1886: 94 erwähnten parallelen „winzigen Stacheln“, vgl. auch HOTCHKISS 1976: 3) Wahrscheinlich wäre der in einem ontogenetisch späteren Stadium geschlossene Medianbereich der Furche flach gewölbt (vgl. die Familien-Diagnose). In der Seitenmitte des „Wirbels“, etwa auf gleicher Ebene mit der Ventralfläche, bildet je ein kurzer Vorsprung die Basis für das zugehörige Sublaterale (Taf. 2 Fig. 2). Direkt dorso-distal des Vorsprungs liegt die Pore des Füßchenkanals. Differenzierte Füßchenteller waren nicht erkennbar. Die Dorsalseite des „Wirbels“ ist insgesamt etwas schmaler als die Ventralseite. Sie ist als relativ flache, länglich ovale Medianfurche mit scharfen Rändern ausgebildet. Der Boden der Furche ist wahrscheinlich noch nicht völlig geschlossen.

Auseinandergefallene „Wirbel“-Hälften zeigen in der perradialen Furche den Verlauf des Zentralkanals an. Vom tiefsten Mittelteil der Furche zweigt der Seitenkanal zum zugehörigen Füßchen ab. Die Verbindung mit den proximal und distal anschließenden „Wirbeln“ erfolgt über Fortsätze der Furchenränder; die distalen adradialen Vorsprünge der Ventralseite überlappen das proximale Ende des jeweils folgenden Ambulacrale (Abb. 2).

Die Sublateralia sind stäbchenartig, lang ($1\frac{1}{2}$ fache Ambulacralia-Länge) und schwach gekrümmt. Ihr adradiales Ende ist verdickt und trägt einen kurzen ventralen Vorsprung. In der abradialen Hälfte verbreitern sich die Stäbchen etwas und zeigen auf der konkaven Seite eine schmale flache Furche. Die Sublateralia sind an sämtlichen vorliegenden Individuen proximo-laterad gerichtet.

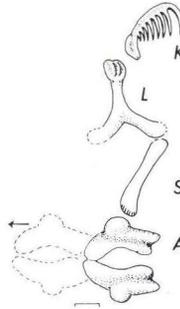


Abb. 2. *Pectenura horni* n. g. n. sp., Detail aus dem Arm; Maßstrich=0,1 mm (aus Wi-H1484/7(2). – A: Ambulacrale, K: Kamm-Element, L: Laterale, S: Sublaterale; Pfeil zeigt distad.

Die Lateralia sind Y-förmig gebaut und haben die gleiche Länge wie die Sublateralia. „Stiel“ und „Arme“ des Y sind etwa gleich lang. Die „Arme“ grenzen jeweils an zwei aufeinanderfolgende Sublateralia. Wahrscheinlich war nur je ein „Arm“ mit dem zugehörigen Sublaterale fester verbunden, während der andere bei Armkrümmungen Gleitfreiheit besaß. Das abradiale Ende der Lateralia ist verdickt und trägt 2 kurze, ventrad über die äußere gewölbte Fläche verlaufende Rippen (Abb. 2), mit denen ein „Kamm-Element“ artikuliert.

Dies kammartige Element hat etwa die Länge eines Ambulacrale und entspricht wohl einem umgewandelten Stachel. Es besteht aus einem dorsalen, beiderseits mit schmaler Furche versehenen Bogen, von dem aus 8 ventrad gerichtete Zinken abgehen (Taf. 1 Fig. 4, Taf. 2 Fig. 2). Der äußere abradiale Zinken, der das hakenförmig umgebogene Ende des Bogens darstellt, ist der stärkste; die adradial folgenden werden sukzessiv kürzer. Diese sind an der Basis lamellenartig gebaut und stehen sehr dicht. Der kleinste Zinken grenzt abradial an den „Gelenkkopf“ des Kamm-Elements. Dieser trägt auf der gewölbten Fläche vertikale Furchen bzw. Rippen, die mit den dazugehörigen Strukturen des Laterale korrespondieren. Das Kamm-/Laterale-Gelenk ermöglichte wahrscheinlich eine stabilisierte dorso-ventrale Kippbewegung des Kamm-Elements.

Beziehungen: Der Skelettbau von *Pectenura horni* n. g. n. sp. entspricht weitgehend dem von *Protasteracanthion* STÜRTZ und unterscheidet sich im wesentlichen durch die Kamm-Elemente, die Anzahl der Arme und deren ungleiche Länge. Ob es sich bei diesem Armbau, der zumindest bei Asteriden nicht

ungewöhnlich ist, bei den vorliegenden Vertretern der Stenurida um ein isoliertes Vorkommen handelt, können erst spätere Funde zeigen. Von den amerikanischen Gattungen *Antiquaster* und *Klasmura* unterscheidet sich *Pectenura* n. g. n. sp. vor allem durch relativ viel längere Lateralia mit kürzerem abradialen „Stiel“.

Im übrigen bestätigt der Skelettbau die Vermutung von HOTCHKISS (1976: 3), daß auch *Protasteracanthion primus* STÜRTZ zu den Scalarina innerhalb der Stenurida gehört. Über die Beziehungen zwischen *Protasteracanthion* und den amerikanischen Vertretern der Scalarina sowie die mögliche phylogenetische Stellung dieser Formen mit gegenständigen Ambulacralia vgl. HOTCHKISS (1976: 3).

Bemerkung: Mit *Protasteracanthion* und *Pectenura* sind die stratigraphisch jeweils ältesten und jüngsten Vertreter der F. Klasmuridae bisher nur im Rheinischen Schiefergebirge nachgewiesen.

Vorkommen: Untere Namur-Stufe, östlich Balve, Rheinisches Schiefergebirge.

2.2. *Furcaster* STÜRTZ 1886

Ordnung Oegophiurida MATSUMOTO 1915
 Unterordnung Zeugophiurina MATSUMOTO 1929
 Familie Furcasteridae STÜRTZ 1900

Typus-Art: *Furcaster palaeozoicus* STÜRTZ 1886

Diagnose und Diskussion: s. LEHMANN (1957: 63–65), SPENCER (1925: 312–316) mit folgender Ergänzung für Formen ab Silur:

Ambulacralia im Proximalbereich des Arms in Seitenansicht hoch rechteckig bis quadratisch; distale Artikulationsfläche der Ambulacralia mit ventraler Manschette, die den Zentralkanal dort umschließt, und korrespondierender Konkavität auf der Proximalfläche; Oralkante der Lateralia mit großen blattförmigen, imbrizierenden Furchen-Oszikeln.

Bemerkungen: Die Gattung *Furcaster* tritt vom Oberordoviz bis Oberkarbon auf. Die große Zahl aufgestellter Arten wurde von SPENCER (1925, 1927) auf zwei, *F. trepidans* und *F. leptosoma*, reduziert. Dagegen betonte LEHMANN (1957) die Eigenständigkeit der unterdevonischen Arten *F. palaeozoicus* STÜRTZ, *F. decheni* (STÜRTZ) und *F. zitteli* (STÜRTZ), eine Ansicht, die von SPENCER & WRIGHT (1966: U88) offenbar nicht anerkannt wurde.

Die Bearbeitung des vorliegenden Exemplars zeigte, daß eine – im Rahmen dieser Arbeit nicht mögliche – Revision der Gattung *Furcaster* dringend notwendig ist. Die festgestellten Strukturen sind nur teilweise direkt mit den von anderen Autoren beschriebenen Befunden vergleichbar. Das liegt vor allem auch an dem unzureichenden präparativen Zustand der früher bearbeiteten Objekte und an der z. T. nur begrenzten Brauchbarkeit der zeichnerischen Darstellung erkannter Strukturen (z. B. in LEHMANN 1957: 68). Außerdem wurden unerkannt publizierte Skelettelemente von *Furcaster* noch nicht berücksichtigt, so z. B. Wirbel aus

dem Oberkarbon der USA (WELLER 1930: Taf. 1 Fig. 1–3) oder aus dem Mitteldevon der Eifel (BECKER & WEIGELT 1975: Taf. 4 Fig. 4–6, Taf. 5 Fig. 4–5; wichtig: die Angaben zur „oral-, apical-, proximal-, distal-“ Orientierung der Objekte sind in den Tafel-Erläuterungen verwechselt!).

Aus den oben genannten Gründen wird der *Furcaster* in offener Nomenklatur geführt.

2.2.1. *Furcaster* n.sp.?

(Taf. 3 Fig. 1–4, Taf. 4 Fig. 1–5; Abb. 3–5)

Material: Rest eines stark zerfallenen Exemplars in Hohlform-Erhaltung (Gö. 848–1,2; Gegenstücke), Kulm-Schichten (cdIII α_3) von „Gut Steinberg“ bei Aprath, N Wuppertal-Vohwinkel (THOMAS 1981).

Erhalten sind eineinhalb weitgehend disartikulierte Arme und 3 Halbkiefer, außerdem sehr dünne Plattenelemente der Körperwand.

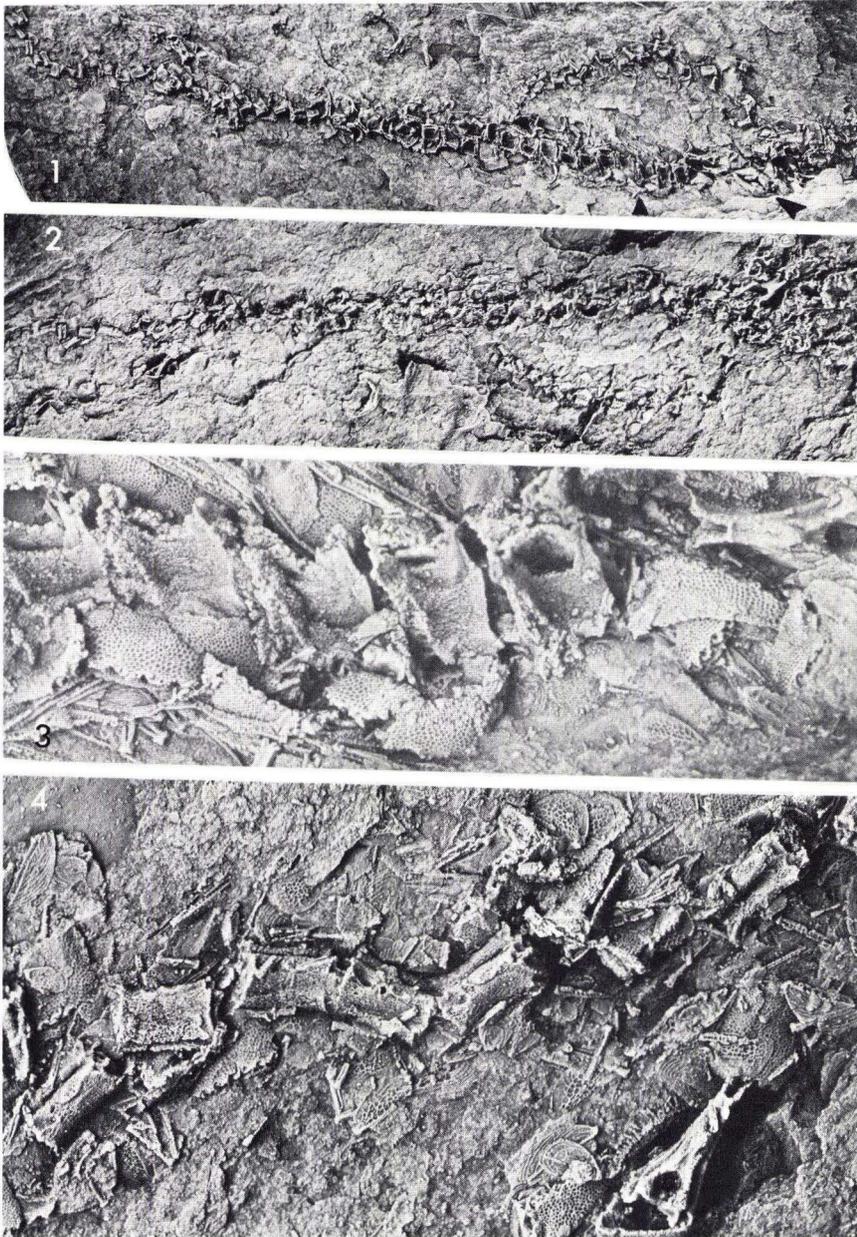
Beschreibung

Halbkiefer: (= je ein Mundeckstück ligamentär fest verbunden mit dem „1. Ambulacrale“.) Von den 3 vorliegenden Halbkiefern ist einer in seine beiden Elemente getrennt (Taf. 4 Fig. 2). Die relativ niedrigen Mundeckstücke haben auf ihrer proximalen interradianalen Artikulationsfläche stark ausgeprägte Krenulationsstrukturen, durchschnitten von einer horizontalen Furche (Taf. 4 Fig. 3). Auf der Ventralkante befinden sich 4 Grübchen als Ansätze für Mundstacheln. Auf der Dorsalseite verläuft die Furche des Nervenrings, etwas distal davon, vor allem im Bereich des „1. Ambulacrale“ des Halbkiefers, die Furche des Ringkanals des Hydrocoels mit den zwei Poren der Zufuhrkanäle zu den beiden ersten podiae. Von der Furche des Nervenrings führt eine Seitenfurche zur Grube des 1. Ambulacralfüßchens (Taf. 4 Fig. 2).

Die Adradialseite des „1. Ambulacrale“ ist im Bereich der proximalen Grenznaht als recht tiefe, annähernd horizontal gelegene Grube für das 1. Füßchen ausgebildet, die in das Mundeckstück hinüberreicht. Auf der Ventralseite des „1. Ambulacrale“ folgt weiter distal eine zweite Grube für das 2. Füßchen (möglicherweise liegt distal davon noch eine 3. Grube). Auf der ventrodistalen, relativ hoch über die Dorsalseite des distal angrenzenden Wirbels reichenden Distalfortsatzes des 1. Ambulacrale verlaufen 2 (3?) S-förmig geschwungene Furchen, die während des Kauvorgangs bei einer Gleitbewegung über den ersten Wirbel eine Rolle spielten.

Arme: Die noch vorhandenen 1½ Arme sind weitgehend disartikuliert. Die Wirbel liegen aber noch annähernd in ihrem ursprünglichen Abstand zueinander. Die Länge des fast vollständigen Arms beträgt mehr als 8 cm.

Die Wirbel sind im Proximalbereich des Arms in Seitenansicht hoch-rechteckig bis quadratisch, im Distalbereich niedrig-rechteckig. Am Distalende der proximalen Wirbel gehen deren Flanken in je einen relativ weit seitlich ausgezogenen, randlich scharfen Flügel über, an dem jeweils die Längsmuskeln ansetzten. Diese



Tafel 3

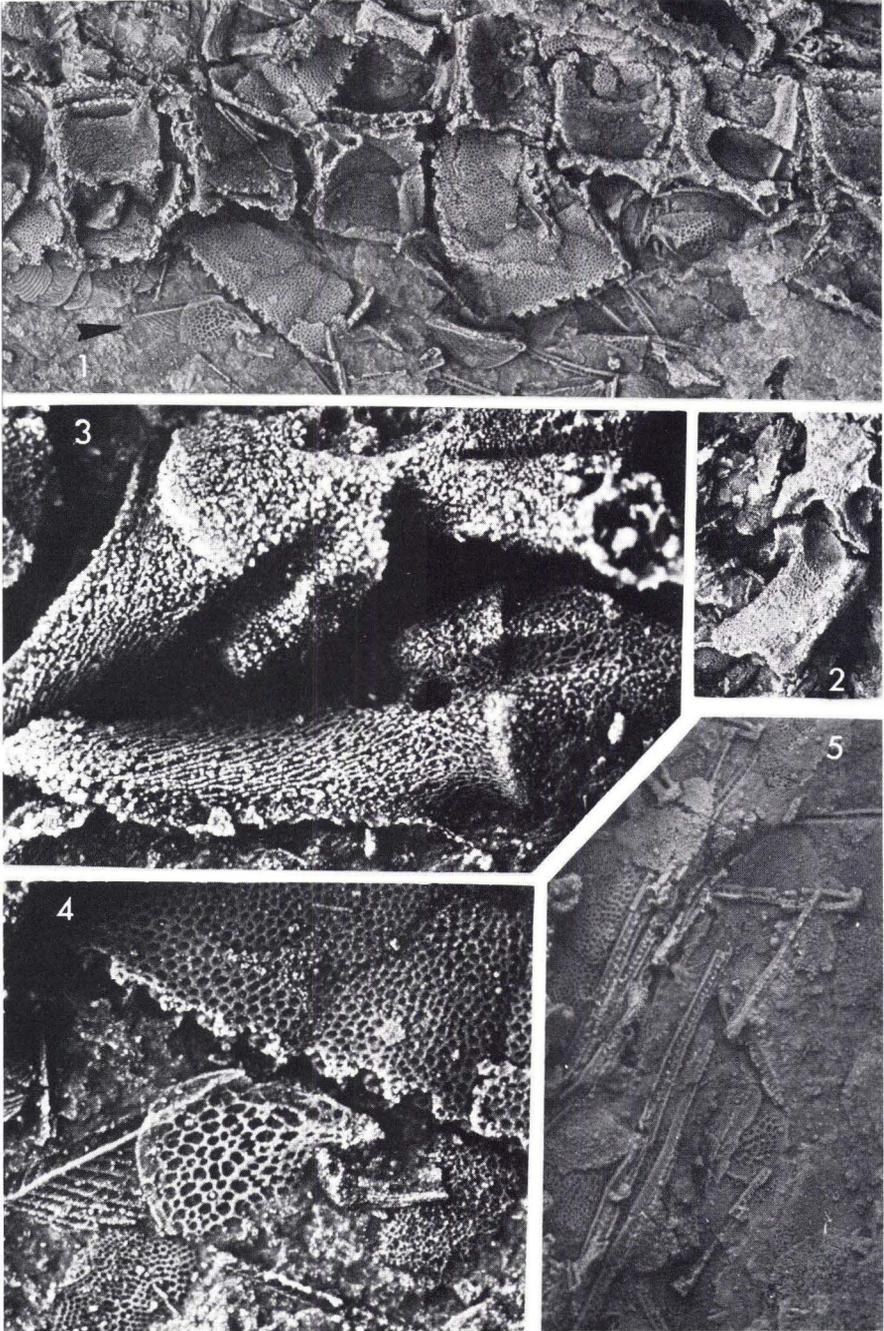
Furcaster n.sp.? Latex-Abzüge.

Fig. 1. Expl. Gö. 848-1; ($\times 2,5$).

Fig. 2. Expl. Gö. 848-2; ($\times 2,5$).

Fig. 3. Detail aus Fig. 1, mehrere zusammenhängende Wirbel im mittleren Armbereich, dorso-laterale Ansicht ($\times 10$).

Fig. 4. Detail aus Fig. 2, distale Wirbel; rechts unten Proximalseite eines Wirbels aus dem proximalen Armbereich ($\times 10$).



Tafel 4

Furcaster n.sp.?; Latex-Abzüge.

- Fig. 1. Detail aus Taf. 3 Fig. 1, Wirbel mit eingedrückten Flanken ($\times 10$).
 Fig. 2. Detail aus Taf. 3 Fig. 2, Adradialseite eines in Mundeckstück und „1. Ambulacrale“ zerfallenen
 Halbkiefers ($\times 10$).
 Fig. 3. Detail aus Taf. 3 Fig. 1, zwei Halbkiefer eines Arms mit Furchen des Nerven- und des
 Hydrocoelrings, letzterer mit Porenpaar ($\times 30$).
 Fig. 4. Detail aus Fig. 1, Mikrostruktur von Laterale, Blattoszikeln und Integument-Plättchen ($\times 30$).
 Fig. 5. Detail aus Taf. 3 Fig. 1, Vertikalstacheln ($\times 13$).

distalen Flügel sind bei *Furcaster* durch Verschmelzung zweier lateraler Flügel entstanden, indem der ursprünglich proximale Flügel zu dem distalen rückte (vgl. *F. trepidans*, s. SPENCER 1925: text-fig. 209). Restlücken zwischen den randlich verschmolzenen Flügeln der Wirbel im Proximalbereich des Arms sind bei dem vorliegenden Exemplar an der ventralen Außenkante (Abb. 3C) und durch einige – durch Kompaktion bedingte – Einbrüche eines wahrscheinlichen Hohlraums im Flügelinnern angedeutet. Sog. „eyelets“ als dorsale Restlücken der Flügel bei *F. leptosoma* und *F. palaeozoicus* (LEHMANN 1957: 64, SPENCER 1925: 315) fehlen.

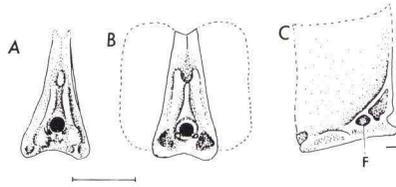


Abb. 3. *Furcaster* n.sp.?, Wirbel; Maßstrich = 1 mm; A. Proximalseite, B. Distalseite mit vermutetem Umriß der Flügel, C. Seitenansicht. – F: Füßchengrube; Pfeil zeigt distad.

Die Wirbel-Flanken in der proximalen Armhälfte sind leicht konkav. Sie zeigen ebenfalls typische – durch Kompaktion bedingte – Einbrüche in der dorsalen und ventralen Region. Damit ist eine recht geringe Wandstärke im Bereich der tiefen Dorsalfurche und dem eines großen Hohlraums des Zentralkanals ausgewiesen (Taf. 4 Fig. 1).

Im Proximalbereich des Arms ist die Ventralseite der Wirbel als flache Ambulacralfurche ausgebildet. Die Füßchengruben sind klein und liegen auf der latero-ventralen Kante der Flügel, adradial von deren bereits erwähnten Restlücken (Abb. 3C). Die Artikulationsstelle für das Laterale ist ein Doppelhöcker, der bei den weiter distal folgenden Wirbeln eher sattelartig wird. Die Dorsalseite der proximalen Wirbel ist sehr schmal und als tiefe Furche mit scharfen Seitenrändern ausgebildet. An den Wirbelenden ziehen die Ränder spornartig hoch und werden durch je eine schmale Querwand verbunden, zu der auch der Furchenboden aufsteigt.

Im Distalbereich des Arms ist die Ventralseite schmaler, die Ambulacralfurche etwas tiefer, die Füßchengruben sind kleiner (Taf. 3 Fig. 4). Die Artikulationsstelle für das Laterale ist zu einer langen Leiste mit flachkonkaver Kante ausgezogen. Die Dorsalseite ist hier weniger schmal, mit nicht so tiefer Furche und weniger scharfen Seitenrändern. Diese verdicken sich jeweils zum Proximalende des Wirbels, um dort dann als scharf abgeschnittene schräge Stufe zu enden.

Die Artikulationsflächen der Wirbel sind im Proximalbereich des Arms hoch giebelförmig ausgebildet (Abb. 3A, B). Die ventrale Hälfte wird von dem großkalibrigen Zentralkanal durchbohrt, der auf der Distalfläche von einer

vorkragenden Manschette eingefasst wird (Abb. 3B). Direkt ventro-lateral von der Manschette liegen zwei tiefe Gruben, in die zwei starke Zapfen der Proximalfläche des angrenzenden Wirbels eingreifen. Die Manschette wird von einem dorsal anschließenden Steg gestützt. Dieser endet an einer Vertiefung, in die wieder ein Zapfen der dorsalen Hälfte der Proximalfläche des angrenzenden Wirbels eingreift. Die Artikulationsflächen der Wirbel im distalen Armbereich sind als flachere Giebel, ansonsten aber gleich ausgebildet.

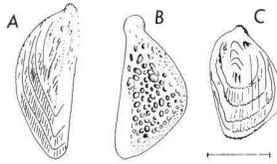


Abb. 4. *Furcaster* n.sp.? Blattszikel; Maßstrich = 0,5 mm. A. u. C. Abradialseiten, B. Adradialseite.

Die Lateralialia sind im proximalen Armbereich hoch dreiseitig, im Distalbereich niedrig und eher rechteckig. Sie sind vor allem im Ventralbereich recht stark adradial gekrümmt. Auffällig ist die sehr großporige Stereomstruktur auf der Außenseite (Taf. 4 Fig. 4). Die Artikulationsstelle zum Wirbel ist löffelförmig ausgebildet. Die Distalkante trägt 8–10 Grübchen als Ansatzstellen für die Vertikalstacheln. Die Grübchen sind annähernd quadratisch (Abb. 5). In ihrem Zentrum befindet sich ein an der Spitze perforiertes Zäpfchen, das durch einen dorso-ventral verlaufenden schmalen Steg mit der Grübchenwand verbunden ist. Die Ventralkante trägt ca. 4–5 längliche Grübchen als Ansatzstellen der Furchenelemente.

Die Vertikalstacheln sind 4kantig und haben eine typische Internstruktur aus pro Seite einer Serie von in geringem Abstand aufeinander folgenden dünnen Lamellen, die proximal gewölbt sind (Taf. 4 Fig. 5). Die äußeren, distal hochgezogenen Zipfel der Lamellen lagern sich spitzwinklig aneinander und verschmelzen in den Stachelkanten. Ihre nicht verschmolzenen Spitzen bilden auf der Kantenaußenseite eine doppelte Knötchenreihe. Die Länge der proximalen Stacheln beträgt ca. 4 mm und nimmt zum distalen Armbereich auf 2 mm und weniger ab.

Die Furchenelemente der Lateralialia sind nicht als Stacheln, sondern als recht breite Blättchen gebaut (Taf. 3 Fig. 4). Diese Blatt-Oszikel haben meist einen gerundet-asymmetrischen Umriss, z. T. ist eine Seite als gerade Kante ausgebildet (Abb. 4). Sie imbrizieren distal. Bei Vertikalstellung zeigen die Adradialflächen der Blättchen ein lockeres Stereomgeflecht, die Abradialflächen dagegen einen konzentrischen Bau aus ca. 5 dicht aufeinander liegenden, feinst radial gestreiften Lamellen. Die Länge der Blattszikel beträgt ca. 1 mm, die Breite ca. 0,5 mm.

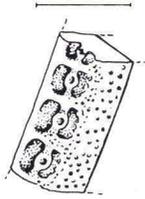


Abb. 5. *Furcaster* n.sp.?, Detail der Vertikalseite eines Laterale mit Ansatzstellen der Stacheln; Maßstrich = 0,5 mm.

Bemerkungen: Reste von bisher bei *Furcaster* nicht bekannten Blattozzykeln wurden auch bei Exemplaren von „*F. palaeozoicus*“ aus dem Hunsrückschiefer in der Sammlung des GPI Göttingen und der „Sammlung LEHMANN“ im Paläontologischen Institut, Bonn, festgestellt. Auch bei einem als „*F. leptosoma*“ bestimmten Exemplar aus dem Silur von Leintwardine im British Museum (Nat. Hist., E 13135) sind sie vorhanden.

Beziehungen: Soweit anhand der Literatur vergleichbar, scheint sich die vorliegende Form von den stratigraphisch älteren Arten mit schmalen Dorsalseiten proximaler Wirbel (z. B. *F. leptosoma* und *F. palaeozoicus*) durch vollständige Randverschmelzung der Wirbelflügel zu unterscheiden. Vor allem sog. „eyelets“ als dorsale Restlücken in den Flügeln sind offenbar nur noch bei den älteren Formen ausgebildet.

Vorkommen: Kulm-Tonschiefer (cdIII α) bei Wuppertal.

2.3. *Chattaster* HAHN & BRAUCKMANN 1981

Unterordnung Lysophiurina GREGORY 1856
Familie Protasteridae S. A. MILLER 1889

Typus-Art: *Lapworthura hueffneri* SCHÖNDORF 1915

Diagnose: (wegen Monotypie vorläufig): Scheibe schwach skelettiert, ohne Randverdickung; Armsegmente sehr schlank und niedrig, dorsaler Umriß der wechselständigen Ambulacralia schief trapezoidal mit stumpfer Distalbegrenzung, proximale Lateralialia mit scharf adradiad abgeknicktem Distalteil.

Bemerkungen: HAHN & BRAUCKMANN (1981) revidierten die Typus-Art von SCHÖNDORF und ordneten sie der Gattung *Chattaster* zu, die sie aufgrund eines Neufundes bzw. der Beschreibung einer neuen Art aufstellten, und die ihrer Ansicht nach zu den Ophiurinae innerhalb der Ophiurida gehören sollte. Da ihre Beschreibungen aber nicht mit der Skelettstruktur der Originale übereinstimmen, treffen auch weder ihre systematischen noch die evolutionsbezogenen Interpretationen zu. Das Gleiche gilt zwar auch für die morphologische Begründung des

novum genus; tatsächlich handelt es sich aber – allerdings aufgrund ganz anderer Befunde – nicht um eine *Lapworthura* bzw. eine andere bekannte Gattung, so daß der neue Name *Chattaster* Gültigkeit behalten muß.

2.3.1. *Chattaster hueffneri* (SCHÖNDORF 1915)
(Taf. 5 Fig. 1–5, Taf. 6 Fig. 1–6; Abb. 6)

- v * 1915 *Lapworthura Hüffneri* nov. spec. –
SCHÖNDORF, *Lapworthura Hüffneri*: 496–499, Taf. 19 Fig. 8.
- v • 1981 *Chattaster dillensis* n. sp. –
HAHN & BRAUCKMANN, Ein neuer Ophiurenfund: 9–13, Taf. 1 Fig. 1; Abb. 2.
- v • 1981 *Chattaster hueffneri* (SCHÖNDORF 1915) –
HAHN & BRAUCKMANN, Ein neuer Ophiurenfund: 13–16, Taf. 2 Fig. 2–3; Abb. 1.

Material und Erhaltung: Das Originalmaterial von SCHÖNDORF (1915) und HAHN & BRAUCKMANN (1981) liegt in Hohlform-Erhaltung in siltigen Tonsteinen vor. Ober- und unterhalb der Hohlform des besser erhaltenen Exemplars ist je eine Schichtfläche ausgebildet, so daß wahrscheinlich das Fossil und das umgebende Sediment einem einzigen Sedimentationsakt angehören (Mbg. 3863 A: Abdruck der Dorsalseite, B: der Ventralseite). Bei diesem Exemplar befindet sich der größere (nur scheinbar abgebrochene) proximale Teil eines Arms noch innerhalb der Platte Mbg. 3863B, während sein dorsad herumgeklappter distaler Teil freiliegt. Das größere Exemplar (Lectotypus, Mbg. 3543A: Abdruck der Dorsal-, B: Abdruck der Ventralseite) ist im Armbereich weitgehend zerfallen, die Armenden fehlen. Ein drittes Exemplar (Mbg. 3845, Fragment mit Rest der dorsalen Distalabschnitte der Halbkiefer eines Radius; Fragment des Gegenstücks auf Mbg. 3543B) zeigt nur drei weitgehend zerfallene Arme. [Bei allen Abbildungen in HAHN & BRAUCKMANN (1981) sind die „Oral-“ und „Aboralseiten“ verwechselt worden. Die Gegenstücke Mbg. 3863A u. B tragen dementsprechend unrichtige Beschriftung].

Bei SCHÖNDORF (1915: Taf. 19 Fig. 8) fehlt zwar die Angabe der abgebildeten Körperseite; aus seinem Hinweis auf die eindeutige Morphologie des Mundskeletts kann aber geschlossen werden, daß er bewußt die Dorsalseite abgebildet hat.

Diagnose (vorläufig, da Monotypie): Halbkiefer schmal und relativ lang mit weit distad übergreifendem Dorsalteil des „1. Ambulacrale“, niedrige Lateralien mit distalo-adradialem Knick, auf dessen abradialer Kante 2 relativ starke perforierte Stachelwarzen; Stacheln mit gestreckter Netzskulptur.

Beschreibung

Körperscheibe: Die Scheibenelemente liegen verstreut und bei allen drei Exemplaren etwas über das Distalende der Kiefer hinausreichend. Sie bestehen aus kaum mehr als 1 bis 2 Stereomlagen, zeigen aber bereits Vertikalstreben zur Bildung einer weiteren Lage.



Tafel 5

Chattaster hueffneri (SCHÖNDORF 1915); Latex-Abzüge.

Fig. 1. Expl. Mbg. 3543A, Dorsalseite ($\times 2,5$).

Fig. 2. Expl. Mbg. 3543B, Ventralseite ($\times 2,5$).

Fig. 3. Detail aus Fig. 1, Teil des Mundrandes; oben links Torusplatte (verlagert) und Zahnstacheln ($\times 10$).

Fig. 4. Detail aus Expl. Mbg. 3845, Dorsalseite eines kaum zerfallenen Armteils ($\times 11,5$).

Fig. 5. Stachel eines Laterale mit Netzstruktur (aus Mbg. 3543B) ($\times 15$).



Tafel 6

Chattaster hueffneri (SCHÖNDORF 1915), juveniles Individuum; Latex-Abzüge.

Fig. 1. Expl. Mbg. 3863A, Dorsalseite ($\times 3$).

Fig. 2. Expl. Mbg. 3863B, Ventralseite ($\times 3$).

Fig. 3. Detail aus Fig. 1, Ventralseite des umgeschlagenen, nur distal freiliegenden 5. Arms ($\times 7$).

Fig. 4. Detail aus Fig. 2, Dorsalseite des 5. Arms ($\times 7$).

Fig. 5. Detail aus Fig. 1, Mundbereich ($\times 7$).

Fig. 6. Detail aus Fig. 2, Mundbereich ($\times 7$).

Madreporit: Es konnte kein Skelettelement als Madreporenplatte diagnostiziert werden. Die Angaben von SCHÖNDORF (1915: 497) halte ich für unzutreffend. An den bezeichneten Stellen in HAHN & BRAUCKMANN (1981: Abb. 1, 2) ist mit Sicherheit kein Madreporit vorhanden (zumal es sich bei den Darstellungen außerdem um Dorsalseiten handelt).

Mundrand: Der Mund des kleineren Exemplars ist geschlossen, der des größeren offen. Bei beiden ist das Mundskelett weitgehend im Zusammenhang erhalten (Taf. 5 Fig. 1, 2, Taf. 6 Fig. 1, 2, 5, 6). Die Halbkiefer sind schmal und relativ langgestreckt (Länge der Halbkiefer bei Mbg. 3543 ca. 4 mm, bei Mbg. 3863 ca. 2,5 mm.). Ihr proximaler Abschnitt (= Mundeckstück) und der distale (= „1. Ambulacrale“) bilden einen nur schwachen Winkel miteinander. An einem Halbkiefer des größeren Exemplars hat sich die synostotische Verbindung der beiden Elemente gelöst. Der Distalbereich des „1. Ambulacrale“ reicht jeweils dorsal relativ weit über das folgende Ambulacrale hinüber. Bei dem größeren Exemplar liegen einige Zahnstacheln (Zahnpapillen) in annähernd originaler Position (Taf. 5 Fig. 3), daneben – etwas verlagert – eine rundliche Torusplatte mit 5–6 dichtstehenden, perforierten Wärzchen als Ansatzstellen solcher Stacheln.

Die Furche des dorsalen Nervenrings im Bereich des Mundeckstücks ist recht tief. Die Furche des Hydrocoelrings distal davon verläuft fast in Längsrichtung über die Dorsalseite des „1. Ambulacrale“ (Taf. 5 Fig. 3). Im distalen Bereich dieser Furche sind bei einem Halbkiefer von Mbg. 3543 A die 2 Poren zu erkennen, die zu dessen Füßchengruben auf der adradialen Ventralseite führen.

Arme: Sie sind schmal, schlank und werden – bei dem nahezu vollständig erhaltenen kleineren Exemplar (Mbg. 3863) – distal sehr dünn (Taf. 6 Fig. 1, 2). Die Armlänge (gemessen ab Kiefer) beträgt bei diesem Exemplar mit mehr als ca. 22 Segmenten (bezogen jeweils auf nur eine Reihe Ambulacralia oder Lateralialia) etwas mehr als 18 mm. Bei dem größeren Exemplar (Mbg. 3543) sind nach ca. 24 mm mit etwa 16 Segmenten die distalen Abschnitte der Arme abgebrochen.

Die Ambulacralia sind alternierend zueinander angeordnet (bei Mbg. 3863 gut, bei den anderen nur stellenweise erkennbar) (Taf. 6 Fig. 4, Taf. 5 Fig. 4). Von der Ventralseite gesehen ist die Lagerung der proximalen Elemente auch des kleineren Exemplars gestört und in ihrer originalen Anordnung nicht mehr erkennbar. Die Ambulacralia sind sehr schmal und mit Ausnahme der proximalen relativ lang. Ihre Dorsalseite hat einen schief-trapezoedriscen Umriß mit spitzwinkliger Proximal- und stumpfer Distalabgrenzung (Taf. 5 Fig. 4, Taf. 6 Fig. 4). Die Ventralseite ist in ihrer proximalen Hälfte durch eine abradial angrenzende Leiste verbreitert, an der das Laterale ansetzt. Die distale, schmalere Hälfte wird nur bei dem kleineren Exemplar (Mbg. 3863) durch eine Querfurche abgetrennt (Abb. 6A). Diese Querfurche ist der ventral noch nicht geschlossene Verbindungskanal vom Radialgefäß des Hydrocoel zur Füßchengrube. Danach wären hier die Ambulacralia noch in einem unfertigen Zustand. Stellenweise ist das Maschenwerk des Stereoms an den zuletzt gewachsenen Stellen zerbrochen und füllt teilweise als feiner Grus einzelne Skelettstrukturen.

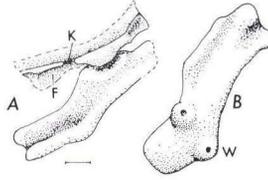


Abb. 6. *Chattaster hueffneri* (SCHÖNDORF); Maßstrich = 0,2 mm. A. Ambulacrale (Ventralseite) mit Laterale (adradiale Ventralseite) (aus Mbg. 3863B), B. Laterale (ventro-abradiale Ansicht) (aus Mbg. 3543B). – F: Teil der Fußchengrube, K: nicht geschlossener Seitenkanal zur Fußchengrube, W: divergent gerichtete Stachelwarzen.

Die Lateralialia sind – vor allem ab dem mittleren Armbereich – niedrig und langgestreckt. Ihr distaler Abschnitt ist in der proximalen Armhälfte recht scharf adradial abgelenkt (Abb. 6B). Der im distalen Armbereich besonders lange Proximalteil der Lateralialia ist auf der Abradialseite schwach konkav gekrümmt. Auf der lateralen kurzen, nicht ganz vertikal zur Längsrichtung stehenden Kante des Knicks befinden sich zwei divergent orientierte, relativ große Stachelwarzen mit tiefer zentraler Grube (Abb. 6B). Hinweise auf die Existenz von ventralen Stacheln fehlen. Die Adradialseite zeigt eine schwache Längsfurche. Im Proximalteil befindet sich eine breite Kante als Artikulationsstelle für das Ambulacrale. Über zwei Höcker auf der proximalen Adradialseite imbrizieren aufeinander folgende Lateralialia. Im distalen Armbereich schließen sich die Lateralialia über der Ventralseite, nicht aber über der Dorsalseite (Taf. 6 Fig. 3, 4).

Die zwei Stacheln pro Laterale haben im proximalen Armbereich etwa die $1\frac{1}{2}$ -fache Länge der Ambulacralia. Es ist keine typische Längsriefung ausgebildet, sondern eher eine längs-gestreckte Netzstruktur des Stereoms (Taf. 5 Fig. 5). Freistehende radiale Stereomstreben vor allem bei dem kleineren Exemplar zeigen, daß das Dickenwachstum noch nicht beendet war.

Nach der divergenten Stellung der Warzen (Abb. 6B) standen die Stacheln nicht parallel zueinander. Der dorsale Stachel wäre demnach in Normalstellung in großem Winkel, aber horizontal, vom Arm weggerichtet; der ventrale dürfte in kleinerem Winkel ventro-distad gerichtet gewesen sein.

Bemerkungen: HAHN & BRAUCKMANN (1981: 9) stellten Mbg. 3863 als neue Art von *Chattaster* aufgrund unterschiedlicher Größenrelation zwischen Kiefer- und Armlänge (bzw. Mund- und Gesamtdurchmesser) im Gegensatz zu *Ch. hueffneri* auf. In dieser als artspezifisch unterstellten Differenz wurde aber die Armlänge von Mbg. 3543 nur geschätzt und die (gemessene) Armlänge von Mbg. 3863 zu lang angegeben. Außer der damit eingeschränkten biometrischen Basis der Art-Begründung ist diese auch methodisch nicht gerechtfertigt, zumal mögliche Allometrie-Beziehungen zwischen den unterschiedlich großen Exemplaren nicht diskutiert wurden. Die erneute Untersuchung zeigt, daß einzelne Strukturunterschiede einfach durch ein unterschiedliches ontogenetisches Alter erklärt werden können.

Zur Links-Rechts-Orientierung von *Chattaster* verwendeten HAHN & BRAUCKMANN (1981: 9, 11, 12, 13) mit Hinweis auf HOTCHKISS (1978) die Lage des von ihnen angegebenen Madreporiten nach dem sog. „LOVEN'schen Gesetz“. HOTCHKISS (1978: 542, 543) hat dagegen aber betont, daß für Ophiuren gar nicht geklärt ist, ob bei Gültigkeit des LOVEN'schen Gesetzes der Interradius mit dem Madreporiten überhaupt eine konstante Position hat. HAHN & BRAUCKMANN (1981: 8, 11, 12, 15, 16) bezogen sich außerdem noch auf „Wirbel“ bzw. gegenständige („parallele“) Ambulacralia; das LOVEN'sche Gesetz kann aber nur bei Echinodermen mit alternierender Anordnung der Ambulacralia angewendet werden. [Im übrigen hätte bei LOVEN'scher Orientierung der Negativformen von Ventralseiten der Interradius mit dem Madreporit nach links-oben verlegt werden müssen; vgl. dagegen HAHN & BRAUCKMANN 1981: 9, 13, auch Abb. 1, 2, wo die Negativform der vermeintlichen „Ventralseiten“ (= Dorsalseiten) positiv gezeichnet erscheinen.]

Beziehungen: *Chattaster hueffneri* (SCHÖNDORF) unterscheidet sich von allen anderen Protasteridae durch die niedrige Armkonstruktion sowie die relativ große Länge der Halbkiefer und der Armsegmente, vor allem im mittleren Armbereich. Ein wichtiger Unterschied zu den anderen Protasteridae besteht auch in dem dorsalen schief-trapezoedrischen Umriß der Ambulacralia.

Falls es sich bei dem größeren Exemplar von *Chattaster* nicht auch noch um ein relativ juveniles Stadium handelt, könnte sich in der geringen Skelettierung der Körperscheibe und in der Verlängerung der Armsegmente ein Entwicklungstrend bei den Protasteridae andeuten; immerhin dürfte es sich ja bei *Chattaster* um einen der stratigraphisch bisher jüngsten Vertreter dieser Familie handeln.

Vorkommen: Unterkarbon von Hessen.

3. Schriftenverzeichnis

- BECKER, G., & LIPPMANN, G. (1972): Positiv-Abdrücke zarter paläontologischer Objekte. – Präparator, **18**: 80–83, 2 Abb.; Bochum.
- & WEIGELT, H. (1975): Neue Nachweise von Ophiuroidea im Rheinischen Schiefergebirge. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **103**: 5–36, 4 Abb., Taf. 1–8; Wiesbaden.
- HAECKEL, E. (1878): Die Kometenform der Seesterne und der Generationswechsel der Echinodermen. – Z. wiss. Zool., **30** (Suppl.): 424–445, 1 Taf.; Leipzig.
- HAHN, G., & BRAUCKMANN, C. (1981): Ein neuer Ophiuren-Fund aus dem Kulm von Herborn (Asterozoa, Unter-Karbon IIIa, Hessen). – Geol. Jb. Hessen, **109**: 5–18, 2 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden.
- HORN, M. (1960): Zur stratigraphischen Gliederung des tiefen Namur. Die Zone des *Eumorphoceras pseudobilingue* im Sauerland. – Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., **3**, 1: 303–342, 6 Abb., 5 Taf.; Krefeld.
- HOTCHKISS, F. H. C. (1976): Devonian Ophiuroids from New York State: Reclassification of *Klasmura*, *Antiquaster*, and *Stenaster* into the suborder Scalarina nov., order Stenurida. – New York State Mus., Bull. **425**: 1–19, 2 Abb., 10 Taf.; Albany, N.Y.
- (1978): Studies on Echinoderm ray homologies: LOVEN's law applies to Paleozoic ophiuroids. – J. Paleont., **52**: 537–544, 4 Abb.; Tulsa.

- KESLING, R. V. (1971): *Antiquaster magrumi*, a new unusual brittle-star from the Middle Devonian Silica Formation of Northwestern Ohio. – Contr. Mus. Paleontol. Univ. Mich., **23**: 181–191, 1 Abb., 4 Taf.; Ann Arbor.
- LEHMANN, W. M. (1957): Die Asterozoen in den Dachschiefern des rheinischen Unterdevons. – Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **21**: 160 S., 31 Abb., 55 Taf.; Wiesbaden.
- SCHMIDT, W. E. (1930): Die Echinodermen des deutschen Unterkarbons. – Abh. preuß. geol. L.-Anst., N.F., **122**: 1–92, 20 Abb., 3 Taf.; Berlin.
- SCHÖNDORF, F. (1915): *Lapworthura Hüffneri* nov. spec. – In: HÜFFNER, E.: Beiträge zur Kenntnis des deutschen Culms. –Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst., **35**, Tl. 1 (f. 1914): 496–499, Taf. 19, Fig. 8; Berlin.
- SPENCER, W. K. (1925 u. 1927): A Monograph of the British Paleozoic Asterozoa. – Palaeontogr. Soc., **76** u. **79**, T. 6 u. 7, S. 237–388, Taf. 18–24; London.
- & WRIGHT, C. W. (1966): Asterozoa. – In: MOORE, R. C.: Treatise on Invertebrate Paleontology, part U, (1): 4–107, Abb. 1–89; Lawrence.
- STÜRTZ, B. (1886): Beitrag zur Kenntnis palaeozoischer Seesterne. – Palaeontographica, **32**: 85–98, Taf. 8–14; Stuttgart.
- THOMAS, E. (1981): Das Unterkarbon von Aprath im Bergischen Land. – Aufschluß, **32**: 276–306, 1 Abb., 12 Taf.; Heidelberg.

Manuskript eingegangen am 5. 1. 1982

Das Devon-Profil vom locus typicus des Ballersbacher Kalkes (Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge)

Von

HARTMUT DIETRICH*

Kurzfassung: Das Profil des Ballersbacher Kalkes (Oberemsium – Unteres Eifelium) am locus typicus SSW Mittenaar-Ballersbach, Bickener Schuppe, Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge, wurde weiter aufgeschürft und neu aufgenommen. Die Bickener Schuppe gliedert sich in drei Teilschuppen auf, wobei der Ballersbacher Kalk und der Günteröder Kalk in Teilschuppe 2 und 3 übereinander aufgeschlossen sind. Die Teilschuppe 1 gehört der Mittleren Adorf-Stufe an. Teilschuppe 2 umfaßt das Oberemsium bis unterste Eifelium. Die Teilschuppe 3 reicht vom Oberemsium bis in das unterste Adorfium. Der Ballersbacher Kalk ist feinorganodetrithisch mit unregelmäßiger Fossilverteilung, geflasert, fein- bis mittelspätig, biomikritisch, von grauer bis graugrüner Farbe, zum Top hin dunkler werdend. Mit den Bezeichnungen „Ballersbacher“ und „Günteröder“ Kalk sind allein die unterschiedlichen Fazies sensu ERBEN (1953) gemeint. Die Altersbestimmung erfolgte anhand der Dacryoconariden-(Tentaculiten-)Chronologie nach ALBERTI (1978, 1979b, 1981).

Abstract: The type section of Ballersbach Limestone (Upper Emsian – Lower Eifelian) at locus typicus SSW Mittenaar-Ballersbach, Bicken Flake, Dill-Syncline, Rhenish Slate Mountains, was complete exposed and is new described. The Bicken Flake is divided into three parts, wherein Ballersbach and Günteröd Limestone are exposed one upon another in part 1 and 2. Part 1 of the flake belongs to the Middle Adorfian, part 2 completes the Upper Emsian and Lowest Eifelian and part 3 extends from the Upper Emsian to Lowest Adorfian. The Ballersbach Limestone is composed of fine organic detritus without any preferred orientation of fossils, flaser-structure, grey to grey-green colour, which becomes more and more dark to the top, fine to middle spathic, biomicritic. As Ballersbach and Günteröd Limestone are only meant the definition of facies sensu ERBEN (1953). The stratigraphy is based on the dacryoconarid (tentaculitid) chronology by G. ALBERTI (1978, 1979b, 1981).

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	27
2. Profilbeschreibung	28
3. Schriftenverzeichnis	33

1. Einleitung

Für vorliegende Arbeit wurden die Ergebnisse der Diplomarbeit und -Kartierung verwendet, die der Verfasser im Frühjahr und Sommer 1980 in der SE-Dillmulde anfertigte (DIETRICH 1981). Das Profil am locus typicus des Ballersba-

* Dipl.-Geol. H. DIETRICH, Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Universität Hamburg, Bundesstr. 55, 2000 Hamburg 13.

cher Kalkes wurde vervollständigt und im Liegenden und Hangenden des bisher bekannten (ZIEGLER 1971, ALBERTI 1978, 1979b, 1981) weiter aufgeschürft. Besonderer Aufmerksamkeit bedarf dieses Profil im Rahmen der z. Zt. stattfindenden Diskussion über die Neudefinition der Unter-/Mitteldevon-Grenze.

2. Profilbeschreibung

Die Lokalität „In der Bomm I“ gehört zur Bickener Schuppe der südöstlichen Dillmulde im ostrheinischen Schiefergebirge (Abb. 1,2). Der aufgelassene Steinbruch liegt am Berghang SSW Mittenaar-Ballersbach, Bl. 5316 Ballersbach, 300 m SE HP 325,1; R 34 55 110, H 56 15 600. Alle Schichtflächen fallen \pm steil nach SE ein. Das Profil setzt sich aus drei Teilschuppen zusammen, deren Liegendschenkel tektonisch unterdrückt sind. Die enge Verschuppung hat zur Folge, daß der Ballersbacher und untere Günteröder Kalk mit ihrem fast weltweit verbreiteten Farbwechsel (ALBERTI 1980, CHLUPÁČ et al. 1979) übereinander zweimal auftreten. Zusätzlich zu diesen stark hervortretenden Überschiebungen sind mehrere kleinere Störungen – sowohl Aufschiebungen als auch Querstörungen – vorhanden, deren Auswirkungen aber minimal und oft auch nicht genau festzustellen sind.

Im Eingang zum Steinbruch (Teilsch. 1) sind 1,50 m mächtige blauschwarze Tonschiefer aufgeschlossen, die von 3,50 mächtigen dunkelgrünen bis schwarzen, flache Kalklinsen führenden Tonschiefern überlagert werden (Abb. 2, linke Seite, ohne Banknr.). Nach freundlicher Bestimmung von Dr. P. BENDER, Marburg, enthalten diese Linsen folgende oberdevonische Conodonten:

Palmatolepis subrecta MILLER & YOUNGQUIST 1947

Ancyrognathus triangularis YOUNGQUIST 1945

Ancyrodella ioides ZIEGLER 1958

Die Datierung erfolgte nach KLAPPER & ZIEGLER (1979), die eine Einstufung in den höheren Teil der *Ancyrognathus-triangularis*- bis untersten Teil der Oberen *gigas*-Zone (= Mittleres Adorfium) zuläßt.

Im NE-Teil des Steinbruchs beginnt die Abfolge mit dickbankigen, grauen bis graugrünen, stark geflaserten Kalksteinen des Oberemsiums (Abb. 2, Bank 0–3). Im bergfeuchten Zustand lassen sich stellenweise bräunliche oder braunrote, feinkristalline Knollen erkennen, die bis 5 cm \varnothing erreichen. Der Fossilgehalt ist wie in allen anderen Bänken und Linsen als feiner Detritus unregelmäßig verteilt. Die Normallage wurde durch fossile Wasserwaagen im Schlibfbereich nachgewiesen. In den Bänken 0–3 wurden kleine, dünnschalige Brachiopoden, Crinoidenstielglieder, Ostracoden, Lamellibranchiaten, Gastropoden, kleine orthocone Nautiloideen, Trilobiten, Styliolinen und Tentaculiten beobachtet. Viele Fossilien sind nur im Schlibf erkennbar.

Zu ersten Mal tritt in Bank 3 *Nowakia sulcata sulcata* (F. A. ROEMER 1843) auf.

Bank 4 ist ein grauer, dickbankiger, geflasertes, sehr fossilreicher Kalk, der zum Hangenden dunkler wird. Neben massenhaft angereicherten Styliolinen und kleinen, dünnschaligen Brachiopoden sind auch Goniatiten [*Agoniatites* cf. *occul-*

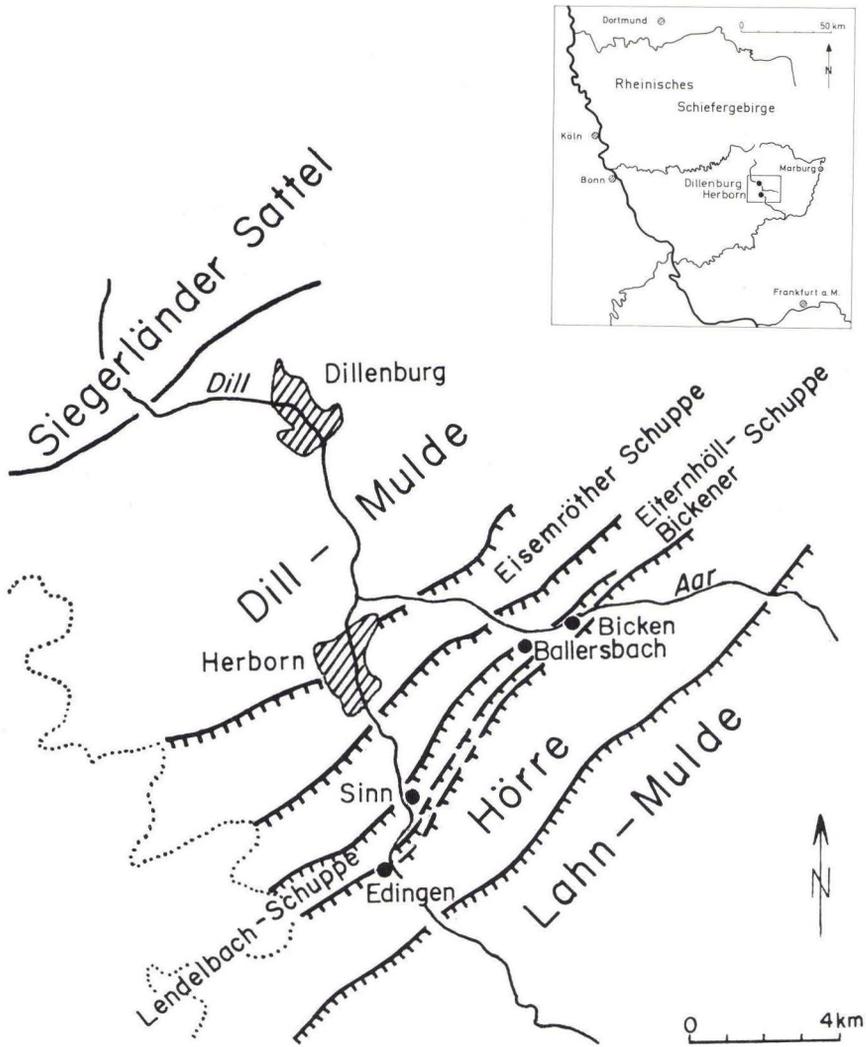


Abb. 1. Lage des Arbeitsgebietes. Nach GROSS-UFFENORDE (1972:94), verändert.

tus (BARRANDE 1865)], Trilobiten (*Koneprusites* sp.) und Lamellibranchiaten vertreten. *Nowakia procera* (MAURER 1880) tritt zum ersten Mal auf.

Am Top der Bank 4 endet die Ballersbacher Fazies und mit Bank 5 setzt die Günteröder Fazies ein. Die Flaserung der Karbonatgesteine und damit der Tongehalt nimmt zugunsten des Karbonatgehaltes ab; eine Differenzierung in Tonschiefer und zwischengeschaltete Kalkbänke und -linsen setzt ein. Die Farbe wechselt von unten nach oben von überwiegend grauen zu dunkelgrauen bis

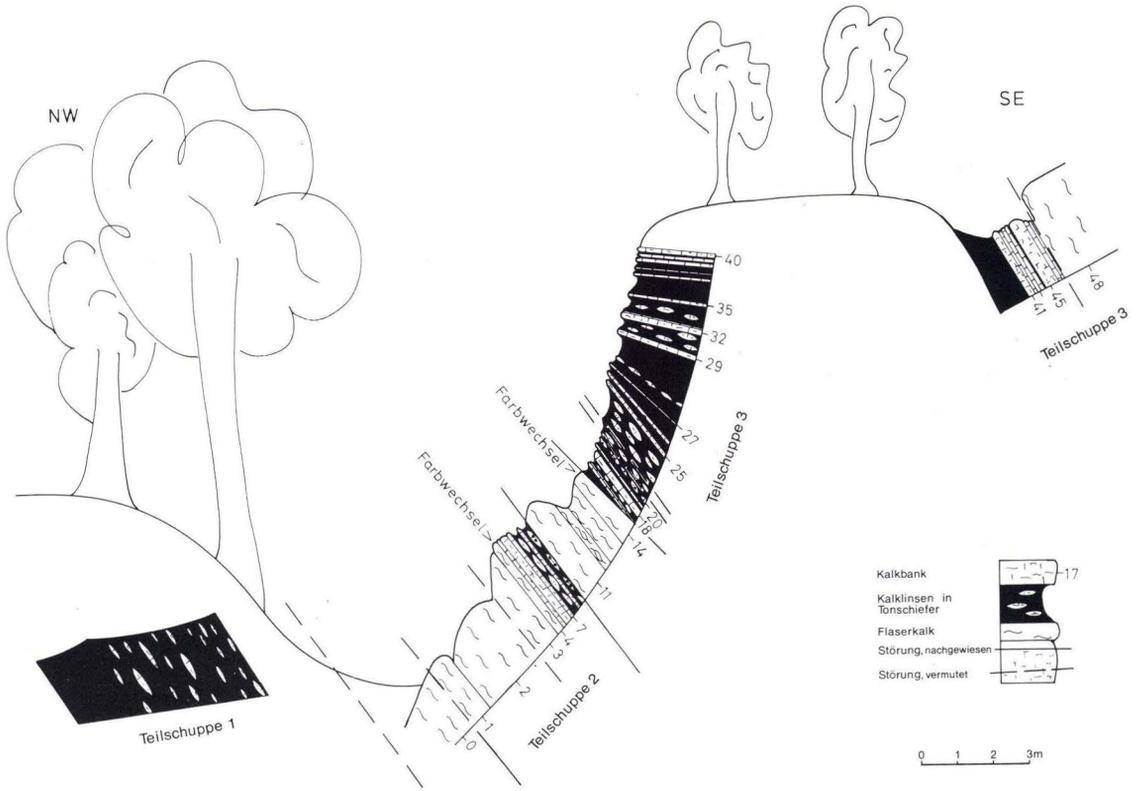


Abb. 2 Profil am locus typicus des Ballersbacher Kalkes. Aufgelassener Steinbruch SSW Mittenaar-Ballersbach (In der Bomm I). Aufgenommen von H. DIETRICH 1980.

blauschwarzen Tönen. Charakteristisch sind die scharenweise angeordneten weißen Sparitadern, die das Bänken 5 durchziehen. Lithologisch gleich setzen sich die Bänken und Linsen 6–9 als feinkörnige, biomikritische Kalke fort. Bank 7 enthält eine reiche Fauna, u. a. mit *Pinacites gr. jugleri* (F. A. ROEMER 1843) sowie *Nowakia procera* und *Nowakia s. sulcata*. In Bank 8 wurde ein allodapischer Kalk sensu MEISCHNER (1964) beobachtet. Eine Besonderheit bildet Schicht 10: In graubraunen Tonschiefern sind Linsen eines brecciösen, sehr fossilreichen, grauen, grünlich verwitternden Kalkes eingebettet. Die Extraklasten erreichen bis zu 1,5 cm \varnothing und bestehen in der Hauptsache aus Sphäroiden in dichter Kugelpackung, die einerseits aus Calcit, untergeordnet aus kryptokristallinem chalcedonartigem Material sind. Nach freundlicher Bestimmung von Herrn Prof. Dr. E. FLÜGEL, Erlangen, handelt es sich bei diesen Kugeln wahrscheinlich um Algen-Sporen, die durch verschiedene Grünalgen produziert wurden und bisher aus dem Devon nicht bekannt sind. Nach einer Störung setzt sich das Profil mit der Teilschuppe 3 und

Tab. 1. FAUNA DES PROFILS
"IN DER BOMM I"

Bank Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22/23/24	27	28	29	32	35	36	41	42	43	44	45	46	47	48			
Dacryoconarida:																																								
<i>Nowakia bianulifera</i> G.ALBERTI 1979																																							•	
- <i>otomari</i> BOUČEK & PRANTL 1959																																								o
- <i>chlupaciana</i> G.ALBERTI 1979																																								• o
- <i>pumilio</i> G.ALBERTI 1978																																								o ••
- <i>sulcata sulcata</i> (F.A.ROEMER 1843)					•	•	•	•						•																									o	
- <i>procera</i> (MAURER 1880)					•	•	•																																	
- <i>holyocera</i> G.ALBERTI 1981																																								
- <i>holynensis</i> BOUČEK 1964																																							a	
- <i>richteri</i> BOUČEK & PRANTL 1959																																								
<i>Nowakia</i> sp.																																							•	
Styliolinidae					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		
<i>Viriatellina</i> sp.																																							•	
<i>Homoctenus</i> sp.																																							•	
Cephalopoda:																																								
<i>Agoniatites occultus</i> (BARRANDE 1865)																																							o	
<i>Agoniatites</i> sp.																																							•	
<i>Parodicerellum?</i> sp.																																								•
<i>Pinacites gr. jugleri</i> (F.A.ROEMER 1843)																																							•	
<i>Anarcestes plebejus</i> (BARRANDE 1865)																																							•	
<i>Anarcestes</i> sp.																																							•	
Anarcestidae																																							•	
Orthocone Nautiloideen																																							•	
Trilobita:																																								
<i>Aulacopleura beyrichi</i> (NOVÁK 1890)																																							•	
<i>Phacops</i> sp.																																							•	
<i>Phacops (Chotecops)</i> sp.																																							•	
<i>Leonaspis pigra</i> (BARRANDE 1872)																																							•	
<i>Koneprusites</i> sp.																																							•	
Scutellidae																																							•	
Trilobitenreste																																							••	
Brachiopoda																																							••••	
Lamellibranchiata																																						••		
Gastropoda																																						••		
Ostracoda																																						••••		
Crinoidenstielglieder																																						••••		

• vorhanden

o cf.-Bestimmung

a aff.-Bestimmung

der von ZIEGLER (1971) und ALBERTI (1977, 1978, 1979b, 1981) beschriebenen Abfolge fort. Das vom Verfasser aufgenommene Profil läßt sich mit dem von ZIEGLER (1971) nur teilweise in Übereinstimmung bringen.

ZIEGLER (1971), ALBERTI (1977, 1978, 1979b, 1981), WEDDIGE (1977)		DIETRICH (1981)
Bank 15	entspricht	Bank 35
Bank 14 a/b	entspricht	Bank 32/33
Bank 4	entspricht	Bank 14
Bank 3	entspricht	Bank 13 oberer Teil
Aufschlußlücke	entspricht	Bank 13 unterer Teil
Aufschlußlücke	entspricht	Bank 12
Bank 2	entspricht	Bank 11 oberer Teil
Bank 1	entspricht	Bank 11 unterer Teil

Bank 11–13 werden wieder von grauen bis graugrünen, stark geflaserten, biomikritischen Kalken der Ballersbacher Fazies gebildet. Crinoidenstielglieder sind häufig. Goniatiten [*Anarcestus plebejus* (BARRANDE 1865)], orthocone Nautiloideen, Gastropoden, kleine, dünnchalige Brachiopoden, Trilobiten (Scutelliden) und Styliolinen sind vertreten. *Nowakia richteri* BOUČEK & PRANTL 1959 wurde in Bank 11 und *Nowakia holynensis* BOUČEK 1964 in Bank 12 und 13 gefunden (s. G. ALBERTI 1979). *Nowakia s. sulcata* setzt in Bank 14 mit dem Beginn des Farbwechsels ein (G. ALBERTI 1979).

Mit Bank 15 wird die Ballersbacher von der Günteröder Fazies abgelöst, die bis Bank 20 durch auffallend zahlreiche weiße ± dünne Sparitlagen und -adern gekennzeichnet ist. Neben *Pinacites* gr. *jugleri* (Bank 21) sind auch kleine Anarcestiden, orthocone Nautiloideen, Gastropoden, Lamellibranchiaten, Brachiopoden, Trilobiten, Styliolinen und Tentaculiten ± zahlreich vorhanden. Ostracoden treten stellenweise so zahlreich auf, daß sie linsenartige Ostracodite bilden (Bank 20, 22, 23, 24, 28). Bis Bank 28 setzt sich die Abfolge lithologisch unverändert als dunkelgraue bis blauschwarze Kalklinsen oder -bänkchen mit zwischengeschalteten Tonschieferlagen fort. In den Tonschiefern wurden keine Fossilien gefunden. Bank 29 schließt die dunkle Karbonatsedimentation mit einem dünnplattigen, tonreichen Brachiopodenpflaster ab. Auf einer Platte dieser Schicht, die die Eifelium/Givetium-Grenze markiert (ALBERTI 1979), wurden *Nowakia pumilio* ALBERTI 1978, *Nowakia* cf. *chlupaciana* ALBERTI 1979 und *Nowakia* cf. *otomari* BOUČEK & PRANTL 1959 gefunden.

Die Bänke und Linsen 30–40 bestehen aus grauen bis graublauen, dichten biomikritischen, geflaserten Kalken, deren Fossilgehalt gegenüber dem Liegenden merklich zurücktritt.

Nach einer Aufschlußlücke von ca. 6 m setzt sich das Profil mit Tonschiefern und einer weiteren Karbonatabfolge fort. Die Bänke 41, 42, 44–47 werden von dickbankigen, grauen, wenig geflaserten, glatten, biomikritischen Kalken des Oberen Givetiums gebildet, die reich an Styliolinen sind. Die dunkelgraue bis schwarze „*Terebratula-pumilio*“-Bank (SCHMIDT 1960) ist als Nr. 43 dieser Abfolge eingeschaltet. Neben dem flächendeckenden Auftreten von „*Terebratula*

pumilio“ sind Styliolinen vorhanden. *Nowakia bianulifera* ALBERTI 1979 in Bank 47 ist der letzte in diesem Profil auftretende Nowakiide.

Den Abschluß des Profils bildet ein dünnplattiger, grauer, fein und stark geflasierter Kalk mit Kramenzelstrukturen (Bank 48). Nach freundlicher Bestimmung von Herrn Prof. Dr. BAI SHUN-LIANG, Peking, enthält diese Bank folgende Conodontenfauna, die eine Einstufung in das unterste Adorfium zuläßt:

Polygnathus cf. cristatus HINDE 1879

Polygnathus dubius HINDE 1879

Polygnathus latifossatus WIRTH 1967

Palmatolepis cf. disparilis ZIEGLER & KLAPPER & JOHNSON 1976

Palmatolepis ovatinodosus ZIEGLER & KLAPPER & JOHNSON 1976

Ozarkodina semialternans (WIRTH 1976)

Schmidtofnathus hermanni ZIEGLER 1966

Danksagung: Bei der Durchführung meiner Arbeit wurde mir von vielen Seiten großzügige Hilfe gewährt. Ich danke hiermit allen Bürgern von Mittenaar-Ballersbach und -Bicken recht herzlich, die mich in irgendeiner Weise, sei es durch Baggerarbeiten, Transport des Probenmaterials oder mit Informationen und sonstiger Hilfe unterstützt und somit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein Dank gilt auch Herrn S. JOHN, Borken/Westf., Herrn Dipl.-Geol. K. HEYCKENDORF und Herrn cand.geol. H. MAURITZ (beide Hamburg) sowie den Angehörigen des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Universität Hamburg. Herrn Dr. A. RABIEN, Hess. L.-Amt für Bodenforschung, Wiesbaden, danke ich für seine Hilfe im Gelände. Herr Dr. P. BENDER, Marburg und Herr Prof. Dr. BAI SHUN-LIANG, Peking, bestimmten freundlicherweise die Conodontenfaunen, Herr Prof. Dr. E. FLÜGEL, Erlangen, begutachtete einen Dünnschliff. Ganz besonderen Dank schulde ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. G.K.B. ALBERTI, Hamburg, der mir diese interessante Aufgabe stellte und mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand. Er bestimmte die Dacryoconarida und Trilobita.

3. Schriftenverzeichnis

- AHLBURG, J. (1921): Über die Verbreitung des Silurs, Hercyns und Rheinischen Devons und ihre Beziehungen zum geologischen Bau im östlichen Rheinischen Schiefergebirge. – Jb. preuß. geol. L.-Anst., **40**: 1–82, 2 Abb., 1 Taf.; Berlin.
- ALBERTI, G. K. B. (1969): Trilobiten des jüngeren Siluriums sowie des Unter- und Mitteldevons. I. Mit Beiträgen zur Silur-Devon-Stratigraphie einiger Gebiete Marokkos und Oberfrankens. – Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., **520**: 1–692, 55 Abb., 8 Tab., 52 Taf.; Frankfurt a. M.
- (1971): Tentaculiten (Nowakiidae) aus dem Granzbereich Zlichovium/Eifelium und Bemerkungen zur Unter-/Mittel-Devon-Grenze nach Nowakiidae. – Senckenbergiana lethaea, **52** (1): 93–113, 6 Abb., 2 Taf.; Frankfurt a. M.
- (1977): Zur Dacryoconarida-Fauna aus dem Grenzbereich Unter-Devon/Mittel-Devon. – Senckenbergiana lethaea, **58** (4): 263–269, 2 Abb.; Frankfurt a. M.
- (1978): Tentaculiten (Dacryoconarida) und Trilobiten aus den Wissenbacher Schiefen und aus dem Ballersbacher Kalk (Devon, Rheinisches Schiefergebirge). – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1978** (5): 257–266, 2. Abb.; Stuttgart.
- (1979 a): Trilobiten des jüngeren Siluriums sowie des Unter- und Mitteldevons. II. – Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., **525**: 1–233, 20 Abb., 4 Tab., 20 Taf.; Frankfurt a. M.
- (1979 b): Zur Dacryoconariden-(Tentaculiten-)Chronologie des herzynischen Unter- und Mittel-Devons. – Senckenbergiana lethaea, **60** (1/3): 223–241, 6 Abb.; Frankfurt a. M.
- (1980): Neue Daten zur Grenze Unter-/Mittel-Devon, vornehmlich aufgrund der Tentaculiten und Trilobiten im Tafilalt (SE-Marokko). – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1980** (10): 581–594, 6 Abb.; Stuttgart.

- (1981): Zur biostratigraphischen Gliederung der Wissenbacher Schiefer (Unter- und Mittel-Devon) des östlichen Rheinischen Schiefergebirges mit Tentaculiten (Dacryoconarida) und Trilobiten. – Mitt. geol. paläont. Inst. Univ. Hamburg f. 1980, **50**: 77–90, 8 Abb., 3 Taf.; Hamburg.
- ALBERTI, H. (1968): Trilobiten (Proetidae, Otariionidae Phacopidae) aus dem Devon des Harzes und des Rheinischen Schiefergebirges (Beitrag I). – Geol. Jb., Bh. **73**: 1–147, 31 Abb., 8 Tab., 25 Taf.; Hannover.
- BAI SHUN-LIANG & HE JIN-HAN & JIN SHAN-YU & NING ZHONG-SHAN (1980): Devonian biostratigraphy of Guangxi, with remarks on the Lower/Middle Devonian Boundary. – Pap. 26th Internat. Congr. Geol., Stratigr. Paleont. Sect.: 1–14, 7 Abb.; Paris.
- BOUČEK, B. (1964): The tentaculites of Bohemia. Their morphology, taxonomy, ecology, phylogeny and biostratigraphy. – Czechosl. Acad. Sci.: 1–215, 36 Abb., 5 Tab., 40 Taf.; Praha.
- CHLUPÁČ, I. (1976): The Bohemian Lower Devonian stages and remarks on the Lower-Middle Devonian boundary. – Newsl. Stratigr., **5**(2/3): 168–189, 1 Abb., 6 Tab.; Berlin, Stuttgart.
- & LUKEŠ, P., & ZIKMUNDOVÁ, J. (1979): The Lower/Middle Devonian boundary beds in the Barrandian area, Czechoslovakia. – Geologica et Palaeontologica, **13**: 125–156, 16 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Marburg.
- DIETRICH, H. (1981): Geologische Kartierung im Paläozoikum der SE' Dillmulde unter besonderer Berücksichtigung einiger ausgewählter Detailprofile des Ballersbacher und Günteröder Kalkes (Rheinisches Schiefergebirge). – Unveröff. Dipl.-Arb. Hamburg: 1–110, 19 Abb., 5 Tab., 14 Taf., 8 Beil.; Hamburg.
- ERBEN, H. K. (1953): Stratigraphie, Tektonik und Faziesverhältnisse des böhmisch entwickelten Unterdevons im Harz. – Beih. Geol. Jb., **9**: I–VII u. 1–98, 22 Abb.; Hannover.
- (1960): Die Grenze Unterdevon/Mitteldevon im Hercyn Deutschlands und des Massif Armoricaïn – ihre Korrelation mit dem Barrandium. – Prager Arb.-Tag. Stratigr. Silur. u. Devon **1958**: 187–207, 1 Abb., 1 Beil.; Praha.
- (1962): Zur Analyse und Interpretation der Rheinischen und Hercynischen Magnafazies des Devons. – Symp.-Bd. 2. internat. Arb.-Tag. Silur/Devon-Grenze u. Stratigr. Silur u. Devon, Bonn, Bruxelles **1960**: 42–61, 6 Abb., 2 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GROSS-UFFENORDE, H. (1972): Devon und Unterkarbon der Dill-Mulde südöstlich Herborn Rheinisches Schiefergebirge). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **100**: 92–130, 10 Abb., 6 Tab. Taf. 7–8; Wiesbaden.
- KASIG, W. (1974): Eine Methode der Probenentnahme aus massigen Sedimentgesteinen. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1974** (2): 65–71, 3 Abb.; Stuttgart.
- (1975): Stratigraphie und Paläogeographie des Devon im Rheinischen Schiefergebirge (Fortschritte in der geologischen Erforschung 1955–1974). – Zbl. Geol. Paläont., I, **1974**: 312–362; Stuttgart.
- KAYSER, E. (1907): Erläuterungen und Geologische Karte Bl. Ballersbach. – Geol. Kt. Preußen u. benachb. B.-St., Lfg. **101**: 1–71, 12 Abb., 2 Taf.; Berlin.
- & HOLZAPFEL, E. (1894): Über die stratigraphischen Beziehungen der böhmischen Stufen F, G, H Barrande's zum rheinischen Devon. – Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. f. 1893, **14**: 236–284, 5 Abb., Berlin.
- KEGEL, W. (1928a): Geologische Karte 1:5.000 zum Gutachten Geophysik, Umgebung von Ballersbach. – Unveröff. Manusk., Arch. hess. L.-Amt Bodenforsch., 7437/28. Wiesbaden.
- (1928 b): Geologische Karte 1:25 000, Bl. Ballersbach. – Unveröff. Manusk., Arch. hess. L.-Amt Bodenforsch., 2671 a; Wiesbaden.
- (1934): Geologie der Dillmulde. – Abh. preuß. geol. L.-Anst., N. F., **160**: 1–48, 7 Abb., 18 Tab., 3 Taf.; Berlin.
- (1950): Sedimentation und Tektonik in der Rheinischen Geosynklinale. – Z. dt. geol. Ges., **100**: 267–286; Hannover.
- KLAPPER, G., & ZIEGLER, W., & MASHKOVA, T. V. (1978): Conodonts and correlation of Lower-Middle Devonian boundary beds in the Barrandian area of Czechoslovakia. – Geologica et Palaeontologica, **12**: 103–116, 3 Abb., 2 Taf.; Marburg.
- – (1979): Devonian conodont biostratigraphy. – In: HOUSE, M. R., & SCRUTTON, C. T., & BASSET, M. G. [Hrsg.]: The Devonian System. – Spec. pap. paleont., **23**: 199–224, 8 Abb., London.
- KOCKEL, C. W., & Mitarbeiter (1958): Schiefergebirge und Hessische Senke um Marburg/Lahn. – Samml. geol. Führer, **37**: 1–248, 28 Abb., 2 Taf.; Berlin.

- LIPPERT, H. J., & HENTSCHEL, H., & RABIEN, A., & KUTSCHER, F., & SCHRICKE, W., & STENGEL-RUTKOWSKI, W., & ZAKOSEK, H. (1970): Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000 Bl, 5215 Dillenburg, 2. Aufl.: 1–550, 18 Abb., 3 Beil., 56 Tab., 6 Taf.; Wiesbaden.
- LÜTKE, F. (1974): Unterdevonische Tentaculiten (Dacryoconarida) des SW-Harzes. 1. Die Gattung *Nowakia* GÜRICH, 1896. – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **145** (3): 306–327, 7 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- (1979): Biostratigraphical significance of the Devonian Dacryoconarida. – In: HOUSE, M. R., & SCRUTTON, C. T., & BASSET, M. G. [Hrsg.]: The Devonian System. – Spec. pap. paleont., **23**: 281–289, 2 Abb.; London.
- MEISCHNER, D. (1964): Alldapische Kalke, Turbidite in riffnahmen Sedimentationsbecken. – Dev. Sedimentol., **3**, Turbidites: 156–191, 5 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Amsterdam, London, New York (Elsevier).
- RABIEN, A. (1956): Zur Stratigraphie und Fazies des Oberdevons in der Waldecker Hauptmulde. – Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **16**: 1–83, 2. Abb., 2 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- REOUADT, H., & WEDDIGE, K. (1978): Lithostratigraphie und Conodontenfaunen der Wissenbacher Fazies und ihrer Äquivalente in der SW-Lahnmulde. – Mainzer geowiss. Mitt., **7**: 183–237, 14 Abb., 3 Tab., Mainz.
- SCHMIDT, H. (1925): Schwellen- und Beckenfazies im ostrheinisches Paläozoikum. – Z. dt. geol. Ges., Mber., **77**: 226–234, 3 Abb.; Berlin.
- (1960): Die sogenannte „*Terebratulapumilio*“ als Jugendform von Stringocephalen. – Paläontol. Z., **34**: 161–168, 4 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- (1962): Über die Faziesbereiche im Devon Deutschlands. – Symp.-Bd. 2. internat. Arb.-Tag. Silur/Devon-Grenze u. Stratigr. Silur u. Devon, Bonn, Bruxelles **1960**: 224–230, 4 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart).
- WEDDIGE, K. (1977): Die Conodonten der Eifel-Stufe im Typusgebiet und in benachbarten Faziesgebieten. – Senckenbergiana lethaea, **58** (4/5): 271–419, 9 Abb., 20 Tab., 6 Taf.; Frankfurt a. M.
- & ZIEGLER, W. (1977): Correlation of Lower/Middle Devonian boundary beds. – Newsl. Stratigr., **6** (2): 67–84, 3 Abb.; Berlin, Stuttgart.
- ZAGORA, K. (1962): Zur biostratigraphischen Bedeutung der Tentaculiten im thüringischen Unter- und Mitteldevon. – Geologie, **11** (5): 548–556, 2. Abb., 1 Tab.; Berlin.
- (1964): Tentaculiten aus dem thüringischen Devon. – Geologie, **13** (10): 1235–1275, 2 Tab., 9 Taf.; Berlin.
- ZIEGLER, W. (1971): Post-Symposium excursion, Sept. 15–18, 1971, to Rhenish Slate Mountains and Harz Mountains, a field trip guidebook. – Symp. Conodont Taxon., Marburg/Lahn, Sept. 4–18, 1971, Dept. Geosci., Univ. Marburg: 1–47, 25 Abb.; Marburg/Lahn.
- & KLAPPER, G. & JOHNSON, J. G. (1976): Redefinition and subdivision of the varcus-Zone (conodonts, Middle- ? Upper Devonian) in Europe and North America. – Geologica et Palaeontologica, **10**: 109–140, 5 Abb., 15 Tab., 4 Taf.; Marburg/Lahn.

Manuskript eingegangen am 22. 12. 1981

Der Nensten-Quarzit, ein turbiditisches Beckensediment im oberen Mitteldevon des Ostsauerlandes (Rheinisches Schiefergebirge)

Von

ECKHARD SPEETZEN, MONIKA STREBIN und LUTZ BISCHOFF*

Kurzfassung: Im östlichen Teil der variszischen Rheinischen Geosynklinale, die im N vom Old-Red-Kontinent und im S von der Mitteldeutschen Schwelle begrenzt wurde, lagerten sich im Mitteldevon feinklastische Sedimente in herzynischer Fazies ab (Wissenbacher Schiefer und Tentakuliten-Schiefer). Diese Schichtenfolge entstand in einem unmittelbar an den nördlichen Schelf anschließenden Beckenbereich bei Wassertiefen von 300–500 m. In die pelitischen Beckensedimente wurden in der höheren Eifel- und in der mittleren Givet-Stufe siltig-feinsandige Sedimente aus NW-Richtung eingeschüttet, die typische Kennzeichen von Turbiditen aufweisen. Diese Ablagerungen können Faunen des Schelfbereichs enthalten und wurden deshalb häufig fälschlicherweise in die rheinische (Flachwasser-)Fazies gestellt.

Der Nensten-Quarzit des mittleren Givets stellt eine dieser Turbidit-Abfolgen dar. Er erreicht auf Bl. 4618 Adorf eine Mächtigkeit von nahezu 50 m. Aus der Konfiguration des Schüttungsfächers kann man auf ein sehr begrenztes Ausgangsgebiet der sedimentliefernden Trübeströme schließen. Es hat vermutlich dort gelegen, wo eine synsedimentär wirksame NNW–SSE streichende Flexurzone (Altenbürener Lineament) den ehemaligen Schelfrand versetzte. Das Sedimentmaterial gelangte wahrscheinlich über rinnenartige Eintiefungen bis in den äußeren Schelf und von dort mit Trübeströmen in das südlich anschließende Becken.

Die Profile des Nensten-Quarzits auf Bl. 4618 Adorf liegen paläogeographisch ca. 20 km vom Ursprungsort der Trübeströme entfernt, während die distalen Ausläufer des schräg in das Becken vorstoßenden Schüttungsfächers vermutlich viel weiter gereicht haben dürften. Die Intensität der Turbidit-Schüttungen läßt innerhalb der Abfolge des Nensten-Quarzits eine deutliche Zyklik erkennen, die in höherer Ordnung im Sedimentationsgeschehen des gesamten Mitteldevons zu beobachten ist. Sie ist ein Hinweis auf überregionale Ursachen der Turbidit-Schüttungen, die vermutlich durch epirogen gesteuerte regressive Verlagerungen der Küstenlinie ausgelöst wurden, die eine Progradation von Deltaschüttungen und damit einen vermehrten Sedimentanfall im äußeren Schelf bewirkten.

[The Nensten Quartzite, a turbidite sequence in the Upper Middle Devonian of the eastern Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge)].

Abstract: During the Middle Devonian fine-grained clastic sediments of Hercynian facies (Wissenbacher Schiefer and Tentakuliten-Schiefer) were deposited in the eastern part of the Variscan Rhenish Geosyncline, bound by the Old Red Continent in the north and the Mitteldeutsche Schwelle in the south. This sequence was formed in a basin area immediately adjacent to the northern shelf (depth about 300–500 m). During the Upper Eifelian and the Middle Givetian, silty to sandy sediments of typical turbidite character were intercalated from a northwestern direction into these pelitic basin sediments. As these turbidite deposits may contain shelf faunas, they were often incorrectly assigned to the Rhenish (shallow-water) facies.

* Prof. Dr. L. BISCHOFF, Dr. E. SPEETZEN, Dipl.-Geol. M. STREBIN, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Münster, Corrensstr. 24, 4400 Münster.

The Nensten Quartzite of the Middle Givetian represents one of these turbidite sequences. Near Adorf it rises to a thickness of almost 50 m. According to the fan pattern, a fairly limited source area for the sediment-supplying turbidity currents may be assumed. It was presumably situated at the place where a synsedimentary active, NNW–SSE striking flexure zone (Altenbürener Lineament) displaced the previous shelf margin. The sedimentary material most probably arrived at the outer margin of the shelf through channels and from there it was transported into the southern adjacent basin by turbidity currents.

On sheet Adorf, the distance between the Nensten Quartzite profiles and the source area of the turbidity currents is about 20 km, while the distal parts of the fan, obliquely entering the basin, have presumably advanced much further. The intensity of turbidite deposition reveals a clear cyclic sedimentation within the sequence of the Nensten Quartzite that, in a high order of magnitude, can also be recognized in the sedimentary events during the entire Middle Devonian.

This indicates supraregional causes of the turbidite deposition, originated by epigenetically controlled regressive displacement of the coast line leading to a progradation of deltaic deposits and hence an increase in sedimentation on the outer shelf.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	39
2. Die Schichtenfolge des Mitteldevons	40
2.1. Wissenbacher Schiefer	40
2.2. Eisenberg-Quarzit	41
2.3. Tentakuliten-Schiefer	41
2.4. Nensten-Quarzit	42
3. Die Untersuchung des Nensten-Quarzits	43
3.1. Beschreibung und Vergleich der Profile	43
3.1.1. Profil A – „Koppen“	43
3.1.2. Profil B – „Brenschelt“	43
3.1.3. Profil C – „Ottlar“	43
3.1.4. Profil D – „Nensten-Berg“	44
3.1.5. Profil „Dommel“	44
3.1.6. Profil „Haardt“	45
3.1.7. Vergleich der Profile	45
3.2. Petrographie	47
3.2.1. Tonschiefer	47
3.2.2. Silt- und Feinsandsteine	47
3.3. Sedimentgefüge	50
3.3.1. Der Aufbau der Turbidit-Bänke	50
3.3.2. Synsedimentäre Deformationen	52
3.3.3. Strömungsrichtungen	53
3.4. Fossilinhalt	53
3.4.1. Spuren	53
3.4.2. Flora	54
3.4.3. Fauna	55
4. Paläogeographische Interpretation	56
4.1. Lage und Ausbildung des Schelf-Becken-Übergangsbereichs	56
4.2. Herkunft und Ursache der turbiditischen Schüttungen	58
4.3. Verbreitung des Nensten-Quarzits	58
4.4. Lage der Profile innerhalb des Schüttungsfächers	59
4.5. Lage, Richtung und Stärke der turbiditischen Schüttungen	60
4.6. Rekonstruktion des ehemaligen Schüttungsfächers	62
5. Schlußbetrachtung	63
6. Schriftenverzeichnis	64

1. Einleitung

Die mittel- und oberdevonischen Sedimentfolgen im östlichen Abschnitt der Rheinischen Geosynklinale im Bereich des Ostsauerländer Hauptsattels wurden stratigraphisch-faziell bisher recht intensiv bearbeitet. Im E-Teil dieses Abschnitts – im Raum Brilon–Adorf – beschränkten sich die Untersuchungen bisher allerdings weitgehend auf das oberste Mitteldevon und das Oberdevon (u. a. BOTTKE 1962, EDER 1975, EINSELE 1963, ENGEL 1975, MEISCHNER 1964/1971, PLESSMANN 1962, RABIEN 1956). Die Eifel–Givet–Schichtenfolge im östlichen Ostsauerländer Hauptsattel – bestehend aus Wissenbacher Schiefer, Eisenberg-Quarzit, Tentakuliten-Schiefern und Nensten-Quarzit – blieb hingegen in jüngerer Zeit weitgehend unbeachtet. Besonders über Sedimentologie, Paläogeographie und Fazies der von dem Schelf des nördlich gelegenen Old-Red-Kontinents stammenden überwiegend silikatischen Turbidit-Einschüttungen (Eisenberg-Quarzit, Nensten-Quarzit) in die pelitische Normalfazies (Wissenbacher Schiefer, Tentakuliten-Schiefer) des südlich anschließenden küstenferneren (Becken-) Bereichs liegen keine detaillierten Bearbeitungen vor. Diese Arbeit soll einen Beitrag zur Entstehungsgeschichte der „Quarzite“ des Mitteldevons als gröber-klastische turbiditische Sedimente des Schelf–Becken–Übergangsbereichs der Rheinischen Geosynklinale liefern. Da es im Eisenberg-Quarzit (Eifel-Stufe) nur wenige kleine Teilprofile gibt, die kaum weiterreichende paläogeographische Rückschlüsse erlauben, kommt für diese Untersuchungen hauptsächlich der Nensten-Quarzit in Betracht, der sehr viel besser aufgeschlossen ist.

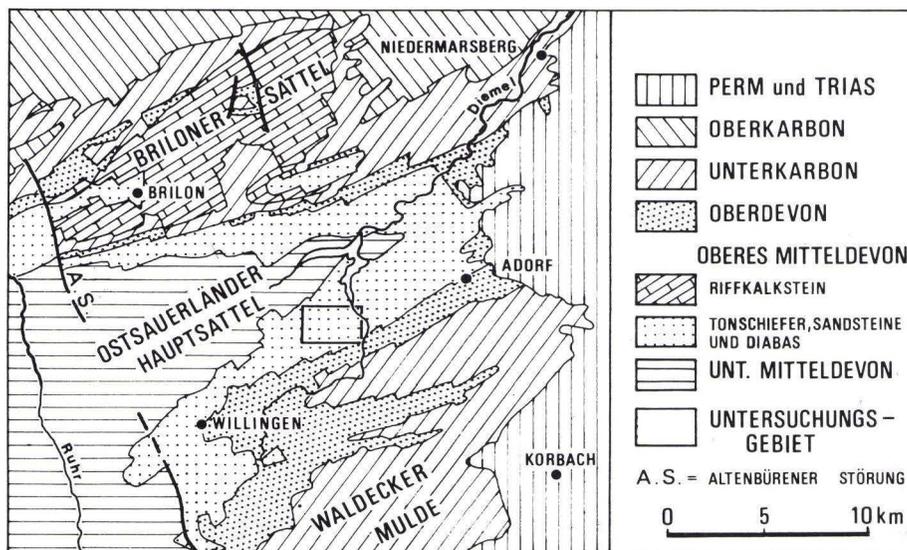


Abb. 1. Geologische Übersichtskarte des NE-Teils des rechtsrheinischen Schiefergebirges.

Ausgangspunkt der Untersuchungen war eine Diplom-Arbeit im Bereich der Typlokalität Nensten-Berg und Umgebung (STREBIN 1979). Die folgende sedimentologische Analyse des Nensten-Quarzits beruht auf der Aufnahme von Profilen im Bereich südlich des Diemelsees (Bl. 4618 Adorf), die alle makroskopisch erkennbaren Merkmale von Petrographie, primären Sedimentgefügen, synsedimentären Deformationen und Fossilinhalt erfassen. Weiterhin wurden Schrägschichtungsblätter, Streichrichtungen von Rippelkämmen und Richtungen von Fließmarken eingemessen und unter Berücksichtigung von Schichteinfallen und Achsenabtauchen zur Rekonstruktion der Schüttungsrichtungen verwendet. Das Mikrogefüge und der Mineralbestand des Nensten-Quarzits wurden anhand von Dünnschliffen untersucht.

2. Die Schichtenfolge des Mitteldevons

Die Mitteldevon-Sedimente im Bereich des Ostsauerländer Hauptsattels bestehen aus einer mächtigen Folge reiner Pelite mit pelagischer Fauna, in die sich bereichsweise turbiditische Silt- bzw. Feinsandsteine in dünnen Bändern bis zu mächtigen Bänken einschalten. Diese Schichtenfolge ist von PAECKELMANN (1936) ausführlich beschrieben worden. Die pelitischen Ablagerungen stellen die Normalsedimente eines Beckenbereichs dar und entsprechen der herzynischen Fazies nach KREBS (1979). Die siltig-feinsandigen Einlagerungen zeichnen sich unter anderem durch ihre abweichende Fauna, die Anklänge an die rheinische (Flachwasser-)Fazies zeigt, als allodapische Sedimente aus.

Bei episodischen Verstärkungen der Sedimentanlieferungen entstanden in den Wissenbacher Schiefern und in den Tentakuliten-Schiefern neben Häufungen dünner Turbidit-Lagen mächtige Turbidit-Folgen mit teilweise sehr dicken Einzelbänken (Eisenberg-Quarzit und Nensten-Quarzit). Der Nensten-Quarzit stellt somit nur eine, neben dem Eisenberg-Quarzit die mächtigste von zahlreichen Turbidit-Sequenzen des Mitteldevons des östlichen Sauerlandes dar.

2.1. Wissenbacher Schiefer

Im Kern des Ostsauerländer Hauptsattels treten als älteste Schichten die Wissenbacher Schiefer auf, die am Diemelsee im Straßenprofil nördlich von Heringhausen mit einer Mächtigkeit von ca. 200 m aufgeschlossen sind. SCHLÜTER (1928) stellte sie in das untere Mitteldevon.

In der im wesentlichen aus Tonschiefern aufgebauten Abfolge tritt die Schichtung durch mm-dünne Silteinlagerungen deutlich hervor. Einzelne Bänke mit Korngrößen bis in den Feinsandbereich weisen Mächtigkeiten bis zu 10 cm auf. Eine Ausnahme bildet eine 60 cm mächtige Sandsteinbank, die direkt auf einer 20 cm dicken Tuffitbank liegt. Zum Hangenden nimmt der Sandanteil allgemein zu. Verbreitet sind auch bis ca. 7 cm mächtige dunkle Kalkbänkchen und Lagen aus länglichen Kalk- oder Toneisenstein-Konkretionen. Außerdem kommen fossilführende, kalkige, bis 40 cm mächtige Tuffit-Turbidite vor.

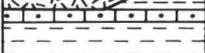
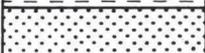
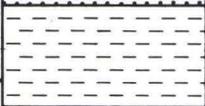
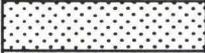
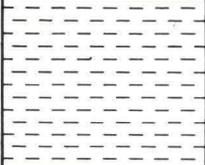
O.-DEVON	ADORF		BÄNDERSCHIEFER
	M.-DEVON	GIVET	
			OBERE TENTAKULITEN-SCHIEFER
			NENSTEN — QUARZIT
			UNTERE TENTAKULITEN-SCHIEFER
			EISENBERG — QUARZIT
EIFEL		WISSENBACHER SCHIEFER	

Abb. 2. Schichtenfolge des Mitteldevons und tiefsten Oberdevons am S-Rand des Ostsauerländer Hauptsattels (Bl. 4618 Adorf).

2.2. Eisenberg-Quarzit

Auf die Wissenbacher Schiefer folgt der Eisenberg-Quarzit, der relativ scharf mit einer Quarzit-Schiefer-Wechselfolge über den reineren Wissenbacher Schiefen einsetzt. Die Mächtigkeit beträgt ca. 50–60 m. Die nach SCHLÜTER (1928) noch vollständig in die Eifel-Stufe zu stellende Abfolge ist an der Diemetalstraße südlich des Muffert und auf der nordwestlich von Heringhausen in den Diemelsee ragenden Halbinsel gut aufgeschlossen. Der Eisenberg-Quarzit besteht aus einer Wechsellagerung von 10–15 cm (max. 30 cm) mächtigen quarzitischen Bänken und 10–20 cm mächtigen Tonschiefen, in die meistens noch cm-dicke Siltlagen eingeschaltet sind. Das Quarzit-Schiefer-Verhältnis beträgt etwa 1:1 bis 1:1,5.

2.3. Tentakuliten-Schiefer

An die Folge des Eisenberg-Quarzits schließen sich die Tentakuliten-Schiefer an, die im Anschnitt der Diemetalstraße von Heringhausen nach Giebringhausen aufgeschlossen sind. Sie werden durch den Nensten-Quarzit in Obere und Untere Tentakuliten-Schiefer unterteilt, die sich in ihrer Ausbildung nicht unterscheiden.

Die Mächtigkeiten lassen sich wegen der starken Spezialfaltung nicht eindeutig bestimmen und können deshalb nur ungefähr mit Maximalwerten von 150 m für die Unteren und 50 m für die Oberen Tentakuliten-Schiefer angegeben werden.

Nach SCHLÜTER (1928) setzt diese Schichtenfolge bereits in der Eifel-Stufe ein und reicht bis in die obere Givet-Stufe. Namengebend ist die in den Schiefen enthaltene Tentakuliten-Fauna. Daneben kommen auch Styliolinen vor. Ungefähr bei km 39,5 der Diemeltalstraße fanden sich neben dünnen Schalenresten ein Teil eines Phacopiden-Cephalons, schlecht erhaltene Orthoceraten und ein Exemplar von *Agoniatites* cf. *evexus* (VON BUCH), der im gesamten Mitteldevon vorkommt. Relativ häufig sind Lebensspuren erhalten. Sie treten unterhalb von turbiditischen Bänken, deren gröberes Material sie konservierte, oder als pyritgefüllte Gänge in den pelitischen Sedimenten auf.

Lithologisch und lithofaziell sind die dunkelgrauen bis schwarzen Tonschiefer den Wissenbacher Schiefen sehr ähnlich. Der Tonmineralbestand ist weitgehend in Chlorit und Hellglimmer umgewandelt, die gemeinsam mit sedimentären Phyllosilikatschüppchen die Feinschichtung bilden. Im allgemeinen sind die Schiefer karbonatfrei, örtlich treten allerdings auch mergelige Schiefer auf. Kennzeichnend für die Tentakuliten-Schiefer ist eine meistens vorhandene Bänderung durch mm-feine Siltlagen, die sich in einigen Bereichen zu einer Wechsellagerung von Tonschiefern mit 1–3 (max. 10) cm mächtigen, überwiegend silikatischen, teilweise kalkigen Silt- bis Feinsandlagen steigern kann. Außerdem schalten sich dunkle Kalkbänkchen ein, die zum Hangenden an Häufigkeit zunehmen und allmählich zur Flinzfazies des Grenzbereichs Mittel-/Oberdevon überleiten.

Das Material der einzelnen Karbonatbänkchen in den Unteren und im tieferen Teil der Oberen Tentakuliten-Schiefer leitet sich wahrscheinlich von periodisch auf dem Schelf des Old-Red-Kontinents gebildeten Karbonaten ab. Auffällig ist, daß die Karbonatlagen normalerweise in Bereichen vorkommen, in denen silikatische Turbidit-Einschaltungen zurücktreten oder gänzlich fehlen. Die Karbonatproduktion im Schelfbereich fand demnach nur statt, wenn die klastischen Einschüttungen vom Kontinent zurückgingen. Reine Karbonat- und Silikat-Turbidite scheinen sich deshalb in den Tentakuliten-Schiefen weitgehend auszuschließen. Bei den Kalk-Turbiditen der höchsten Tentakuliten-Schiefer handelt es sich bereits um Zeugen eines auf dem Schelfrand entstehenden Riffes (Briloner Massenkalk-Komplex), dessen Schutt überwiegend in den nach S anschließenden Beckenbereich transportiert wurde.

2.4. Nensten-Quarzit

Der Nensten-Quarzit setzt mit mm- bis cm-dünnen quarzitischen Lagen über milden schwarzen Tonschiefen (Untere Tentakuliten-Schiefer) ein. Er besteht aus einer Wechsellagerung von hell- bis mittelgrauen, siltig-feinsandigen, quarzitischen Bänken unterschiedlicher Zusammensetzung (Quarzite, Grauwacken, Kalksandsteine) und Mächtigkeit und dunkelgrauen bis schwarzen Peliten. Die Pelite werden im allgemeinen nur wenige Zentimeter, manchmal aber auch mehrere

Dezimeter dick und entsprechen faziell den Tentakuliten-Schiefern. Die Bankmächtigkeiten im Nensten-Quarzit schwanken zwischen 1 und 50 cm, nur selten treten höhere Werte auf. Zum Hangenden nimmt die Mächtigkeit der quarziti-schen Lagen allgemein wieder ab und es schließen sich reine schwarze Tonschiefer an (Obere Tentakuliten-Schiefer).

Das Verhältnis von psammitischem zu pelitischem Material innerhalb der Abfolge ist einem ständigen Wechsel unterworfen. Die psammitischen Bänke wurden aus Trübeströmen gebildet und stellen im Vergleich zu den Peliten allodapische Ablagerungen dar. An Fossilien fanden sich neben verschiedenen Spuren und Pflanzenresten nur schlecht erhaltene Tentakuliten, Ostrakoden und Schalenabdrücke. Der Nensten-Quarzit ist neben häufigen kleineren Anschnitten vor allem in zwei längeren Straßenprofilen am Nensten-Berg und in der Kurve unmittelbar nordöstlich von Ottlar gut aufgeschlossen. Diese Profile umfassen nahezu die gesamte, 50–55 m mächtige Schichtenfolge.

3. Die Untersuchung des Nensten-Quarzits

3.1. Beschreibung und Vergleich der Profile

3.1.1. Profil A – „Koppen“ (Bl. 4618 Adorf, R 34 77 570, H 56 89 490)

In einem Steinbruch am W-Hang des Koppen ist eine steilstehende Schichtenfolge aus dem unteren Teil des Nensten-Quarzits aufgeschlossen. Die Abfolge, die tektonisch der NW-Flanke eines Sattels entspricht, beginnt in den Unteren Tentakuliten-Schiefern. Im unteren Teil des Profils überwiegen Pelite, in die nur vereinzelt dickere Turbidit-Bänke (max. 50 cm) eingeschaltet sind. Im oberen Teil treten zwei Bereiche mit zahlreichen, mächtigeren Turbidit-Bänken (max. 78 cm) hervor. Zum Hangenden der insgesamt 34 m umfassenden Schichtenfolge stellen sich wieder zunehmend reinere Pelite ein.

3.1.2. Profil B – „Brenschelt“ (Bl. 4618 Adorf, R 34 78 120, H 56 88 600)

In kleinen Steinbrüchen am N-Hang des Brenschelt (ca. 850 m westlich von Ottlar) konnte ein Teilprofil von 21,5 m Mächtigkeit aufgenommen werden. Liegend- und Hangendgrenze der hier nach SE einfallenden Wechselfolge des Nensten-Quarzits sind nicht aufgeschlossen. Die Schichtenfolge beginnt mit einem Bereich, in dem Turbidit-Bänke überwiegen, die aber relativ geringmächtig bleiben (max. 22 cm). Darüber schließt sich ein pelitisch geprägter Profilabschnitt an, in den eine Folge etwas dickerer turbiditischer Bänke mit Mächtigkeiten bis zu 42 cm eingeschaltet ist. Im oberen Teil herrschen wieder turbiditische Bänke mit Mächtigkeiten bis zu 45 cm vor.

3.1.3. Profil C – „Ottlar“ (Bl. 4618 Adorf, R 34 79 350, H 56 88 875)

In der Böschung der Straßenkurve nordöstlich von Ottlar wird der Nensten-Quarzit in einer Sattelstruktur angeschnitten. Er ist in einer Mächtigkeit von ca.

50 m auf der SE-Flanke des Sattels von der Liegendgrenze bis nahe zur Hangendgrenze aufgeschlossen. Abgesehen von wenigen kleinen Aufschlußblöcken und einer kleineren Störungszone ergab sich ein nahezu geschlossenes Profil.

Über tiefschwarzen reinen Peliten der Unteren Tentakuliten-Schiefer tritt nach einem Übergangshorizont eine erste Häufung quarzitischer Bänke und nach einem mehr pelitisch geprägten Bereich eine zweite Folge quarzitischer Einschaltungen auf, die Mächtigkeiten bis zu 55 cm erreichen. Danach schließt sich ein Bereich mit einem ausgeglichenen Verhältnis von psammitischen und pelitischen Anteilen an, der in eine Folge dickerer quarzitischer Bänke überleitet. Zum höheren Teil ist die Schichtenfolge wieder mehr pelitisch geprägt und geht schließlich in reine Pelite über. Darüber setzt relativ scharf ein Abschnitt mit stärkerem Anteil turbiditischer Bänke ein. Der Abschluß des Profils besteht aus einem pelitreicherem Abschnitt, der vermutlich den Übergang zu den Oberen Tentakuliten-Schiefern darstellt.

3.1.4 Profil D – „Nensten-Berg“ (Bl. 4618 Adorf, R 34 81 100, H 56 90 050)

Der Nensten-Quarzit ist in der Böschung der Diemeltalstraße am W-Hang des Nensten-Berges (*locus typicus*) auf der NW-Flanke eines Sattels mit ca. 45 m nahezu vollständig aufgeschlossen. Im Bereich des Sattelkerns stehen sandstreifige Tonschiefer mit dünnen Feinsand- und Siltlagen an, die vermutlich dem untersten Abschnitt des Nensten-Quarzits entsprechen. Im mittleren Teil der Schichtenfolge tritt ein ca. 4 m mächtiger Lagergang aus Diabasmandelstein auf. Die Grenze zu den Oberen Tentakuliten-Schiefern ist am NW-Ende des Profils aufgeschlossen.

Das Profil läßt sich im Vergleich zu Häufigkeit und Mächtigkeit der turbiditischen Einschaltungen in mehrere Abschnitte unterteilen. Über einigen quarzitischen Bänken von 15–25 cm Mächtigkeit eines unteren, turbiditreichereren Abschnitts folgt zunächst ein Bereich mit ausgeglichenem Verhältnis pelitischer und psammitisch-turbiditischer Anteile. Darüber setzt wieder ein turbiditreicherer Abschnitt mit zahlreichen, bis zu 42 cm mächtigen Bänken ein. Im nächsten Abschnitt treten die turbiditischen Einlagerungen deutlich zurück, nur wenige Bänke erreichen Mächtigkeiten von über 5 cm. Nach einem geringmächtigen Übergangsbereich schließt sich dann eine sehr kompakte Folge mit relativ dicken Turbidit-Bänken an. Dieser Profilabschnitt zeigt die stärkste Häufung und mit einem Maximalwert von 105 cm auch die größte Mächtigkeit der turbiditischen Bänke aller Profile. Der letzte Abschnitt mit geringerer Turbiditführung stellt einen Übergangsbereich zu den reinen Peliten der Oberen Tentakuliten-Schiefer dar.

3.1.5. Profil „Dommel“ (Bl. 4618 Adorf, R 34 76 920, H 56 88 890)

Am NW-Hang des Dommel ist in einem kleinen, stark bewachsenen Steinbruch eine ca. 8,50 m umfassende Schichtenfolge aufgeschlossen, die sehr wahrscheinlich in den höheren Teil des Nensten-Quarzits zu stellen ist. Die Abfolge besteht überwiegend aus quarzitischen Bänken, deren Mächtigkeit im allgemeinen um

10 cm beträgt. Einige Bänke erreichen Mächtigkeiten von 40–50 cm, der Maximalwert liegt bei 70 cm. Im oberen Teil der Abfolge gehen die Bankmächtigkeiten generell zurück und mit der allgemeinen Zunahme des Pelitanteils stellt sich eine Turbidit-Pelit-Wechselfolge ein, die vermutlich zu den Oberen Tentakuliten-Schiefern überleitet.

3.1.6. Profil „Haardt“ (Bl. 4618 Adorf, R 34 79 100, H 56 89 250)

Am W-Hang der Haardt wurde der Nensten-Quarzit in kleinen, jetzt nahezu vollständig bewachsenen Steinbrüchen als Schottermaterial abgebaut. Obwohl äußerst schlechte Aufschlußverhältnisse vorliegen, ließen sich zwei Teilprofile aufnehmen. Das untere besteht aus einer 5,50 m mächtigen Schichtenfolge, die von einer ca. 10 m umfassenden Aufschlußblücke vom oberen, 2 m mächtigen Teilprofil getrennt wird. Liegend- und Hangendgrenze des Nensten-Quarzits sind nicht aufgeschlossen.

Das Profil beginnt mit einer turbiditischen Abfolge mit Bankmächtigkeiten bis zu 30 cm, die in einen pelitreicheren Abschnitt übergeht. Das obere Teilprofil enthält überwiegend turbiditische Bänke (bis 50 cm Mächtigkeit) und dürfte aufgrund der Aufschlußposition schon in den höheren Teil des Nensten-Quarzits zu stellen sein.

3.1.7. Vergleich der Profile

Die untersuchten Profile lassen sich nach unterschiedlichen Anteilen und Mächtigkeiten der gröberklastischen (psammitischen) Einlagerungen in den pelitischen Normalsedimenten in mehrere Abschnitte untergliedern. Mächtigere Turbidit-Bänke treten in der Regel in turbiditreicheren Abschnitten auf, die relativ abrupt oder mit nur kleiner Übergangszone einsetzen. Bereiche, in denen pelitische Sedimente überwiegen, enthalten selten Turbidite von über 5 cm Mächtigkeit.

Das Einsetzen des Nensten-Quarzits dürfte wegen der relativ großen Ausdehnung einzelner turbiditischer Schüttungen zumindestens für den Bereich des Untersuchungsgebietes als weitgehend isochron anzusehen sein. Unter dieser Voraussetzung ergeben sich für die nahezu vollständigen, ca. 2 km voneinander entfernten Profile C und D recht deutliche Übereinstimmungen. Auch die Teilprofile A und B lassen sich relativ sicher in die Gesamtabfolge einordnen. Ausgehend von der Untergliederung der Einzelprofile läßt sich für den Nensten-Quarzit insgesamt eine Unterteilung in 5 Folgen durchführen, die sich deutlich durch die Intensität der Turbidit-Schüttungen unterscheiden (Abb. 3 u. Taf. 1).

Über den Unteren Tentakuliten-Schiefern setzt mit relativ scharfer Grenze als unterster Abschnitt des Nensten-Quarzits eine im Profil C 6,4 m mächtige Abfolge mit zunächst noch geringmächtigen Turbidit-Bänken ein (Folge I). Im höheren Teil der Folge erreichen die Turbidite Mächtigkeiten um 20 cm und sind sehr wahrscheinlich mit den bis zu 25 cm mächtigen Bänken im basalen Teil des Profils D zu parallelisieren. An diesen unteren Abschnitt schließt sich eine in den Profilen

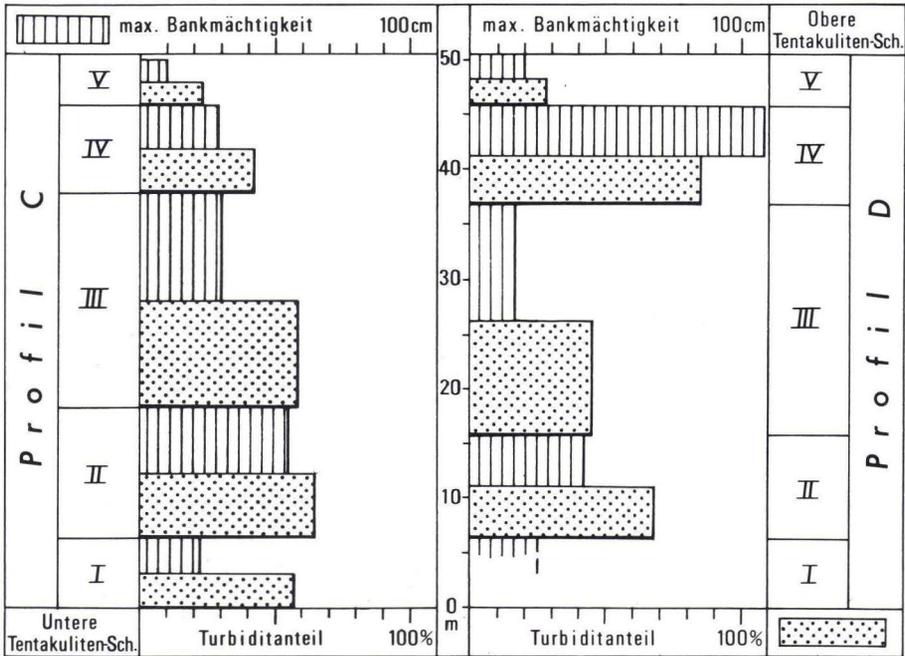


Abb. 3. Max. Bankmächtigkeit und Anteil der Turbidite in den Folgen I–V des Nensten-Quarzits.

C und D um 10 m mächtige, zunächst mehr pelitisch geprägte Abfolge an (Folge II). Zum Hangenden schalten sich verstärkt Turbidit-Bänke ein, die Mächtigkeiten bis 55 cm erreichen. Im Profil A ist diese Folge mit 6,55 m auffallend geringmächtig, was auf den geringen Anteil an turbiditischen Einschüttungen zurückgeführt werden kann. Der nächste Abschnitt besteht aus einer ca. 20 m mächtigen Schichtenfolge, die im tieferen Teil mehr pelitisch geprägt ist, bzw. ein ausgeglichenes Psammit/Pelit-Verhältnis mit geringmächtigen Turbidit-Bänken (< 5 cm) aufweist (Folge III). Während diese Ausbildung im Profil D über die gesamte Abfolge beständig bleibt, treten in den Profilen A und C schon sehr bald stärkere, bis zu 78 cm bzw. 30 cm mächtige Quarzit-Bänke auf. Im mittleren Teil dieser Folge setzen die Profile Brenschildt (B) und Haardt ein. Sie zeigen in diesem Bereich einen stärkeren Anteil turbiditischer Bänke, die Mächtigkeiten von 22 cm bzw. 30 cm erreichen. Im höheren Teil der Folge ist in den Profilen A bis D wieder eine deutliche Abnahme des Turbidit-Anteils zu erkennen. Mit einer geringmächtigen Übergangszone setzt darüber eine 8–9 m mächtige Abfolge mit einer erneuten Häufung turbiditischer Bänke ein (Folge IV). Die Bankmächtigkeiten erreichen in den Profilen Brenschildt (B) und Haardt Maximalwerte von 45–50 cm. Im Profil D treten in der hier sehr kompakten Abfolge nicht selten Bankmächtigkeiten von 40–60 cm (max. 105 cm) auf. Die Mächtigkeiten der entsprechenden Bänke im Profil C sind dagegen auffallend gering (max. 29 cm).

Daraus kann für dieses Profil zur Bildungszeit dieser Folge eine laterale Position zur Hauptzufuhrrichtung der psammitischen Sedimente abgeleitet werden. Die oberste, ca. 5 m mächtige Abfolge des Nensten-Quarzits ist nur in den Profilen C und D aufgeschlossen (Folge V). Sie wird durch das Nachlassen der turbiditischen Einschüttungen gekennzeichnet, die nur noch Mächtigkeiten bis zu 20 cm erreichen. Diese Folge stellt den Übergang zu den Oberen Tentakuliten-Schiefen dar, der im Profil D erschlossen ist.

Entsprechend der Unterteilung des Nensten-Quarzits in die Folgen I–V wurden für die jeweiligen Abschnitte in den einzelnen Profilen bestimmte Kennwerte ermittelt (Tab. 1). Aus dem Vergleich dieser Parameter und unter Berücksichtigung der räumlichen Stellung der Profile zueinander ergeben sich Hinweise auf Lage und Richtung der Hauptschüttung des psammitischen Sedimentmaterials während der Bildungszeit des Nensten-Quarzits. Daraus lassen sich weitere Folgerungen über die paläogeographische Situation des ehemaligen Ablagerungsraumes ableiten (s. Abschn. 4.5). Bei der Ermittlung der ursprünglichen Lage der Profilpunkte zueinander wurde der durch die variszische Faltung für diesen Raum bewirkte Einengungsfaktor von durchschnittlich 0,55 berücksichtigt (WUNDERLICH 1964).

3.2. Petrographie

Am Aufbau des Nensten-Quarzits sind Tonschiefer und turbiditische Silt- und Feinsandsteine beteiligt.

3.2.1. Tonschiefer

Die Schieferzwischenlagen im Nensten-Quarzit bestehen aus kalkfreien, sehr fein laminierten bis nahezu schichtungslosen, reinen Peliten. Ihr ehemaliger Tonmineralbestand ist zu Phyllosilikaten umgewandelt, unter denen Hellglimmer und Chlorit erkennbar sind. Wegen ihrer kleinen Korngrößen und fehlender Hinweise auf eine detritische Vorgeschichte ist nicht zu entscheiden, ob nur Phyllosilikat-Neubildungen oder auch klastische Phyllosilikate vorhanden sind. Daneben heben sich aus diesem feinfilzigen Anteil größere, bis 30 μ lange Hellglimmer-, Chlorit- und selten auch Biotit-Schüppchen ab, die wohl detritischer Natur sind. In den pelitischen Intervallen der Turbidit-Bänke kommen außerdem bis siltgroße Quarze und Feldspatkörner vor. Ihr Anteil nimmt nach oben kontinuierlich ab. Ebenfalls können geringe Karbonatgehalte auftreten, die sich makroskopisch in bräunlichen Verwitterungsfarben ausdrücken.

3.2.2. Silt- und Feinsandsteine

Die turbiditischen Silt- und Feinsandsteine lassen bereits makroskopisch eine uneinheitliche Zusammensetzung erkennen, die sich im Aufschluß vor allem in Unterschieden der Verwitterungsfarben und der Verwitterungsresistenz ausprägen. In Dünnschliffen wurden folgende Komponenten festgestellt: Quarz, Feld-

Tabelle 1					
Sedimentologische Kennziffern des Nensten-Quarzits					
Folge		Profile			
		A Koppen	B Brenschelt	C Ottlar	D Nensten-Berg
V	1			(> 4,30 m)	4,70 m
	2			10 cm	20 cm
	3			25,9 %	26,0 %; 1,20 m
	4	—	—	74,1 %	74,0 %; 3,50 m
	5			SE	SE
	6			l_r	l_l
IV	1		9,05 m	7,90 m	9,05 m
	2		45 cm	29 cm	105 cm
	3	—	59,5 %; 5,40 m	43,3 %; 3,40 m	85,1 %; 7,70 m
	4		40,5 %; 3,65 m	56,7 %; 4,50 m	14,9 %; 1,35 m
	5		—	SSE—SE	ESE—SE
	6		(l_l ?)	l_r	z
III	1	19,90 m	(10,70 m)	19,55 m	20,90 m
	2	78 cm	22 cm	30 cm	17 cm
	3	46,4 %; 9,20 m	52,8 %	59,2 %; 11,6 m	45,2 %; 9,40 m
	4	53,6 %; 10,7 m	47,2 %	40,8 %; 7,95 m	54,8 %; 11,5 m
	5	—	—	SE—SSE	ESE
	6	$l_r - z$ (p)	l_r (d)	$l_r - z$ (d)	l_l
II	1	6,55 m		11,90 m	9,65 m
	2	50 cm		55 cm	42 cm
	3	47,8 %; 3,10 m	—	64,8 %; 7,70 m	68,0 %; 6,60 m
	4	52,2 %; 3,45 m		35,2 %; 4,20 m	32,0 %; 3,05 m
	5	SE		—	um SE
	6	l_r (p)		$l_r - z$ (d)	l_l
I	1	6,90 m		6,40 m	
	2	20 cm		22 cm	
	3	25,2 %; 1,70 m		57,5 %; 3,70 m	
	4	74,8 %; 5,20 m	—	42,5 %; 2,70 m	
	5	—		SE—S	SE—ESE
	6	l_r		l_r	l_l

1 = Mächtigkeit der Folge
2 = maximale Bankmächtigkeit der Turbidite
3 = Turbiditanteil
4 = Pelitanteil
5 = Schüttungsrichtung aus Strömungsmarken

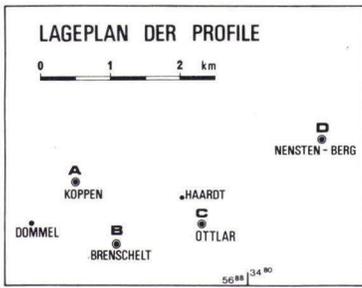
6 = Lage zur Hauptschüttungsrichtung
(vgl. Abb. 6)
z = zentral; l = lateral;
 l_r , l_l = lateral-rechts bzw. lateral-links
p = relativ proximal; d = relativ distal

SEDIMENTOLOGISCHE PROFILE DES » NENSTEN — QUARZITS «

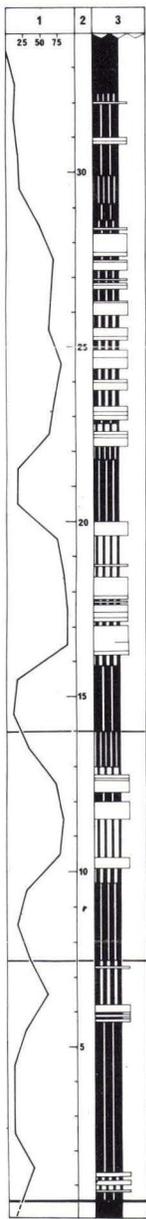
auf Blatt Adorf (TK 25 4618)

WSW

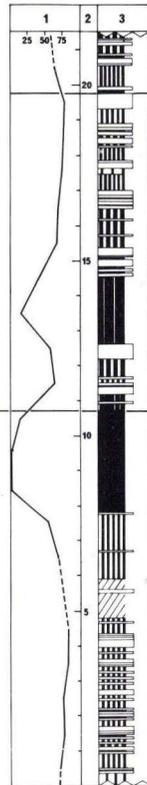
ENE



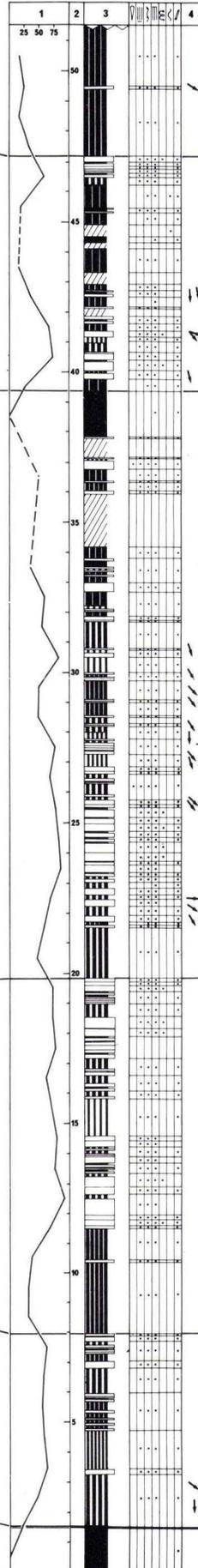
A
KOPPEN



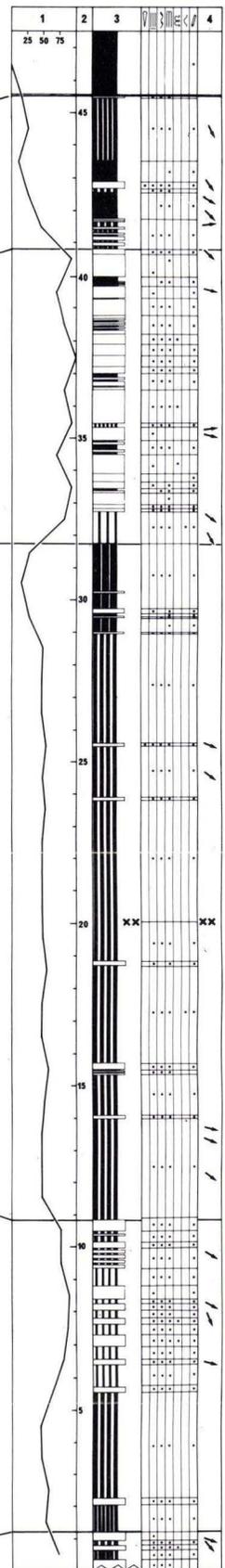
B
BRENSCHELT



C
ÖTLAR



D
NENSTEN-BERG



LEGENDE

- 1 Turbiditanteil in %
 - 2 Maßstab in m
 - 3 Säulenprofile
 - 4
- Turbiditbank
 - reine bis schwach siltbändige Pelite
 - ▨ Wechsellagerungen von Turbiditen (< 5 cm) und Peliten mit verschiedenen Verhältnissen
 - ▧ Aufschlußlücke
- SEDIMENTGEFÜGE DER TURBIDITE**
- ∩ Strömungsmarken
 - ▬ Untere Parallelgeschichtete Einheit
 - ∩ Schrägschichtungs-Einheit aus Strömungsrippeln
 - ▬ Obere Parallelgeschichtete Einheit
- POSTSEDIMENTÄRE DEFORMATIONEN**
- ∩ convolute bedding
 - ∩ Belastungsmarken
 - ∩ Bioturbationen
 - ∩ Schüttungsrichtung
- Hangendgrenze
 - Liegendgrenze
 - ∩ Profildene innerhalb
- xxxx ca. 4 m Diabas - Lagergang

späte, Hellglimmer, Biotit, Chlorit, Karbonat, Limonit, Hämatit, Zirkon, Apatit, Turmalin, Epidot und Gesteinsbruchstücke.

Quarz bildet das häufigste Mineral der Turbidite. Meistens sind die Körner klar und ungetrübt und löschen überwiegend undulös aus. Viele Quarze führen Einschlüsse von Glimmer, Rutil und vor allem in Reihen angeordnete Blasen. Quarze mit Subkornbau und felderhafter Auslöschung kommen häufiger vor. Hierbei ist allerdings schwer zu entscheiden, ob ein präsedimentärer Subkornbau vorliegt, da sedimentäre Kornformen nicht mehr sicher zu erkennen sind. Der Gehalt an Quarz schwankt zwischen 30 und 95%, die Korngrößen liegen im Feinsand- und Siltbereich und erreichen maximal 150 μ .

Feldspäte können mit einem Anteil von 3–30% vertreten sein. Dabei übersteigt die Menge der Alkalifeldspäte stets die der Plagioklase. Bei den Plagioklasen treten klare, frische Kristalle mit polysynthetischen Wachstumszwillingen nach dem Albit- und Periklin-Gesetz sowie auch trübe oder stärker serizitisierte Körner auf. Die Alkalifeldspäte sind meistens klar und unverzwilligt, nur selten sind Mikroklitterungen oder Perthitspindeln ausgebildet. Die Form der Feldspäte ist xenomorph und wird durch das polygonale Mosaikverwachsungsgefüge mit Quarz bestimmt. Sedimentäre Kornformen sind nicht mehr mit Sicherheit erkennbar, ebensowenig kann der Anteil möglicher authigener Alkalifeldspäte geklärt werden. Anwachszone wurden bei den Dünnschliffuntersuchungen nicht beobachtet. Zuweilen auftretende Feldspatanreicherungen in basalen Lagen der Turbidite deuten auf detritischen Feldspat hin.

Hellglimmer kommt in allen Proben vor. Deutlich detritische Anteile treten in Form von dünnen Schuppen auf, die bis zu 170 μ lang werden können. Sie sind mit ihrer scharf begrenzten Basisfläche überwiegend subparallel zur Feinschichtung eingeregelt. Die klastische Natur dieser Glimmer äußert sich neben ihrem sedimentären Anlagerungsgefüge auch in setzungsbedingten Knickungen und Verbiegungen. In dieser deutlich erkennbaren Form machen sie zwischen 2 und 8% einer Probe aus. Mitunter sind die Hellglimmer basisparallel mit klaren Chloritschuppen verwachsen. Daneben sind feinschuppige Serizite in Feldspäten und in faseriger Verwachsung mit gebleichten und zersetzten Biotiten vorhanden.

Biotit ist wesentlich seltener als Hellglimmer. Wie dieser tritt er in großen detritischen Schuppen auf, die jedoch stärker zersetzt sind. Auffallend sind Bleichungen und Sagenitausscheidungen, die häufig mit einer Pigmentierung durch Limonit einhergehen. Teilweise sind die Biotite durch Chlorit und Hellglimmer ersetzt.

Chlorit fehlt in keinem der untersuchten Schiffe. Sein Anteil liegt zwischen 1 und 4%. Er tritt einerseits wie die Glimmer in großen, isolierten Schuppen auf und kann wie diese diagenetische Deformationen aufweisen. Deswegen werden diese Chlorite als detritisch angesehen. Andererseits kommt Chlorit in innigen Verwachsungen mit Hellglimmer und als Ersatz von Biotit vor. Intersertalräume werden gelegentlich von feinfilzigen Chloritnestern eingenommen. Alle Chlorite sind farblos, blaßgrün oder gelblichgrün und pleochroitisch. Sie zeigen anomale bräunlichgraue bis tintenblaue Interferenzfarben. Es dürfte sich dabei um Mg- und Mg-Fe-Chlorite handeln.

Fe-haltiges Karbonat tritt in vielen turbiditischen Bänken auf. Es kann sich bis zu 60% an der Gesteinszusammensetzung beteiligen und ist im Dünnschliff stets als sparitischer Zement zu identifizieren. In karbonathaltigen Gesteinen sind immer diagenetische Umwandlungen von Feldspat und Quarz zu Karbonat zu erkennen. Diese Verdrängungen können soweit gehen, daß nur noch kleine Restkörner im Karbonatzement schwimmen, der in großen Feldern gleichartig auslöscht. Eindeutig detritische Karbonatanteile, wie z. B. Fossildetritus, wurden nicht beobachtet. Stets liegen Um- bzw. Neukristallisate vor, die häufig Rhomboederform zeigen. Somit muß auch die Frage nach der Herkunft des karbonatischen Zements – etwa aus detritischem Karbonat – offenbleiben. In angewitterten Proben sind die Karbonate meistens ganz oder teilweise durch Limonit ersetzt.

Die übrigen Komponenten spielen mengenmäßig keine besondere Rolle. In den Schliffen kommen jeweils nur einige wenige Körner von meistens klarem Apatit, relativ gut gerundeten, oft Zonarbau zeigenden Zirkonen, Turmalin und Epidot vor. Flitter von opaker kohligler Substanz ließen sich in nahezu allen Schliffen finden.

Gesteinsbruchstücke sind wegen der Feinkörnigkeit der Sedimente naturgemäß nur selten. Meistens handelt es sich um feinstkörnige Quarzmosaiken, die von Siltsteinen abstammen können.

In phyllosilikat- und karbonatarmen Gesteinen zeigen Quarze und Feldspäte ein polygonales Mosaik-Verwachsungsgefüge. In Bänken, die reich an Karbonatzement und phyllosilikatischer Matrix sind, liegen eckige Körner vor, wobei in der Karbonatgrundmasse die Korngrenzen durch diagenetische Umwandlungen zu Karbonat bestimmt werden. Häufig ist im Dünnschliff eine deutliche Korngradierung durch Abnahme der Feinsandanteile nach oben ausgebildet, so daß im obersten Teil einer Bank fast nur noch Siltgröße vorherrscht. Die für die einzelnen Intervalle eines Turbidits typischen Feinschichtungsgefüge werden durch Materialwechsel sowie Anreicherungen von Phyllosilikaten, Schwermineralien und Farbpigmenten abgebildet.

Innerhalb der für die einzelnen Komponenten angegebenen Grenzen gibt es zwischen den Hauptbestandteilen Quarz, Feldspat, Phyllosilikate und Karbonat beliebige Mischungsverhältnisse, die eine entsprechende petrographische Vielfalt der siltig-sandigen Gesteine des Nensten-Quarzits bedingen. Nur sehr untergeordnet liegen Orthoquarzite (Quarzgehalt > 90%) im Sinne von PETTIJOHN (1957) vor. Erst nach einer weiter gefaßten Definition, die unter Quarzit im Sinne eines Feldbegriffs „stark verfestigte, vorwiegend aus Quarz bestehende Sandsteine“ (FÜCHTBAUER 1977) zusammenfaßt, läßt sich für die Mehrzahl der hier untersuchten Gesteine der Begriff Quarzit verwenden.

3.3. Sedimentgefüge

3.3.1. Der Aufbau der Turbidit-Bänke

Die Turbidit-Bänke innerhalb der Wechselfolge des Nensten-Quarzits zeigen immer und in allen Profilen gleiche charakteristische Sedimentgefüge, deren

Variabilität in Abhängigkeit von der geringen Korngröße und dem Sedimentationsmechanismus beschränkt bleibt. Sie lassen sich auf die klassische Sequenz nach BOUMA (1962), bzw. auf deren Modifikationen zurückführen. Die Basis der Turbidit-Bänke zeigt immer einen scharfen Kontakt zum Unterlager. Eindeutig erosive Formen (z. B. flute casts) sind aber nur selten zu beobachten, was auf relativ geringe Strömungsenergie der meisten Trübestrome hinweist. Indirekt kann man eine leichte erosive Tätigkeit der Trübestrome daran feststellen, daß die pelitischen Intervalle innerhalb der Turbidit-Sequenzen häufig fehlen. Nur in einem einzigen Fall, im oberen Teil des Profils Brenchelt, wurde eine Erosionsrinne in einer Turbidit-Bank beobachtet.

Die Turbidit-Bänke beginnen im allgemeinen mit dem Unteren Parallelschichtungs-Intervall. Ein gradiertes Intervall als unterste Einheit der idealen Turbidit-Sequenz nach BOUMA ist in den untersuchten Profilen nicht ausgebildet. Diese Erscheinung ist wahrscheinlich nicht so sehr auf eine distale bzw. laterale Position der Profile, in der das unterste Intervall nicht mehr ausgebildet wurde, sondern mehr auf ein primär bereits stark eingegengtes Kornspektrum des Ursprungsmaterial zurückzuführen, das kaum Gradierung erzeugen konnte (vgl. LANGENSTRASSEN 1975: 164). Das Untere Parallelschichtungsintervall ist immer im mm-Bereich laminiert. Im frischen Bruch erscheint es allerdings homogen, erst im verwitterten Zustand wird das Gefüge erkennbar. In Abhängigkeit von der Bankmächtigkeit, bzw. von Lateralität und Distalität variiert die Ausbildung dieser Einheit. In dickeren Bänken stellt sie den Hauptanteil. Mächtigkeitsreduzierungen einer Turbidit-Bank gehen zuerst immer zu Lasten dieser Einheit, die mit abnehmender Gesamtdicke immer dünner wird und schließlich ganz fehlen kann („Basisreduktion“).

Die nächstfolgende Einheit, das Schrägschichtungs-Intervall, wird durch kleine asymmetrische Strömungsrippeln von durchschnittlich 2–4 cm Höhe und 10–30 cm Wellenlänge aufgebaut. In diesem Intervall gibt es hinsichtlich der Ausbildung eine große Variationsbreite. Bei geringmächtigen Turbiditen besteht es häufig nur aus einem einzelnen Schrägschichtungs-Set, also nur aus einer Rippelgeneration. Blieb die Geschwindigkeit eines Trübestroms über längere Zeit innerhalb des notwendigen Energieniveaus stabil, konnten bei anhaltender Sedimentanlieferung mehrere Rippelgenerationen übereinander entstehen. Sie werden z. T. von langgestreckten, wandernden Kleinrippeln gebildet, deren Anschnitte auf undulierende Strömungsrippeln nach REINECK & SINGH (1975) schließen lassen. Beobachtungen an Rippeln auf Schichtflächen stützen diese Annahme. Ziemlich selten treten auch Gefüge auf, die durch climbing-ripple-lamination hervorgerufen werden. Diese Schichtungsart ist kennzeichnend für ein reichliches, über längere Zeit kontinuierlich verfügbares Sedimentangebot besonders aus Suspensionen, das vorwiegend zu einem Emporwachsen der Rippel führt (REINECK & SINGH 1975). Spezielle Effekte entstanden dann, wenn die Geschwindigkeit einer turbulenten Strömung in einem Trübestrom zwar ausreichte, Strömungsrippeln zu erzeugen, die mitgeführte Sedimentfracht aber nur gering war. In solchen Fällen bildeten sich flache, oft unvollständige „Mikro“-Strömungsrippeln, die bei häufigem Auftreten wellige Wechselschichtung bis Linsenschichtung erzeugen. Zum Vergleich der

Rippelformen mit den statistischen Angaben über kleine Strömungsrippeln bei REINECK & SINGH (1975) wurden in zahlreichen Fällen Rippel-Index (RI) und Rippelsymmetrie-Index (RSI) bestimmt. Die ermittelten RSI-Werte liegen zwischen 2 und 5 und zeigen damit einen Bereich an, der im wesentlichen Strömungsrippeln vorbehalten ist. Für den RI ergeben sich Werte von 8,5–14, die – allerdings weniger signifikant als die RSI-Werte – auch für Strömungsrippeln sprechen.

Auf die Schrägschichtungs-Einheit folgt das sehr fein laminierte Obere Parallelschichtungs-Intervall. Von wenigen Ausnahmen abgesehen ist es sehr geringmächtig ausgebildet und tritt häufig nur in 1–2 mm mächtigen Lagen auf. Bei stärkerem Tonanteil erscheint das Obere Parallelschichtungs-Intervall dunkler gefärbt und leitet in das Pelitische Intervall über. Geringmächtige Turbidit-Lagen (mm- bis cm-Bereich, Siltkorngröße) bestehen in der Mehrzahl der Fälle nur aus dem Oberen Parallelschichtungs-Intervall und dem Pelitischen Intervall. In diesen Lagen ist das Obere Parallelschichtungs-Intervall immer makroskopisch deutlich erkennbar gradiert durch Abnahme des Silt- bzw. Zunahme des Tonanteils nach oben. Die Tatsache, daß diese dünnen gradierten Lagen ohne Ausnahme ungestört erhalten sind, ist ein Hinweis auf das Fehlen stärkerer, nicht-turbiditischer Bodenströmungen im Ablagerungsgebiet.

Das Pelitische Intervall, das sich im allgemeinen gleichmäßig aus dem Oberen Parallelschichtungs-Intervall entwickelt, läßt sich nur an dem höheren Tongehalt und dem weiter abnehmenden Siltgehalt erkennen. Die Mächtigkeit dieses Intervalls, die auch wegen des fließenden Übergangs in die pelagische Normalsedimentation nicht genau festgelegt werden kann, dürfte bei dickeren Turbiditen wohl einige Zentimeter erreichen. Der obere Abschnitt dieser Einheit entspricht dabei vollständig den Normalpeliten. Die mit dem Trübestrom angelieferte Tonfraktion kann wie der Feinsand und Silt aus dem Liefergebiet selbst stammen. Der größte Teil dürfte jedoch durch Erosion des Untergrundes beim Abfließen in das Sedimentationsbecken aufgenommen worden sein und würde damit im wesentlichen aus den pelagischen Peliten stammen. Im Ablagerungsgebiet kann es – besonders bei schneller Aufeinanderfolge der turbiditischen Schüttungen – zur Unterdrückung der Pelit-Intervalle oder auch zur Erosion bereits abgelagerter Intervalle kommen.

In den Turbiditen des Neusten-Quarzits treten mehr oder weniger stark basisreduzierte BOUMA-Sequenzen auf, die nach den Profilvergleichen überwiegend als laterale und nicht so sehr als distale Ausläufer von Turbidit-Schüttungen anzusehen sind. Als zusätzlicher Faktor wirkt das begrenzte Korngrößenspektrum des Ausgangsmaterial auf die Ausbildung der Turbidite ein. Allein von den Gefügen der Turbidite kann deshalb noch nicht auf größere Distalität oder Proximalität des jeweiligen Ablagerungsraumes geschlossen werden.

3.3.2. Synsedimentäre Deformationen

Synsedimentäre Deformationen sind in den Profilen nur selten zu beobachten. Belastungsmarken treten kaum auf. Lediglich bei Überlagerung von pelitischen

Lagen durch Turbidite, die i. w. nur durch eine Strömungsrippel-Generation des Schrägschichtungs-Intervalls aufgebaut werden, entstehen unter den Rippelkämmen leichte Eindellungen.

Convolute bedding, ein Gefüge, das sich normalerweise in feinkörnigen, nicht kohäsiven Sedimenten wie Feinsand oder siltiger Feinsand entwickelt (REINECK & SINGH 1975), prägt sich relativ selten und nur in den obersten Bereichen mächtigerer Bänke aus. Schwächere Verformungen bestehen oft nur aus convolute-ripple-lamination, bei der kleinere Strömungsrippeln in das unterlagernde (Untere Parallelschichtungs-) Intervall einsacken. Demnach scheint auch die Geometrie der Rippeln ein weiterer beeinflussender Faktor auf die Art der Verformung zu sein.

Intensivere Verformungen in der Art von Wickelstrukturen treten in keinem Fall auf. Im Gegensatz zu den hier behandelten mitteldevonischen Turbiditen scheinen diese Strukturen für die oberdevonischen Turbidite der weiteren Umgebung des Untersuchungsgebietes charakteristisch zu sein (STREBIN 1979). Der einzige deutliche lithologische Unterschied zwischen mittel- und oberdevonischen Turbiditen ist der Gehalt an Phyllosilikat-Schüppchen, der in den oberdevonischen wesentlich höher ist. Demnach scheint für die Intensität der synsedimentären Verformung der Gehalt an Phyllosilikaten von besonderer Bedeutung zu sein.

3.3.3. Strömungsrichtungen

Zur Ermittlung der Herkunftsrichtung der sedimentliefernden Trübestrome wurden polare Fließmarken auf Schichtunterseiten, Streichrichtungen von Strömungsrippeln und Schrägschichtungsgefüge eingemessen. Die Aufschlüsse ließen nur relativ wenige Messungen zu, die sich auf die besseren Profile Ottlar (C) und Nensten-Berg (D) beschränken. Die einzelnen Turbidite innerhalb der Profile können Zentral- als auch Randpartien der jeweiligen Schüttungen entsprechen und werden deshalb schon unterschiedliche Schüttungsrichtungen aufweisen. Die Fließ- bzw. Schüttungsrichtungen der Trübestrome beider Profile bewegen sich zwischen E und S. Unter der Annahme, daß die Hauptschüttungsrichtung auch die ungefähre Lage des Liefergebietes der Sedimente angibt, kommt als Ursprung der turbiditischen Schüttungen nur ein im NW des Sedimentationsraumes gelegenes Gebiet in Frage.

3.4. Fossilinhalt

3.4.1. Spuren

Das Spureninventar des Nensten-Quarzits besteht zum überwiegenden Teil aus nicht faziescharakteristischen Formen und läßt in allen Profilen vom Liegenden zum Hangenden kaum Variationen erkennen. Die Ichnofossilien sind am besten auf der Unterseite der quarzitischen Bänke als Positivreliefs oder in dünnlagigen Ton-Silt-Wechselfolgen erhalten, wo sie durch Füllungen auffallen, die sich vom umgebenden Sediment unterscheiden. Die meisten der auf den Schichtunterseiten

erhaltenen Lebensspuren sind in bezug auf die überlagernde Bank postsedimentär. Nur wenige, im Querschnitt halbkreisförmige Spuren unter meistens dünnen Feinsand- bis Siltlagen ließen eindeutig präsedimentäre Entstehung erkennen, da hier die sedimentäre Feinschichtung auch durch die Spurenfüllung verläuft. Unter mächtigeren Bänken, die wahrscheinlich aus Trübeströmen mit höherer Energie abgelagert wurden, sind derartige Spuren nicht vorhanden. Sie fielen hier vermutlich einer stärkeren Erosionswirkung zum Opfer.

Bei der am häufigsten auftretenden Form, die fast alle Bankunterseiten mehr oder weniger dicht überzieht, handelt es sich um *Planolites*. Die im allgemeinen zylindrischen, teilweise durch Sedimentsetzung ellipsenförmig abgeflachten Gänge werden 0,4–1,0 cm dick und verlaufen meistens geradlinig oder leicht gekrümmt und einander kreuzend über die Schichtflächen. Sie verschwinden nach wenigen Millimetern oder auch Zentimetern (max. 20 cm) im überlagernden Sediment. Zuweilen lassen sich im Anschliff auch die typischen Stopfstrukturen der in etwa horizontalen Gänge erkennen („Stopftunnel“). Ebenfalls recht häufig sind *Chondrites*-Bauten zu beobachten, die auch mit *Planolites* zusammen auftreten können. Sie bestehen aus zahlreichen weit verzweigten Tunneln von durchschnittlich 1,5 mm \varnothing . Weitere Spuren wurden bisher nur in jeweils einem Exemplar beobachtet. Dabei handelt es sich um eine auf der Oberfläche einer dünnen Turbidit-Bank (Profil Nensten-Berg) abgebildeten Furche, die beiderseits von knotenförmigen Erhebungen begleitet wird. Diese nur relativ schlecht erhaltene Spur hat einen Durchmesser von ca. 1,5 cm und wird als *Nereites* gedeutet. Im Profil Ottlar tritt innerhalb einer pelitischen Abfolge eine unregelmäßig mäandrierende, gut erhaltene Spur von 2 mm \varnothing auf, bei der es sich um *Cosmorhapse* handeln dürfte.

Die vorgefundene Spurenvergesellschaftung erlaubt eine überschlägige bathymetrische Einstufung des Nensten-Quarzits. Während *Planolites* und *Chondrites* faziesunabhängig sind und ein weites Verbreitungsgebiet vom Flach- bis in das Tiefwasser aufweisen (CRIMES 1970, SEILACHER 1964, LANGENSTRASSEN 1975), ist die stark mäandrierende Form *Cosmorhapse* Indikator eines tiefen Stillwassermilieus (CRIMES 1975). *Nereites* ist zusammen mit *Cosmorhapse* kennzeichnend für die *Nereites*-Fazies nach SEILACHER (1964), die in den bathyalen Bereich gestellt wird. Daraus ergibt sich für den Nensten-Quarzit auf Bl. 4618 Adorf ein Ablagerungsraum im Schelf-Becken-Übergangsbereich.

3.4.2. Flora

In einigen Bänken des Nensten-Quarzits sind Psilophyten-Reste enthalten. Sie liegen meistens als Abdrücke, abschnittsweise auch in Eisenhydroxid-Erhaltung vor, die sehr wahrscheinlich durch Oxidation aus ehemaligem Pyrit hervorgegangen ist. Im allgemeinen finden sich nur Pflanzenstücke von 0,5–1 cm Länge, die manchmal noch Strukturen zeigen. Daneben treten vereinzelt Lagen auf, in denen Pflanzenreste mit bis zu 12 cm langen, mehrfach dichotom verzweigten Achsen vorkommen. Diese großen Pflanzenreste finden sich stets im Oberen Parallelschichtungs- oder im anschließenden Pelit-Intervall. Der gute Erhaltungszu-



Abb. 4. Dichotom verzweigter Psilophyten-Rest (Profil C; natürliche Größe).

stand liefert Hinweise auf Art und Dauer des Transports. Es ist sehr wahrscheinlich, daß derartig große und feingliedrige Pflanzenteile nur bei schonendem und kurzem Transport mit vorwiegend laminarer Strömung erhalten bleiben und deshalb auch nur in den letzten Phasen der Turbiditbildung mit bereits stark nachlassenden Strömungsgeschwindigkeiten relativ unversehrt abgelagert wurden. Auch die Pyritisierung, die eine wesentliche Umwandlung der pflanzlichen Substanz nach der Einbettung anzeigt, gibt Anhaltspunkte dafür, daß der Transport des Pflanzenmaterials einschließlich möglicher Zwischenlagerung nur von relativ kurzer Dauer gewesen sein kann. Die Psilophyten-Stücke können demnach nur von einem nicht sehr weit entfernten Ursprungsort (Festland oder Insel) in den äußeren Schelfbereich gelangt und von dort ohne längere Zwischenlagerung durch Trübestrome weiter beckenwärts verfrachtet und eingebettet worden sein.

3.4.3. Fauna

In den Profilen des bis auf die Spurenfauna sehr fossilarmen Nensten-Quarzits fanden sich nur wenige, unbestimmbare Fossilreste. In einigen kalkigen Turbidit-Bänken wurden neben schlecht erhaltenen Ostrakoden auch Schalenbruchstücke und -abdrücke beobachtet. Die pelitischen Zwischenlagen können Tentakuliten, Styliolinen und Ostrakoden enthalten. Etwas reichhaltiger sind die Faunenlisten

von SCHLÜTER (1928) und PAECKELMANN (1934, 1936), die neben Tentakuliten, Styliolinen und Ostrakoden in den Schieferzwischenlagen auch Crinoiden, Bryozoen und vor allem Brachiopoden in den Quarzitbänken beobachteten.

Insgesamt lassen die pelitischen Zwischenschichten Vertreter pelagischer Faunen einer herzynischen Beckenfazies erkennen, während das Faunenspektrum der psammitischen Einschüttungen auf eine im wesentlichen wohl allochthone rheinische Flachwasser-Fauna hinweist (vgl. KREBS 1979: 131).

4. Paläogeographische Interpretation

4.1. Lage und Ausbildung des Schelf-Becken-Übergangsbereichs

Die Lage des Schelf-Becken-Übergangsbereichs der rechtsrheinischen Geosynklinale war während des Mitteldevons relativ konstant (Abb. 5). An einen max. 130 km breiten Schelf am SE-Rand des Old-Red-Kontinents mit gut sortierten Feinsanden im äußeren Bereich schließt sich ein Becken mit dunklen Tonschiefern und Sandstein-Turbiditen an. Seit der Eifel-Stufe bilden sich am Schelfrand wiederholt karbonatreiche biostromale Rasen, aus denen dann örtlich im höheren Givet echte Riffbildungen (Attendorner und Briloner Riff) hervorgehen (LANGENSTRASSEN 1975, GOLDRING & LANGENSTRASSEN 1979, KREBS 1979).

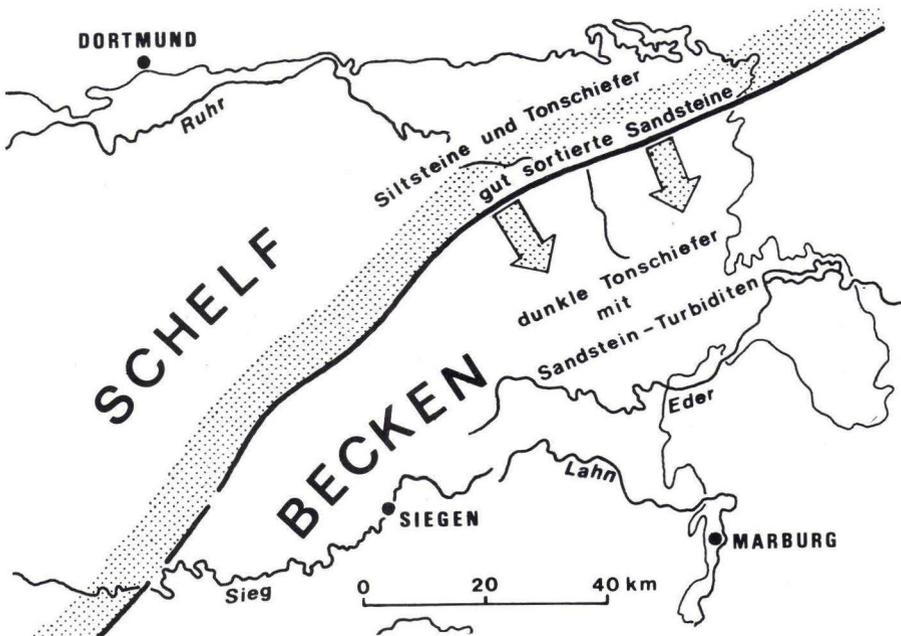


Abb. 5. Lage des Schelfrandes im Mitteldevon (obere Eifel- und untere Givet-Stufe) des östlichen Rheinischen Schiefergebirges (nach MEISCHNER 1971, EDER et al. 1977, KREBS 1979).

Die Lage des Schelfrandes zur Bildungszeit des Nensten-Quarzits dürfte nahezu mit der durch das Briloner Riff gekennzeichneten Position übereinstimmen. Hierfür sprechen die Mächtigkeitsabnahme bzw. das deutliche Zurücktreten des Nensten-Quarzits am N-Flügel des Ostsauerländer Hauptsattels. In diesem Bereich dürfte also schon der Anstieg zum ehemaligen Schelf vermutet werden, an dem der Transport und damit verbundene Erosionsvorgänge die Ablagerung des turbiditischen Materials noch überwog. Aus den Untersuchungen von LANGENSTRASSEN (1975, Abb. 2) geht hervor, daß die Lage des Schelfrandes in diesem Bereich vom unteren bis in das obere Givet stabil war. Der ehemalige Ablagerungsraum des Nensten-Quarzits auf Bl. 4618 Adorf lag damit nur 10 km bis max. 15 km beckenwärts vom Schelfrand entfernt und relativ nah am Schelffuß. Die Faltungseinengung ist bei diesen Angaben bereits eliminiert.

Der Schelfhang dürfte relativ schwach geneigt gewesen sein und allmählich in ein nicht sehr tiefes Becken geführt haben. Aus Untersuchungen der Padberger Kalke und Flitzkalke – vom Briloner Riff abzuleitende mittel- bis oberdevonische Kalkturbidite – schließt FRANKE (1974), „daß der Hangfuß bereits nahe dem Nordrand des Ostsauerländer Hauptsattels erreicht war. Der Schelfhang (in diesem Falle: Riffhang) war demnach sehr kurz und hat keinesfalls in ein abgrundtiefes Becken geführt“. Auch LANGENSTRASSEN (1975) kommt bei der Untersuchung feinklastischer Sedimente des unteren Mitteldevons im SW-Teil des Ostsauerländer Hauptsattels zu ähnlichen Ergebnissen: Die „fließend und allmählich erfolgenden Übergänge von Schelf- zu Beckensedimenten... legen die Vermutung nahe, daß der Übergang Schelf/Becken weniger mit einer deutlichen Hangausbildung mit steilem Relief verbunden war, sondern höchstens ein gleitendes, relativ flaches Böschungsgefälle ausgebildet war“.

Für den Außenrand des mitteldevonischen Schelfgebietes ist generell eine Wassertiefe von weniger als 200 m anzunehmen. Besonders zu Zeiten der Bildung biostromaler Schelfrandkalke dürfte sie – zumindestens in den entsprechenden Bereichen – noch deutlich unter 100 m gelegen haben. Für den unmittelbar an den Schelfhang anschließenden Beckenbereich im östlichen Ostsauerländer Hauptsattel rechnen ENGEL & EDER (1975) für das obere Givet mit einer Wassertiefe von nur ca. 300 m, die sich aus der Besiedlung von max. 250 m mächtigen, submarinen vulkanischen Schwellen durch Stromatoporen ableiten, deren Lebensraum bis ca. 50 m Wassertiefe angenommen wird. KREBS (1979) setzt für den Ablagerungsraum der mitteldevonischen Beckensedimente eine Wassertiefe von ca. 500 m an. Aus Untersuchungen der submarinen Vulkanite (Pillow-Laven und Pyroklastika) des oberen Givets am E-Ende des Ostsauerländer Hauptsattels leitet WIEST (1979) für diese Gesteine eine Bildungstiefe von wenigen hundert Metern ab, wobei die Bildung der Pillow-Laven wahrscheinlich bei einer Wassertiefe von 200–300 m anzunehmen ist.

Aus dem geringen Höhenunterschied zwischen dem Schelf- und dem Beckenbereich von nur 200–400 m und einer Entfernung vom Schelfrand bis zum Fuß des Schelfhanges von ca. 10–15 km ergibt sich für die Neigung des Schelfhanges ein Wert von 1–2°.

4.2. Herkunft und Ursache der turbiditischen Schüttungen

Die petrographische Zusammensetzung der Turbidite erlaubt Rückschlüsse auf den als Liefergebiet dienenden Schelfbereich des Old-Red-Kontinents, der in seinen wesentlichen Zügen mit dem von LANGENSTRASSEN (1975) untersuchten, weiter westlich gelegenen Abschnitt des mitteldevonischen Schelfs übereinstimmen dürfte. Bereits vorsortierte, sehr feinkörnige Schelfsande im Feinsand- bis Siltbereich bewirken das begrenzte Kornspektrum der Turbidite und das Fehlen der gradierten Basisintervalle. Die teilweise recht deutlichen Karbonatgehalte der Turbidite könnten auf biostromale Karbonatrasen zurückgeführt werden, die sich zeitweilig am Schelfrand ausbreiteten. Es ist andererseits nicht auszuschließen, daß ein Teil des Karbonats sekundär während der Diagenese zugeführt wurde.

Die Sande stellen ein Abtragungsprodukt des Old-Red-Kontinents dar. Sie wurden vermutlich über ein größeres Flußsystem auf den Schelf transportiert und dort deltaförmig abgelagert. Von diesem ehemaligen Delta- bzw. Prodeltabereich breiteten sich die Sande deckenartig bis in den äußeren Schelf aus (vgl. GOLDRING & LANGENSTRASSEN 1979). Vermutlich während Phasen mariner Regressionen und der damit verbundenen Progradation der Deltabildungen kam es zu einer Verschmälerung des Schelfs und zu einer vermehrten Vorschüttung von Sedimentmaterial in den äußeren Schelfbereich. Gleichzeitig wurden dabei in verstärktem Maße Trübestrome ausgelöst, die zu einer vermehrten Ablagerung von Sanden im Becken geführt haben. Maxima der Sandeinschüttungen lagen in der oberen Eifel- und in der mittleren Givet-Stufe (Eisenberg- und Nensten-Quarzit). Nach einer gewissen Phase der Ruhe während des höchsten Mitteldevons und unteren Oberdevons, in der nur Kalkdetritus des Briloner Riffs in das Becken gelangte, setzten erneut im mittleren und höheren Oberdevon stärkere silikatische Schüttungen ein.

4.3. Verbreitung des Nensten-Quarzits

Das heutige Verbreitungsgebiet des Nensten-Quarzits liegt im Bereich des östlichen Sauerlandes, d. h. im wesentlichen auf den Bl. 4617 Brilon und 4618 Adorf. Während der Nensten-Quarzit auf dem S-Flügel des Ostsauerländer Hauptsattels eine Mächtigkeit bis zu 50 m aufweist und eine große Ausdehnung zeigt (über 14 km im Streichen), ist er auf der N-Flanke des Sattels nur geringmächtig entwickelt und im Streichen nur max. 7 km verfolgbar. Die ursprüngliche Position dieses Bereichs lag näher am Liefergebiet. Bei geeigneten Aufschlußverhältnissen dürften hier bereits andere Sedimenttypen, wie z. B. channel-Ablagerungen zu beobachten sein, die in den untersuchten Profilen (am S-Rand des Ostsauerländer Hauptsattels) nicht oder nur sehr untergeordnet auftreten. Erst südwestlich von Bl. 4618 Adorf geht die Mächtigkeit des Nensten-Quarzits bzw. seiner Äquivalente auf ca. 5–10 m zurück bei Bankmächtigkeiten bis zu 0,25 m (LEUTERITZ 1972). In diesem Bereich liegt vermutlich auch eine Verzahnung mit schwächeren Sedimentschüttungen von einem westlich gelegenen

Schelfgebiet vor (vgl. LANGENSTRASSEN 1975). Im S- bzw. SE-Teil von Bl. Adorf taucht der Nensten-Quarzit unter jüngere Schichten ab, so daß für diesen Bereich keine weiteren Angaben gemacht werden können.

4.4. Lage der Profile innerhalb des Schüttungsfächers

Aus dem Vergleich sedimentologischer Parameter der Turbidite, wie max. Korngröße, Bankmächtigkeit und Ausrichtung der Strömungsmarken, lassen sich generelle Hinweise zur Schüttungsrichtung bzw. zum Herkunftsgebiet der sedimentliefernden Trübestrome ableiten. Wegen der Vorsortierung des Ausgangsmaterials erlauben die Gefüge der Turbidite allerdings noch keine eindeutigen Rückschlüsse auf eine mehr proximale oder distale Position der Profile im Gesamt-Schüttungsfächer. Auch die Bankmächtigkeiten geben für sich allein noch keine genauen Hinweise auf eine bestimmte Position, da sie in Schüttungsrichtung zunächst zu- und dann allmählich wieder abnehmen. Mächtigkeitsänderungen sind auch senkrecht zur Schüttungsrichtung zu beobachten, so daß eine laterale Position u. U. eine größere Distalität vortäuschen kann. Erst bei gemeinsamer Betrachtung bzw. bei einem Vergleich der Parameter der Schüttungskörper einzelner Turbiditfolgen, d. h. größerer, in sich mehr oder weniger einheitlicher Schüttungseinheiten, lassen sich gewisse Entwicklungstendenzen erkennen, die eine Rekonstruktion des Geschehensablaufs ermöglichen (dazu Taf. 1 u. Tab. 1).

Aus den polaren Fließmarken und den Strömungsrippeln der Turbidite der Profile C und D ergibt sich insgesamt eine Strömungs- bzw. Schüttungsrichtung von NW nach SE. Im einzelnen divergieren die gemessenen Richtungen zwischen S und E. Im Profil D ist die östliche Komponente, im Profil C die südliche Komponente stärker betont. Darin dokumentiert sich ein schwach fächerförmiges Ausbreiten der generell aus NW kommenden Sedimentschüttungen.

Betrachtet man die Lage der Profilpunkte nach Ausglättung der Faltung, so zeigt sich, daß die Profile B, C und D ungefähr auf einer Linie senkrecht zur Hauptschüttungsrichtung liegen und somit annähernd die gleiche Entfernung zum Herkunftsgebiet der Trübestrome haben (Abb. 6). Demgegenüber nimmt das Profil A eine weiter stromaufwärts gelegene Position ein. Vergleicht man den höheren Teil der Folge III in den Profilen A, B und C, so zeigt sich die größere Proximalität des Profils A zunächst durch die größten Bankmächtigkeiten an (max. 78 cm gegenüber 30 cm in Profil C).

Das zwischen A und C gelegene Profil B weist in diesem Profilabschnitt nur eine max. Bankmächtigkeit von 22 cm auf und scheint demnach eine laterale Position zur Hauptschüttungsrichtung einzunehmen. Die Folge III zeigt sowohl eine relative als auch eine absolute Zunahme des Sandanteils von Profil A zu Profil C von 46 auf 59%, bzw. von 9,2 auf 11,6 m. Der Maximalwert des Sandanteils ist demnach gegenüber dem Maximalwert der Bankmächtigkeit distal verschoben. Das Profil D, das für diesen Vergleich eine deutliche (links-)laterale Position einnimmt, zeigt neben geringeren Bankmächtigkeiten auch einen gegenüber C verringerten Sandanteil. Ein weiteres Beispiel für laterale Positionen ergibt ein

Vergleich der Profile B, C und D innerhalb der Folge IV. Großen Bankmächtigkeiten und hohen Sandanteilen (105 cm/85%) im Profil D stehen deutlich geringere Werte im Profil C gegenüber (29 cm/43%). Während das Profil D wohl ziemlich zentral zur Hauptschüttungsrichtung der Folge IV lag, hatte das Profil C eine (rechts-)laterale Position zu dieser Schüttung. In dem noch weiter nach W gelegenen Profil B treten wieder etwas höhere Werte auf (45 cm/59%), die mit einer zweiten, mehr nach S gerichteten Schüttung in Zusammenhang gebracht werden müssen, die sich scheinbar auch im Profil Dommel mit Bankmächtigkeiten von 40–50 (max. 70) cm bemerkbar macht.

Weiterhin ist bemerkenswert, daß der Verlauf der Kurve des Turbiditanteils besonders für die Folge III im Profil A sehr unruhig und im Profil D nahezu ausgeglichen ist, während das Profil C eine vermittelnde Stellung einnimmt. Dieses allmähliche Angleichen der Sand/Ton-Verhältnisse dürfte einerseits auf zunehmender Distalität (A → C) und andererseits besonders auf einer ausgeprägten Lateralität in bezug auf die Hauptschüttungsrichtung beruhen (C → D). Während im Bereich des Profils A nur wenige Trübeströme ihre Sandfracht abgelagerten, stieß die Mehrzahl der Sedimentströme viel weiter in das Becken vor. Sie hinterließen hier bei fächerartiger Verbreiterung der Einzelschüttungen insgesamt geringer mächtige Turbidite, die aber wegen ihrer bedeutend höheren Anzahl einen größeren Sandanteil bzw. eine größere Sandmächtigkeit hinterließen (C). Im Profil D kommt es wegen der weiteren Abnahme der Bankmächtigkeiten in lateraler Richtung zu einem weitgehenden Angleich der Sand/Ton-Verhältnisse und damit zu einem relativ glatten Kurvenverlauf.

4.5. Lage, Richtung und Stärke der turbiditischen Schüttungen

Die aus den Profilvergleichen gewonnen Aussagen über Lage, Richtung und Stärke der turbiditischen Schüttungen zeigen in Abhängigkeit von den einzelnen Folgen gewisse Unterschiede (Abb. 6).

Im unteren Teil des Nensten-Quarzits (Folgen I–III) ist die Hauptschüttungsrichtung generell nach SE gerichtet. Sie verläuft zwischen den Profilen C und D und zeigt eine allmähliche Verlagerung nach SW. Während der Folge IV treten zwei getrennte Schüttungsrichtungen auf. Gleichzeitig erreicht die Stärke der turbiditischen Schüttungen ein Maximum. Die Richtungsänderungen und Verzweigungen der sedimentliefernden Strömungen besonders während der Folge IV sind i. w. durch den während der vorausgegangenen Folgen entstandenen zentralen Sedimentfächer zu erklären und nicht durch Veränderungen am Ursprungsort der Trübeströme. Die späteren Schüttungen weichen dem durch Sedimentation aufgehöhten Bereich aus und schmiegen sich seitlich an den bereits bestehenden Sedimentfächer an. In der schwachen Endphase der turbiditischen Schüttungen (Folge V) verläuft die Hauptschüttungsrichtung zwischen dem zentralen Bereich und dem östlich anschließenden Sedimentfächer der Folge IV. Neben diesen durch örtliche Reliefveränderungen hervorgerufenen Strömungsverlagerungen treten auch periodische Schwankungen in der Stärke bzw. Reichweite der Trübeströme

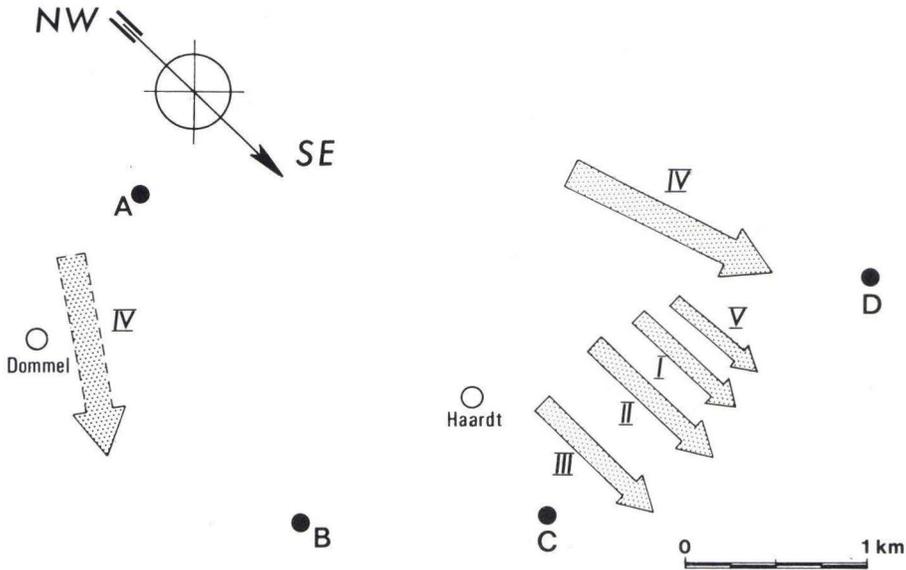


Abb. 6. Lage, Richtung und Stärke der turbiditischen Schüttungen des Nensten-Quarzits auf Bl. 4618 Adorf für die Folgen I bis V. (A = Koppen; B = Brenschelt; C = Ottlar; D = Nensten-Berg; vgl. auch Taf. 1; Lage der Profilpunkte tektonisch verzerrt!)

auf, die sich in den einzelnen Folgen durch Unterschiede in den Bankmächtigkeiten und dem Anteil der Turbidite dokumentieren (Abb. 3). Nach einer Anfangsphase der turbiditischen Schüttungen (Folge I) tritt bereits in der Folge II eine 1. Hauptphase auf. Nach einer mehr oder weniger ausgeglichenen Zwischenphase (Folge III) schließt sich eine 2. Hauptphase an (Folge IV), die im Profil D Maximalwerte für Bankmächtigkeit und Turbidit-Anteil aufweist. Auch das Auftreten der Erosionsrinne in der Folge IV des Profils Brenschelt zeigt an, daß die Trübestrome zu dieser Zeit weiter in das Becken vorstießen und in Bereichen, in denen vorher bereits Ablagerung vorherrschte, z. T. noch stärker erosiv wirksam waren. Danach klingen die Turbidit-Schüttungen in einer Endphase (Folge V) allmählich aus. Das doppelte Maximum in der Stärke der Turbiditschüttungen tritt im Profil D deutlich hervor. Im Profil C liegt demgegenüber nur ein Maximum in der Folge II vor. Die Rückläufigkeit während der Folge IV ist durch eine zu dieser Zeit extrem laterale Position dieses Profils zu erklären.

Durch die Zweigipfeligkeit der Intensitätskurve gibt sich auch in der Abfolge des Nensten-Quarzits eine Zyklik zu erkennen, die sich in übergeordneter Form bereits im Sedimentationsgeschehen des gesamten Mitteldevons anzeigt (Einschaltung von Eisenberg- und Nensten-Quarzit in die pelitischen Beckensedimente). Die episodischen Schwankungen bzw. Verstärkungen der Sandeinschüttungen in das dem Schelf südlich vorgelagerte Becken dürften damit auf überregionale Ursachen zurückzuführen sein, die in epirogen gesteuerten Schwankungen der

Küstenlinie, d. h. in transgressiven und regressiven Bewegungen begründet liegen. Großräumige Verlagerungen der Sedimentströme können nicht die Ursache der Intensitätsschwankungen sein, da in der gesamten Abfolge des Nensten-Quarzits die Hauptströmungsrichtungen generell nach SE gerichtet sind und somit für den betrachteten Raum keine bedeutenden Veränderungen anzeigen.

4.6. Rekonstruktion des ehemaligen Schüttungsfächers

Aus der relativ engen Verzahnung der Schüttungseinheiten des Nensten-Quarzits kann man eine generelle Herkunftsrichtung des Sedimentmaterials bzw. der Trübestrome aus NW annehmen. Verfolgt man diese Richtung weiter nach NW, so weist sie (nach Ausglättung der Faltung) auf den Bereich des Schelfrandes, der von dem Altenbürener Lineament gequert wird. Als Ausgangspunkt der Turbiditschüttungen kann somit die seit dem unteren Mitteldevon synsedimentär wirksame Altenbürener Störungs- oder Flexurzone angenommen werden. Diese Zone stellt eine Grenze zwischen zwei Schollen dar, die epirogene Bewegungen ausführen. Sie ist bereits im Mitteldevon als deutliche Faziesgrenze zu erkennen. Benthosführende karbonatreiche Schiefer bis Kalkflaserschiefer westlich der Altenbürener Störung grenzen an kalkarme Schiefer mit pelagischer Fauna östlich dieser Zone (UFFENORDE 1975). Auch im höchsten Mitteldevon und im untersten Oberdevon ist hier noch eine deutliche Faziesgrenze zu erkennen, an der das Briloner Riff eine relativ scharfe W-Begrenzung aufweist.

Der Nensten-Quarzit auf Bl. 4618 Adorf wurde somit in ca. 20 km Entfernung vom Ausgangsort der sedimentliefernden Strömungen abgelagert. Die direkte Entfernung zum Schelfrand beträgt allerdings nur ca. 10 km. Daraus läßt sich ein schräg in das Becken hineinreichender Sedimentfächer ableiten.

Aufgrund der regionalen Verbreitung, der Mächtigkeitsverteilung und der sedimentologischen Parameter der einzelnen Profile läßt sich das ehemalige Sedimentationsgebiet des Nensten-Quarzits ungefähr rekonstruieren (Abb. 7). Es ergibt sich im großen das Bild eines asymmetrischen Schüttungsfächers, der sich vom Schelfrand schräg nach SE in den Beckenbereich verbaut. Das Liefergebiet des Nensten-Quarzits, der einen relativ schmalen Sedimentfächer mit eng beieinander liegenden Schüttungskörpern bildet, dürfte am Schelfrand auf wenige Kilometer beschränkt sein. Die einzelnen Trübestrome bewegten sich also nicht auf breiter Front beckenwärts, sondern flossen nur aus einem begrenzten Bereich in das Becken ab. Die Ursache dürfte in einer rinnenartigen Zusammenfassung der Sedimentzufuhr auf dem äußeren Schelf im Verlauf der NNW-SSE streichenden Altenbürener Störungszone zu sehen sein. In dem unmittelbar an den Schelfrand anschließenden Bereich des Sedimentfächers verliefen die noch energiereichen Trübestrome vorwiegend in Rinnen und hielten den überwiegenden Teil ihrer Sedimentfracht in Schwebelage (innerer Schüttungsfächer). Erst in einem weiter strömungsabwärts gelegenen Bereich erlahmten die Trübestrome allmählich und breiteten ihre Sedimente deckenartig aus (äußerer Schüttungsfächer). Hier ist der Ablagerungsbereich des eigentlichen Nensten-Quarzits, der aus einem Wechsel von sandigen Turbiditen und zwischengeschalteten Peliten besteht und in Richtung

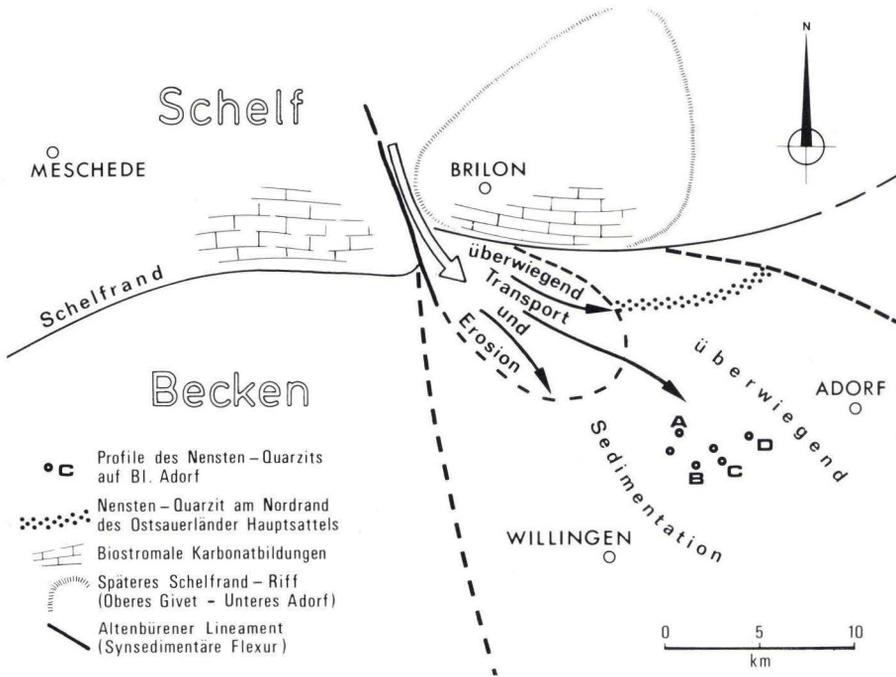


Abb. 7. Paläogeographische Rekonstruktion des Schelf-Becken-Bereichs für das mittlere Givet mit Schüttungsfächer des Nensten-Quarzits (Faltung ausgeglättet; W-Teil des Schelfrandes nach LANGENSTRASSEN 1975).

der Hauptströmung die größten Mächtigkeiten aufweist. Das geringmächtigere Vorkommen am N-Rand des Ostsauerländer Hauptsattels, das auf Bl. 4617 Brilon allmählich einsetzt und auf dem östlich anschließenden Bl. 4618 Adorf bereits wieder auskeilt, hat demgegenüber eine deutlich laterale Position auf der NE-Flanke des Sedimentfächers. Obwohl der Nensten-Quarzit nach SE von jüngeren Sedimenten überlagert wird und damit der direkten Beobachtung nicht mehr zugänglich ist, kann man aus der Konfiguration des proximalen Teils des Sedimentfächers ableiten, daß die ursprüngliche Ausdehnung sehr viel größer gewesen ist und die Turbidit-Schüttungen ehemals wohl bis zu etlichen Zehner Kilometern (ca. 60–70 km) in das Becken hineinreichten.

5. Schlußbetrachtung

Generell spiegeln sich in den mitteldevonischen Beckensedimenten des E-Teils der Rheinischen Geosynklinale die besonderen sedimentologischen Verhältnisse in der Nachbarschaft eines Schelfrandes wider. Während Zeiten epirogener Bewe-

gungen im Schelf–Becken-Bereich, die marine Regressionen zur Folge hatten, kam es zweimal zu verstärkten Turbidit-Einschüttungen in das Becken. In einer Periode relativer Ruhe (oberes Givet – unteres Adorf), während der weniger klastisches Material vom Schelf geliefert wurde, entstanden die Riffkomplexe des Schelffrandes. Das Oberdevon zeichnet sich wieder durch eine Vormacht silikat-klastischer Schüttungen aus, die erst mit Beginn des Unterkarbons gänzlich aussetzen. Nach einer Phase der Stagnation gelangten im Oberkarbon im Zuge von einsetzender Faltung und Hebung erneut silikat-klastische Schüttungen (Grauwacken) in die geschrumpfte Beckenregion, nun aber aus südlicher Richtung und damit das Ende der Rheinischen Geosynklinale anzeigend.

6. Schriftenverzeichnis

- BOTTKE, H. (1962): Der Roteisenstein des östlichen Sauerlandes und seine Beziehung zur Stratigraphie und Fazies des Oberen Givets und der Adorf-Stufe. – *Roemeriana*, **6**: 146 S., 13 Abb., 6 Tab.; Clausthal-Zellerfeld.
- BOUMA, A. H. (1962): *Sedimentology of some flysch deposits*. – 168 S., 31 Abb., 17 Tab., 8 Taf., 3 Beil.; Amsterdam (Elsevier).
- CRIMES, T. P. (1970): The significance of trace fossils in sedimentology, stratigraphy and palaeoecology with examples from Lower Palaeozoic strata. – In: CRIMES, T. P., & HARPER, J. C. [Hrsg.]: *Trace fossils*, *Geol. J. spec. Issue*, **3**: 101–126, 9 Abb., 5 Taf.; Liverpool (Seel House Press).
- (1975): The stratigraphical significance of trace fossils. – In: FREY, R. W. [Hrsg.]: *The study of trace fossils*: 109–130, 5 Abb., 2 Tab.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- EDER, W. (1975): Riffe und Riff-detrigene Plattenkalke. – Ber. Sonderforschungsbereich 48, Projektbereich A, Stoffbestand und Tektogenese der variskischen Geosynklinale: 117–143, 7 Abb.; Göttingen.
- ENGEL, W., FRANKE, W., LANGENSTRASSEN, F., WALLISER, O. H., & WITTEN, W. (1977): Überblick über die paläogeographische Entwicklung des östlichen Rheinischen Schiefergebirges. – Exkursions-Führer Geotagung '77, **1**, Exk. A: 2–11, 6 Abb.; Göttingen.
- EINSELE, G. (1963): Über Art und Richtung der Sedimentation im klastischen rheinischen Oberdevon (Famenne). – *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **43**: 60 S., 8 Abb., 7 Tab., 5 Taf.; Wiesbaden.
- ENGEL, W. (1975): Detritische Kalke in Beckenregionen. – Ber. Sonderforschungsbereich 48, Projektbereich A, Stoffbestand und Tektogenese der variskischen Geosynklinale: 90–116, 4 Abb.; Göttingen.
- & EDER, W. (1975): Allochthoner Karbonat-Detritus südlich des Briloner Riffkomplexes. – Ber. Sonderforschungsbereich 48, Projektbereich A, Stoffbestand und Tektogenese der variskischen Geosynklinale: 94–98, 1 Abb.; Göttingen.
- FRANKE, W. (1974): Fazies-Analyse und geosynklinale Kinematik an Beispielen aus dem Rhenohercynikum. – *Nachr. dt. geol. Ges.*, **9**: 104–109; Hannover.
- FÜCHTBAUER, H., & MÜLLER, G. (1977): *Sedimente und Sedimentgesteine*. – 3. Aufl., 784 S., 341 Abb., 70 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GOLDRING, R., & LANGENSTRASSEN, F. (1979): Open shelf and nearshore clastic facies in the Devonian. – *Spec. Pap. Palaeont.*, **23**: 81–97, 10 Abb., 1 Tab.; London.
- HOMRIGHAUSEN, R. (1979): Petrographische Untersuchungen an sandigen Gesteinen der Hörre-Zone (Rheinisches Schiefergebirge, Oberdevon – Unterkarbon). – *Geol. Abh. Hessen*, **79**: 84 S., 16 Abb., 5 Tab., 13 Taf.; Wiesbaden.
- KREBS, W. (1979): Devonian basinal facies. – *Spec. Pap. Palaeont.*, **23**: 125–139, 6 Abb., 4 Tab.; London.
- LANGENSTRASSEN, F. (1975): Schelfablagerungen. – Ber. Sonderforschungsbereich 48, Projektbereich A, Stoffbestand und Tektogenese der variskischen Geosynklinale: 144–168, 5 Abb.; Göttingen.
- LEUTERITZ, K. (1972): Erläuterungen zu Blatt 4817 Hallenberg. – *Geol. Kt. Nordrh.-Westf.* 1:25000: 215 S., 25 Abb., 28 Tab., 4 Taf.; Krefeld.

- MEISCHNER, K.-D. (1964): Allodapische Kalke, Turbidite in Riff-nahen Sedimentations-Becken. – *Dev. Sedimentol.*, **3**: 156–191, 5 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Amsterdam, London, New York (Elsevier).
- (1971): Clastic sedimentation in the Variscan geosyncline east of the river Rhine. – *Sedimentology of parts of Central Europe*, Guidebook 8. *Int. Sedimentol. Congr.*, Heidelberg 1971: 9–43, 19 Abb.; Frankfurt (Kramer).
- PAECKELMANN, W. (1934): Die Grundzüge der Tektonik des östlichen Sauerlandes. Mit Beiträgen zur Stratigraphie des Mitteldevons. – *Jb. preuß. geol. L.-Anst.*, **54**: 217–260, 6 Abb.; Berlin.
- (1936): Erläuterungen zu Blatt 4618 Adorf. – *Geol. Kt. Preußen u. benachb. dt. Ländern*: 66 S., 2 Abb., 1 Tab.; Berlin.
- PETTIJOHN, F. J. (1957): *Sedimentary rocks*. – 718 S., 173 Abb., 118 Tab., 40 Taf.; New York, Evanston, London (Harper & Row).
- PLESSMANN, W. (1962): Über Strömungsmarken in Oberdevon-Sandsteinen des Sauerlandes. – *Geol. Jb.*, **79**: 387–398, 4 Abb.; Hannover.
- RABIEN, A. (1956): Zur Stratigraphie und Fazies des Ober-Devons in der Waldecker Hauptmulde. – *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **16**: 83 S., 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- REINECK, H.-E., & SINGH, I. B. (1975): *Depositional sedimentary environments*. – 439 S., 579 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- SCHLÜTER, H. (1928): Das Mitteldevon im oberen Diemelgebiet und der geologische Bau des Martenberges bei Adorf. – *Jb. preuß. geol. L.-Anst.*, **48**: 175–214, 11 Abb., 2 Tab.; Berlin.
- SEILACHER, A. (1964): Biogenic sedimentary structures. – In: IMBRIE, J., & NEWELL, N. D. [Hrsg.]: *Approaches to paleoecology*: 296–316, 8 Abb., 1 Tab.; New York, London, Sydney (Wiley).
- STREBIN, M. M. (1979): Geologische Untersuchungen im Devon des östlichen Ostsauerländer Hauptsattels (Rheinisches Schiefergebirge), T. 1: Stratigraphie, Fazies und Tektonik im Raum Diemelsee, T. 2: Sedimentologie und Paläogeographie des Nensten-Quarzits (Givet). – Unveröff. Dipl.-Arb.: 137 S., 89 Abb., 9 Beil.; Münster.
- UFFENORDE, H. (1975): Faziesdifferenzierung und Paläogeographie stabiler Schwellen. – *Ber. Sonderforschungsbereich 48, Projektbereich A, Stoffbestand und Tektogenese der variskischen Geosynklinalen*: 51–85, 2 Abb.; Göttingen.
- WIEST, B. (1979): Pillow-Laven und „volcaniclastics“ am Arnstein, NE-Sauerland. – Unveröff. Dipl.-Arb.: 126 S., 30 Abb.; Göttingen.
- WUNDERLICH, H. G. (1964): Maß, Ablauf und Ursachen orogener Einengung am Beispiel des Rheinischen Schiefergebirges, Ruhrkarbons und Harzes. – *Geol. Rdsch.*, **54**: 861–882, 5 Abb.; Stuttgart.

Manuskript eingegangen am 21. 12. 1981

Die hochoberdevonischen Feldspat-Sandsteine (Dasberg- bis Wocklum-Stufe) der mittleren Dillmulde (Rheinisches Schiefergebirge, Bl. 5216 Oberscheld)

Von

DIERK HENNINGSEN und ARNOLD RABIEN*

Kurzfassung: In der mittleren Dillmulde besteht die hochoberdevonische Schichtenfolge der Beckenfazies aus einer Schiefer/Sandstein-Wechselagerung, für deren unteren Teil dünnbankige Siltsteine und für deren oberen Teil dickbankige bis massige Sandsteine mit Bankmächtigkeiten bis zu mindestens 7 m charakteristisch sind. Die petrographischen Merkmale der Sandsteine sind: deutliche Gehalte an Feldspäten (bis 20 %) und Glimmern (bis 10 %), Auftreten von Geröllen magmatischer und metamorpher Gesteine sowie von Kalk-Ooiden, Peloiden und umgelagerten Fossilresten im oberen Teil der Schichtfolge (Dasberg/Wocklum-Grenzbereich oder Untere Wocklum-Stufe). Typisch ist das oft löcherige Aussehen der Feldspat-Sandsteine, das hauptsächlich durch Herauswittern von Partien des teilweise calcitischen Bindemittels entsteht. Diese „Lochsandsteine“ unterscheiden sich deutlich von allen übrigen Sandsteinen der Dillmulde, so daß sie bei der geologischen Kartierung als Leithorizont verwendet werden können. Am Kontakt mit Intrusiv-Diabasen erfolgte eine Umwandlung der Feldspat-Sandsteine zu Epidot-Sandsteinen, im Extremfall zu Albit-Quarziten.

[Upper Devonian Feldspar-Sandstones from the central Dill Syncline (Dasberg – Wocklum Stage, Rheinisches Schiefergebirge, sheet 5216 Oberscheld)]

Abstract: The Upper Devonian Dasberg and Wocklum Stage (uppermost Famennian) in the central part of the Dill Syncline consist of alternating beds of shales and sandstones. In the lower part thin-bedded siltstones are typically found, in the upper part thick-bedded to massive sandstones, up to 7 m thick at least. These sandstones are petrographically marked by significant contents of feldspars (up to 20 %) and micas (up to 10 %), and the presence of magmatic and metamorphic fragments. Calcareous ooids, peloids, and redeposited remains of fossils are additionally found in the upper part of the sequence (Dasberg-Wocklum boundary or Lower Wocklum Stage). The often porous appearance of the feldspar-sandstones is mainly caused by weathering of sections of the partly calcareous binding agent. These „hole-sandstones“ are well distinguished from all other sandstones in the Dill Syncline, and therefore may be used as marker-beds for mapping purposes. The feldspar-sandstones are altered to epidote-sandstones, in extreme cases to albite-quartzites, when they came into contact with intrusive diabases.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung (RABIEN)	68
2. Stratigraphie (RABIEN)	69

* Prof. Dr. D. HENNINGSEN, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover, Callinstraße 30, 3000 Hannover 1. Dr. A. RABIEN, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden.

3. Petrographie (HENNINGSEN)	77
3.1. Mineralbestand der Feldspat-Sandsteine	77
3.2. Veränderung der Feldspat-Sandsteine am Diabas-Kontakt	82
4. Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Feldspat-Sandsteine (HENNINGSEN)	85
4.1. Herkunft der Ooide	85
4.2. Liefergebiete und Schüttungsmechanismus der Feldspat-Sandsteine	86
5. Verzeichnis der Fundpunkte, Proben und Dünnschliffe (RABIEN)	87
6. Schriftenverzeichnis	89

1. Einleitung (RABIEN)

Im Rahmen der geologischen Neukartierung des Bl. 5216 Oberscheld der GK 25 von Hessen durch H.-J. LIPPERT sind vom Verfasser biostratigraphische Untersuchungen durchgeführt worden, die das Ziel hatten, in bestimmten Teilen des Blattgebietes stratigraphische, fazielle und tektonische Fragen zu klären. Bei den Geländeaufnahmen wurden aus den devonischen und unterkarbonischen Schichtfolgen nicht nur paläontologische, sondern auch Sediment- und Vulkanit-Proben aufgesammelt. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit Sandsteinen, die sich bei den Geländeuntersuchungen aufgrund ihrer petrographischen Ausbildung und ihrer löcherigen Verwitterung als Leitgestein innerhalb der jungoberdevonischen Schichtfolge erwiesen („Lochsandstein“). Die Sandstein-Proben stammen von Aufschlüssen und Lesesteinen bei Hirzenhain, Lixfeld, Bottenhorn, Hülshof, Wommelshausen, Hartenrod, Günterod, Übernthal und Herborn-Seelbach (Abb. 1; Kap. 5). Wenn man die Grenze zwischen der SW- und NE-Dillmulde auf der Linie Hirzenhain – Bad Endbach zieht (RABIEN 1979: 27), liegt ein Teil der Fundpunkte in der SW-Dillmulde und ein Teil in der NE-Dillmulde; das Untersuchungsgebiet wird daher hier als mittlere Dillmulde bezeichnet.

In der SW-Dillmulde sind ähnliche Sandsteine des hohen Oberdevons im Bereich der Nachbarblätter 5215 Dillenburg und 5315 Herborn bei Langenaubach, Donsbach, Dillenburg, Burg, Herborn und Sinn aufgefunden und beschrieben worden (Abb. 1; RABIEN und SCHRICKE in LIPPERT et al. 1970: 196–218; HENNINGSEN 1972: 8–9). In der NE-Dillmulde wurde bei Diplomkartierungen des Geologischen Instituts der Universität Marburg auf Bl. 5117 Buchenau neuerdings ebenfalls der „Lochsandstein“-Horizont entdeckt (mündl. Mitt. von Prof. Dr. W. ZIEGLER).

Herr Prof. Dr. D. HENNINGSEN übernahm die petrographische Untersuchung der Sandstein-Proben, da im Hessischen Landesamt für Bodenforschung wegen anderer dringender Aufgaben diese Arbeiten nicht durchgeführt werden konnten. Herrn Berg.-Ing. G. HÜHNER (HLfB, Wiesbaden) dankt der Verfasser für die Mithilfe bei den Geländearbeiten und für die Anfertigung der Druckvorlagen der Abb. 1, 2 und 6. Herr Priv.-Doz. Dr. W. BUGGISCH (Darmstadt) stellte in dankenswerter Weise die Fotos für die Abb. 3, 4, 5 und 9 zur Verfügung. Das Belegmaterial und die Dünnschliffe sind im HLfB in Wiesbaden hinterlegt.

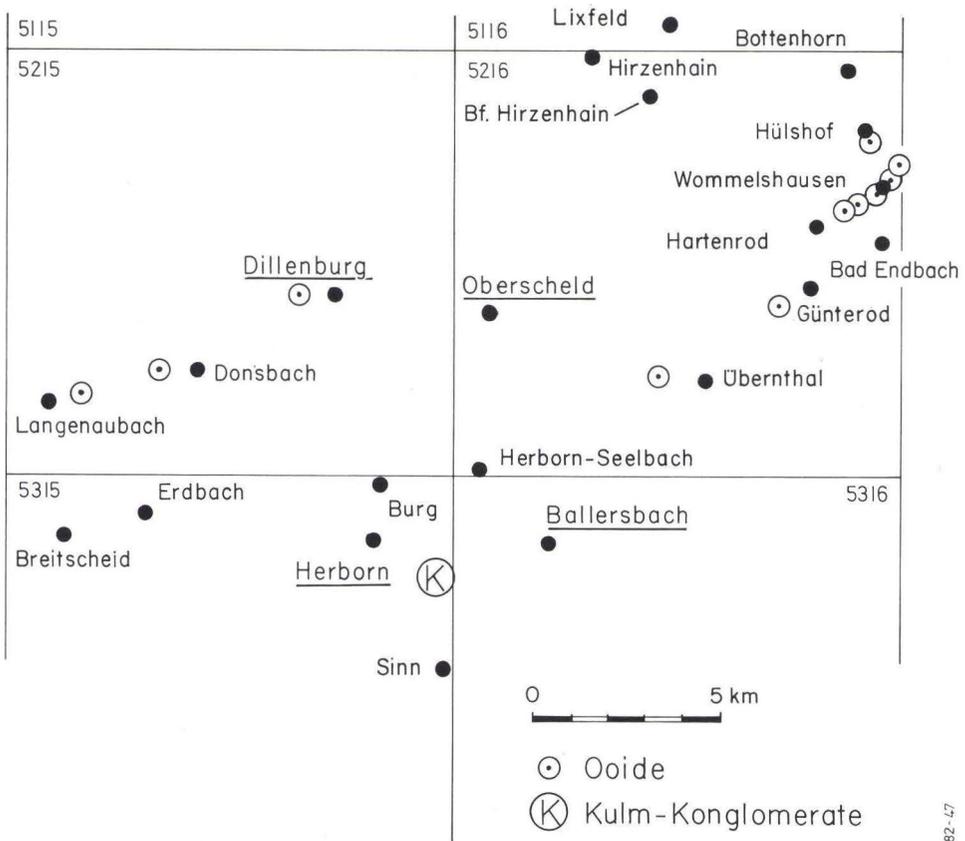


Abb. 1. Übersichtskarte der Fundpunkte von hochoberdevonischen Feldspat-Sandsteinen und Ooid-Vorkommen im Untersuchungsgebiet (Bl. 5216 Oberschedl) und den westlich anschließenden Nachbarbereichen (Bl. 5215 Dillenburg, Bl. 5315 Herborn). K = Kristallingerölle führende Kulm-Konglomerate vom Stützel-Berg bei Herborn.

2. Stratigraphie (RABIEN)

Die untersuchten Sandstein-Proben stammen aus einer jungoberdevonischen Schichtenfolge, die aus einer Wechsellagerung von Sandsteinen und grün-grauen und rotbraunen Tonschiefern besteht. Die stratigraphische Stellung dieser Gesteinsfolge ist im großen dadurch bestimmt, daß im Liegenden rotbraune, untergeordnet grüngraue Tonschiefer auftreten, die gemäß ihrer biostratigraphischen Einstufung in verschiedenen Profilen des Untersuchungsgebietes der Hemberg-Stufe angehören. Das Hangende der Sandsteine bilden die Hangenberg-Schiefer, die in der Dillmulde nur wenige Meter mächtig sind und als Leithorizont des Devon/Karbon-Grenzbereiches in der höheren Wocklum-Stufe einsetzen und

das Unterkarbon I mit umfassen. Hieraus ergibt sich für die hochoberdevonische Schiefer/Sandstein-Folge eine stratigraphische Reichweite vom Grenzbereich Hemberg/Dasberg-Stufe bis zur Unteren Wocklum-Stufe. Es handelt sich also um ein stratigraphisches Äquivalent der „Dasberg-Wocklum-Schiefer/Sandstein-Folge“ der SW-Dillmulde. In der mittleren Dillmulde dürften bezüglich der Unter- und Obergrenze und der Lage der Ooide führenden Feldspat-Sandsteine innerhalb dieser Schichtenfolge die gleichen oder sehr ähnlichen stratigraphische Verhältnisse herrschen wie im Gebiet der Blätter Dillenburg und Herborn (RABIEN in LIPPERT et al. 1970: 187–188, 196–199, 214–217, Abb. 5, 7, Tab. 10, 16; RABIEN 1979: 35–37, Abb. 15, Tab. 3).

Bisher konnte im Untersuchungsgebiet noch kein Profil gefunden werden, das die gesamte Dasberg-Wocklum-Schichtenfolge in ungestörter Lagerung aufschließt. Daher ist es auch nicht möglich, genaue Angaben über die Mächtigkeit zu machen; bei Wommelshausen ist mit einer Sedimentmächtigkeit von etwa 70 m zu rechnen.

Ähnlich wie in der SW-Dillmulde setzt die jungoberdevonische Schiefer/Sandstein-Folge auch im Untersuchungsgebiet mit dünnplattigen bis dünnbankigen Silt- und Feinsandsteinen ein, die meist karbonatisch und glimmerreich sind und durch eine gut ausgebildete innere Feinschichtung charakterisiert werden (bankinterne Horizontalschichtung, Schrägschichtung, Wulstschichtung). Eine derartige Schiefer/Sandstein-Wechselagerung aus dem unteren Teil der Schichtenfolge zeigt das Profil im Liegenden des Pikritsteinbruchs Angelburg bei Hirzenhain (Abb. 2; Kap. 5, Fp. Hirzenhain 2 = O/3/144). Aus der Fundschicht 2 des Profils konnten die in Tab. 1, Fp. O/3/144, aufgeführten Fossilien bestimmt werden. (Die Fs. 2 besteht aus mehreren fossilhaltigen Schieferlagen im Liegenden und Hangenden einer 10 cm mächtigen, schwarzbraun verwitterten, fossilleren Karbonatlage = Scht.-Nr. 20 des Profils.)

Die Tab. 1 enthält außerdem in der Spalte O/2/32 Fossilbestimmungen aus einer äquivalenten, ca. 13 m über der Obergrenze der Hemberg-Rotschiefer gelegenen Fundschicht aus dem Profil des Bahneinschnittes „Wasserscheide“ S Bahnhof Hirzenhain, ca. 2,4 km SW Fp. O/3/144. Nach den Ostracoden gehören beide Fundschichten zur Unteren *hemisphaerica-dichotoma*-Zone und damit zur Unteren Dasberg-Stufe. Daraus folgt, daß die Hemberg/Dasberg-Grenze im tiefsten Teil der jungoberdevonischen Schiefer/Sandstein-Folge liegen muß.

Für den höheren Teil der jungoberdevonischen Schiefer/Sandstein-Folge sind Einlagerungen oder mehrere Meter mächtige Horizonte von dickbankigen bis massigen Sandsteinen charakteristisch. Die frische Gesteinsfarbe dieser Sandsteine ist im allgemeinen grüngrau, durch Verwitterung nehmen sie gelbliche und bräunliche Farbtöne an. Im Unterschied zu den Silt- und Feinsandsteinen der Basisschichten sind sie meist grobkörniger; der verhältnismäßig hohe Feldspatgehalt, eingelagerte kleine Tonschieferflatschen und Tonschieferlinsen verschiedener Größe, reichlich große helle Glimmerschüppchen (oft in Lagen angereichert), Pflanzenhäcksel und das gelegentliche Auftreten von Makrofossilresten (vorwiegend Crinoidenstielglieder) verleihen diesen Sandsteinen ein grauackentartiges Aussehen. Die dickeren Bänke zeigen nur verhältnismäßig

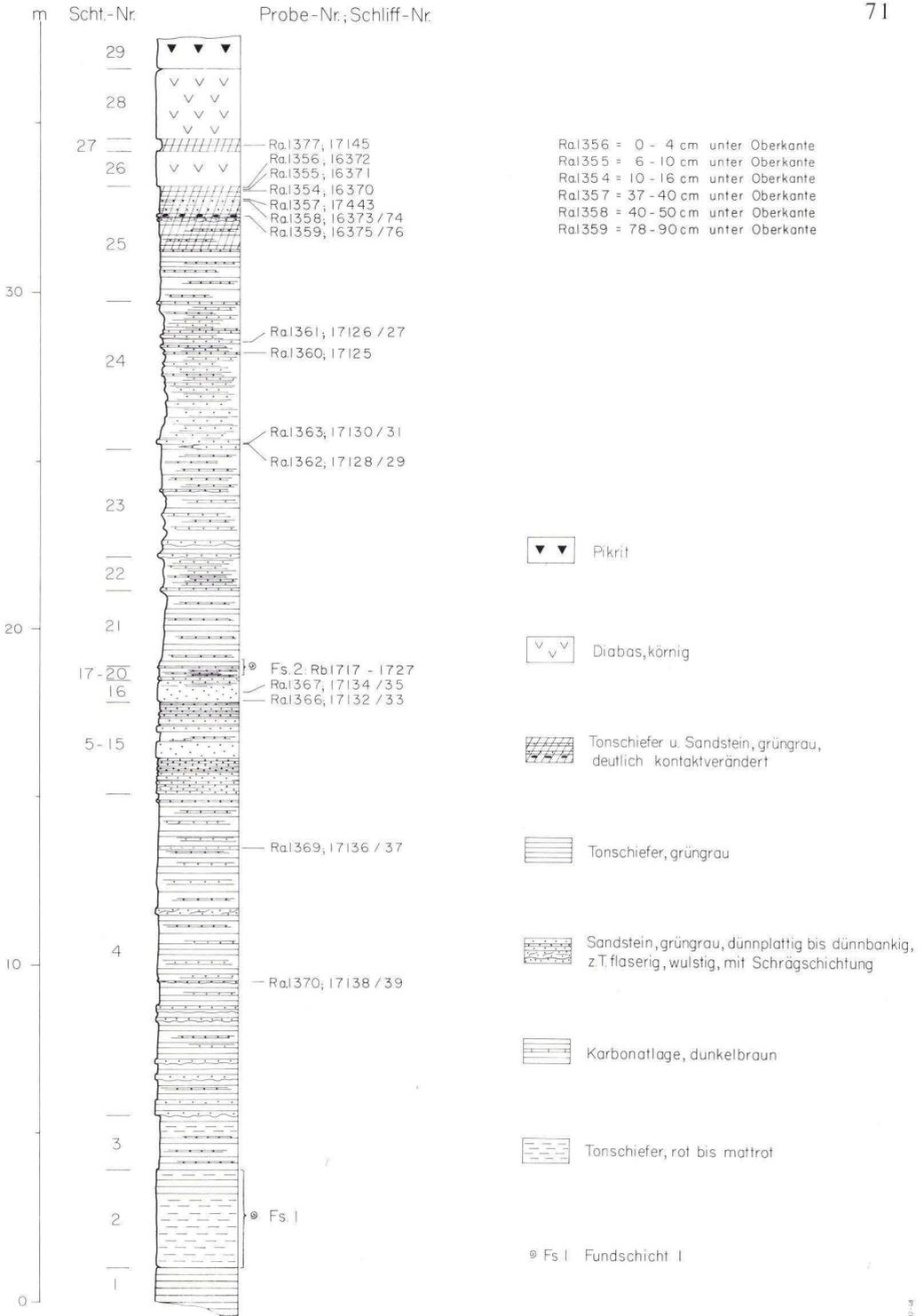


Abb. 2. Profil Hirzenhain 2 an der NW-Seite des Stbr. Angelburg NE Bf. Hirzenhain (Kap. 5, Nr. 3). Unterer Teil der Dasberg Wocklum-Schiefer/Sandstein-Folge im Liegenden eines rd. 150 m mächtigen Diabas-Pikrit-Lageranges und im Hangenden der Hemberg-Rotschiefer (s. Kap. 2, Tab. 1 u. Kap. 3.2. Tab. 3, Abb. 9).

Tab. 1. Fossilbestimmungen aus dem unteren Abschnitt der Dasberg-Wocklum-Schiefer/Sandsteinfolge, ca. 13 m über dem Hemberg-Rotschiefer. Fundpunkt O/3/144=Profil Hirzenhain 2, Fs. 2, s. Abb. 2. Fp. O/2/32 = Profil „Wasserscheide“ S Bhf. Hirzenhain.

Fundpunkte:	O/3/144	O/2/32
<i>Maternella hemisphaerica</i> (RHEINH. RICHTER)	4	3
<i>Maternella dichotoma</i> (PAECKELMANN)	9	3
<i>Maternella exornata</i> (MATERN)		1; 1?
<i>Richterina (Richterina) striatula</i> (RHEINH. RICHTER)	230; sh	160; sh
<i>Richterina (Richterina) cf. tenuistriata</i> KUMMEROW		1
<i>Richterina (Richterina) costata</i> (REINH. RICHTER)	2	
<i>Richterina (Fossirichterina) semen</i> (JONES)	7; 4?	1; 4?
<i>Richterina (Fossirichterina) moravica</i> (RZEHAČ)?		1
<i>Richterina (Fossirichterina) moravica</i> vel <i>semen</i>	2	6
<i>Richterina (Fossirichterina) intercostata</i> MATERN		2
<i>Entomoprimitia (Reptiprimitia) rabieni</i> BLUMENSTENGEL	2?	1
<i>Hollinella</i> sp.	1	1
<i>Amphissites parvulus</i> (PAECKELMANN)?		1
<i>Healdia</i> sp.		4
<i>Drevermannia</i> sp.		3
<i>Posidonia (Guerichia) venusta</i> (MÜNSTER)	7	7
<i>Posidonia (Guerichia) sp.</i>	5	11; h
„ <i>Lingula</i> “ sp.	1	
<i>Nereites</i> MACLEAY		1

selten bankinterne Parallel- und Schrägschichtung, außerdem Umlagerungsgefüge und Strömungs- und Belastungsmarken (flute casts, load casts) an den Bankunterseiten.

Das Vorkommen von Ooiden und eine durch Verwitterung erzeugte löcherige Oberfläche sind das besondere Kennzeichen der hochoberdevonischen Feldspat-Sandsteine. Hierdurch unterscheiden sie sich deutlich von allen übrigen oberdevonischen Sandsteinen der Adorf- bis Hemberg-Stufe. Die Ooide und Peloide lassen sich makroskopisch auf dem frischen Gesteinsanbruch oder auf Schnittflächen als runde bis ovale schwarze Flecken von 0,5–1,5 mm Ø erkennen (Abb. 3).

Je nach dem Verwitterungsgrad der Gesteinsproben bekommen die Anschnitte ein weißfleckiges Aussehen und die äußeren Verwitterungsrinden werden feinporig bis löcherig. Bei den feinporigen Varietäten liegt der Durchmesser der Löcher meist bei 0,5 mm (0,2–1, max. 1,5 mm), bei den groblöcherig verwitterten Varietäten erreichen die Durchmesser der Löcher 1–5, max. 10 mm (Abb. 4 u. 5).

Diese löcherige Verwitterung verleiht den Sandsteinen ein so charakteristisches Aussehen, daß sie bei der geologischen Kartierung als Leithorizont verwendbar sind. So konnte z. B. der „Lochsandstein-Horizont“ im Gebiet von Wommelshausen – Hartenrod auf rd. 2 km Erstreckung durchgehend in Aufschlüssen und nach Lesesteinen verfolgt werden (Abb. 1; vom Wegprofil Wommelshausen 1 nahe der E-Blattgrenze nach SW über Wommelshausen 2–10 nach Hartenrod 2 und 3, Lage der Fundpunkte s. Kap. 5).

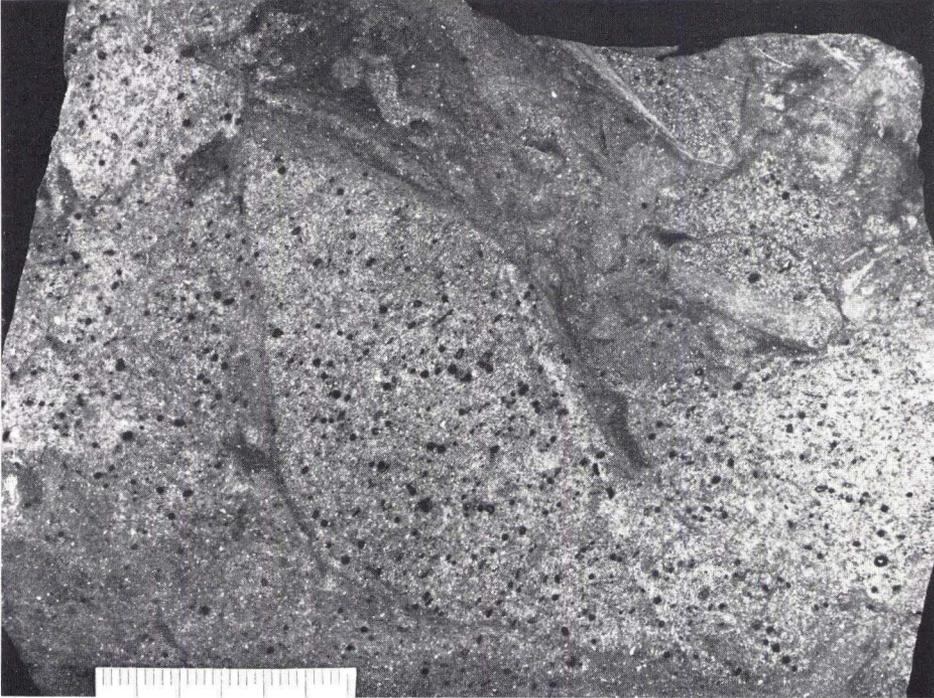


Abb. 3. Basis-Probe (Ra 2360) einer mindestens 7 m mächtigen Sandsteinbank der höheren Dasberg-Wocklum-Schiefer/Sandstein-Folge im Diabas-Steinbruch Hartenrod (Kap. 5, Fp. Hartenrod 2). Runde und ovale dunkle Flecken = Ooide, Peloide und abgerundete Bruchstücke von kalkigen Fossilshalen; außerdem Umlagerungsgefüge (s. Kap. 2 u. 3.1.).

Zum „Lochsandstein“-Zug Wommelshausen–Hartenrod gehört auch die mächtigste Sandsteinbank, die bisher in der westlichen und mittleren Dillmulde beobachtet werden konnte. Es handelt sich um eine mindestens 7 m mächtige, reichlich Ooide und Peloidie führende, löcherig verwitternde Sandsteinbank im aufgelassenen Diabas-Steinbruch am S-Hang des Wollscheid NE Hartenrod (s. Kap. 3.1 u. Kap. 5, Fp. Hartenrod 2). Die Oberkante der Bank war bei der Aufnahme nicht aufgeschlossen. Hierdurch ließ sich nicht feststellen, ob die Mächtigkeit noch über 7 m hinausgeht und ob im höchsten Teil der Bank eine merkliche Gradierung vorhanden ist, wie sie in Form eines glimmerreichen, siltig-tonigen Übergangshorizontes an dickbankigen zeitäquivalenten Sandsteinen der W-Dillmulde auftritt (RABIEN u. SCHRICKE in LIPPERT et al. 1970: 205–213).

Die genaue stratigraphische Lage innerhalb der Dasberg- bis Wocklum-Stufe läßt sich für die „7-m-Bank“ und den gesamten „Lochsandstein-Horizont“ von Wommelshausen–Hartenrod mangels geeigneter Aufschlüsse und biostratigraphisch auswertbarer Fossilien noch nicht genau bestimmen. Die „7-m-Sandsteinbank“ lagert im Steinbruch Hartenrod auf einem rd. 8 m mächtigen Packen

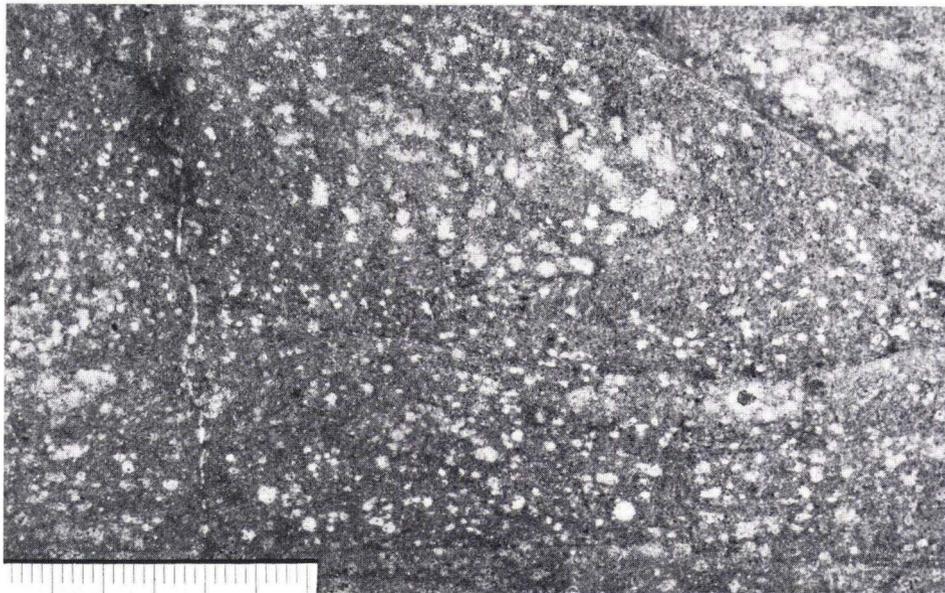
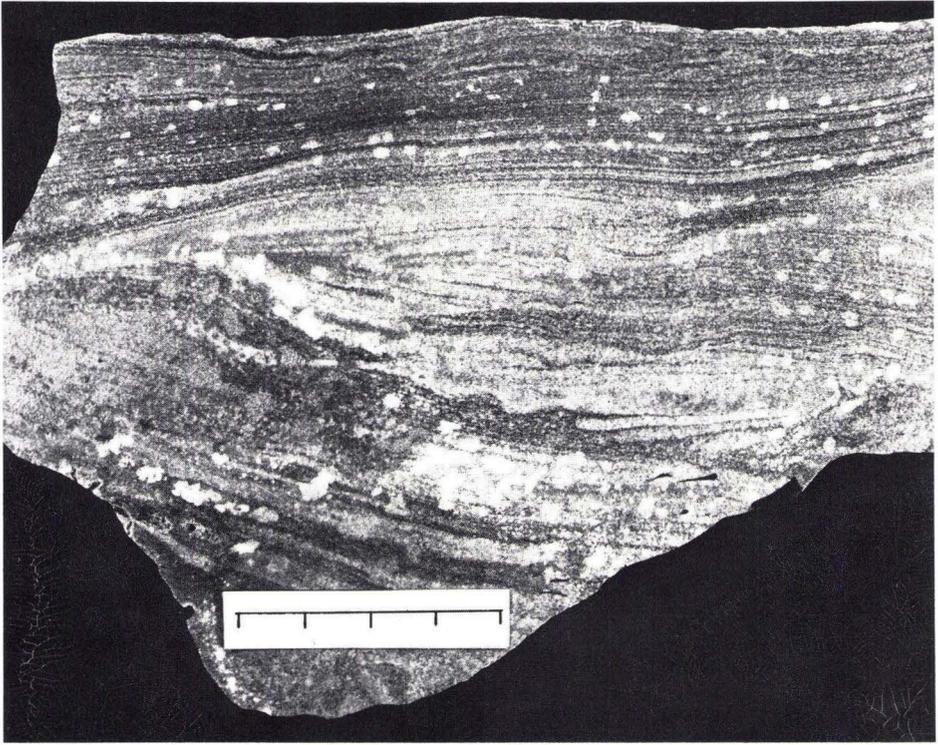


Abb. 4. Feldspat-Sandstein aus dem höchsten Teil der Dasberg-Wocklum-Schiefer/Sandstein-Folge des Profils Herborn-Seelbach 2. Anschnitt mit weißfleckiger Verwitterung. Basisprobe Ra 1724 von Schicht 6 (s. Abb. 6, Kap. 2, Kap. 5, Fp. Nr. 25).

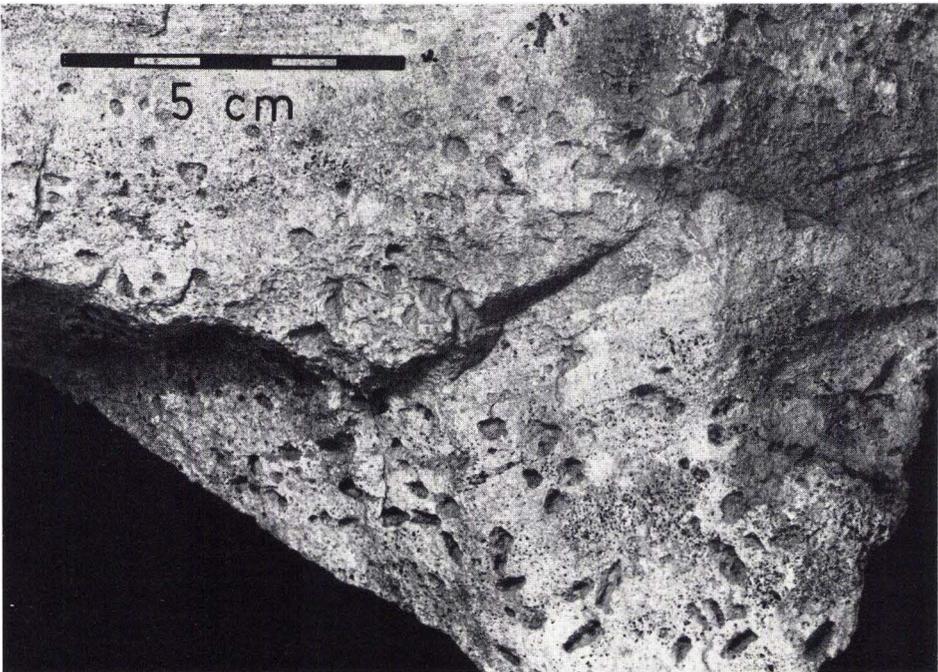
von rotbraunen und grüngrauen Tonschiefern, denen einige dünnbankige Silt- und Feinsandsteinbänke eingelagert sind. Die bisherigen Conodonten-Funde aus diesen Schiefen gestatten keine Einstufung. Eine Rotschieferlage innerhalb einer tieferen Sandstein/Schiefer-Einlagerung zwischen den Diabas-Lagergängen lieferte jedoch folgende Conodonten, deren Präparation, Bestimmung und Datierung in dankenswerter Weise Herr Dr. PETER BENDER (Marburg) übernahm:

- Palmatolepis gracilis gracilis* BRANSON & MEHL
- Palmatolepis rugosa rugosa* BRANSON & MEHL
- Palmatolepis perlobata schindewolffi* MÜLLER
- Polygnathus perplexus* THOMAS
- Bispathodus stabilis* (BRANSON & MEHL)
- Bispathodus* sp. (*aculeatus*-Gruppe?)
- Spathognathodus* sp.

Danach ergibt sich für diese Schieferlage eine Einstufung in die Obere *styriacus*-bis Untere *costatus*-Zone oder die höhere Dasberg-Stufe. Da die Conodonten-Fundschicht im Sedimentprofil (abzüglich der Mächtigkeit des zwischengelagerten Intrusiv-Diabases) etwa 15 m unterhalb der „7-m-Bank“ liegt, kann für diese Sandsteinbank eine stratigraphische Lage im Grenzbereich Dasberg/Wocklum-Stufe oder in der Unteren Wocklum-Stufe angenommen werden. Dafür spricht auch, daß der Abstand zu den hangenden Hangenberg-Schiefen auf nur wenige Meter geschätzt werden kann.



a



b

Abb. 5a u. b. Hochoberdevonischer Feldspat-Sandstein mit bankinterner Parallel- und Schrägschichtung. a) Anschnitt mit weißfleckiger Verwitterung, Maßstab = 4 cm; b) äußere groblöcherige Verwitterungsrinde der gleichen Probe, längster Durchmesser der Löcher meist 1–2 mm, max. 7 mm (Probe Ra 1396 vom Fp. Lixfeld, s. Kap. 2 u. 3.1, Tab. 2, Kap. 5, Fp. Nr. 1).

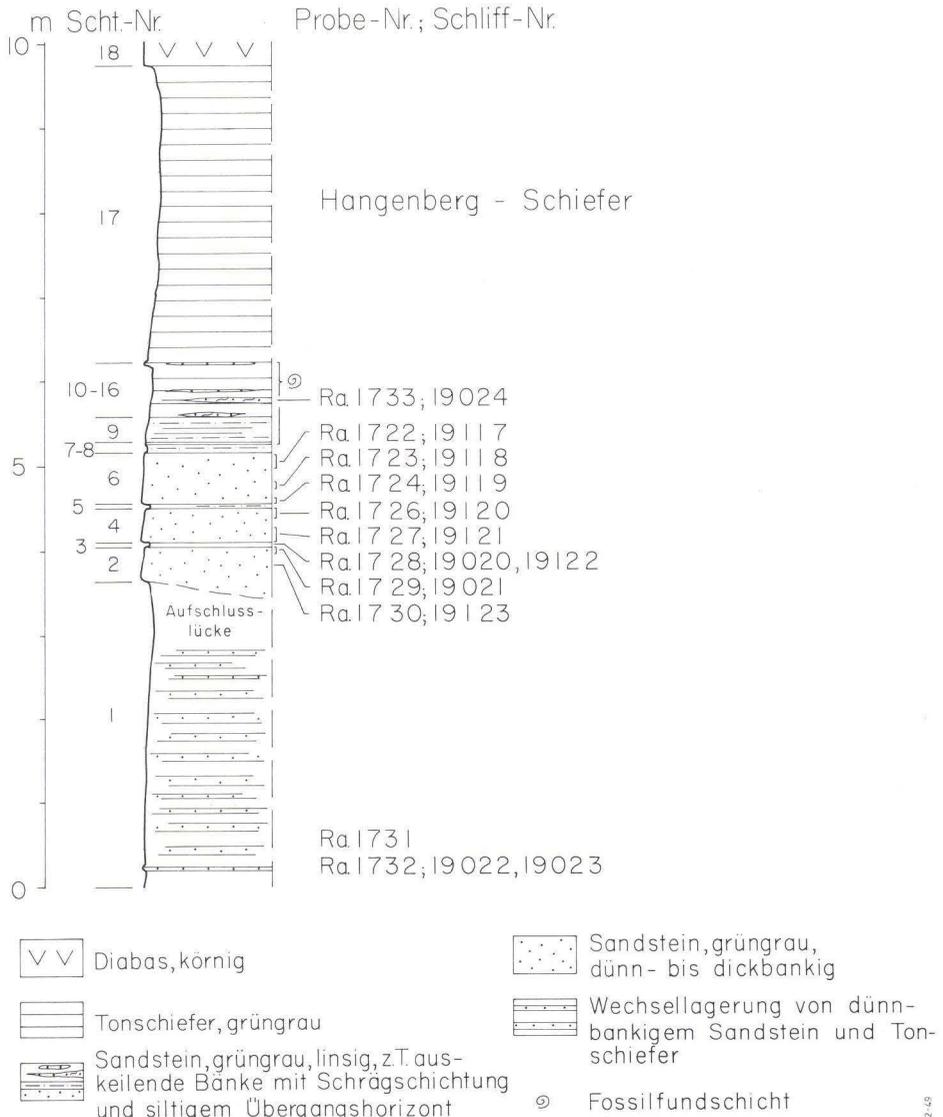


Abb. 6. Obergrenze der hochoberdevonischen Feldspat-Sandsteine im Liegenden der Hangenberg-Schiefer beim Fp. Herborn-Seelbach 2 (s. Kap. 2, Tab. 2; Kap. 5, Fp. Nr. 25).

Die durch Ooide und löcherige Verwitterung gekennzeichneten Feldspat-Sandsteine der Vorkommen bei Herborn-Seelbach, Übernthal und Günterod befinden sich ebenfalls dicht im Liegenden der Hangenberg-Schiefer (Kap. 5, Fundpunkte Herborn-Seelbach 1-6, Übernthal 1-3, Günterod).

Beim Aufschluß Herborn–Seelbach 2 war der Übergang von den Hangenberg-Schiefern zu den unmittelbar darunter lagernden Feldspat-Sandsteinen (vom Typ „Lochsandstein“) profilmäßig gut aufgeschlossen (Profil Abb. 6, Scht.-Nr. 2–16). Im Liegenden von Schicht 2, durch eine Aufschlußlücke (mit Störung?) getrennt, konnte in der Baugrube eines Ölbehälters eine mehrere Meter mächtige Schiefer/Sandstein-Folge beobachtet werden (= Scht. 1 des Profils). Die dünnplattigen, karbonatischen Feinsandsteine ähneln denen der Basisschichten, gehören jedoch in den oberen Teil der Dasberg-Wocklum-Schichtfolge, da sie noch (wieder durch eine Aufschlußlücke getrennt) von hochblasigen Pillowlaven unterlagert werden, die zwar noch nicht petrographisch untersucht sind, nach Geländediagnose jedoch den submarin-effusiven Spiliten der „Jungoberdevon-Phase“ sensu HENTSCHEL der Oberen Dasberg- bis Wocklum-Stufe in der westlichen Dillmulde gleichen (HENTSCHEL in LIPPERT et al. 1970: 319–320, 350–352; RABIEN in LIPPERT et al. 1970: 218–225 und in BUGGISCH et al. 1980: 83–85).

3. Petrographie (HENNINGSEN)

Untersucht wurden ca. 130 Gesteinsdünnschliffe von den im Kap. 5 aufgeführten Vorkommen und Proben. Quantitativ ausgezählt wurden 22 Dünnschliffe von 11 verschiedenen Aufschlüssen.

Die feldspatreichen Sandsteine sind bei mittelkörniger Ausbildung (in Dünnschliffen beobachteter max. Korn- \varnothing ca. 0,7 mm) meist schlecht klassiert und entweder lose gepackt (Anklänge an Grauwacken) oder dicht gepackt, wobei die Körner sich mehr oder weniger miteinander verzahnen (Übergänge zu Quarziten). Bei feinkörniger Ausbildung zeigen die Sandsteine bis Siltsteine meist eine relativ gute Klassierung. Wenn sie dicht gepackt sind, leiten sie zu Quarziten über, sonst entsprechen sie den Glimmer führenden Sandsteinen der Adorf- bis Hemberg-Stufe, die im Gebiet der Blätter Dillenburg und Oberscheld von SCHRICKE und SADEGHOLVAD petrographisch untersucht worden sind (SCHRICKE in RABIEN & SCHRICKE 1966: 289–290, 292, 296–297, 299 und in LIPPERT et al. 1970: 127–128, 160–161, 178–179; SADEGHOLVAD 1981).

3.1. Mineralbestand der Feldspat-Sandsteine

Es überwiegt Quarz (meist zwischen 50 und 80 %). Die Körner löschen häufig bis überwiegend undulös aus, seltener sind sie kataklastisch ausgebildet. In Einzelfällen wurden aus Gangfüllungen stammende Quarzkörner beobachtet, die mit sog. Geldrollen-Chloriten gefüllt sind.

Plagioklas kommt in Mengen zwischen 2 und 5 % vor. Es tritt ausschließlich Albit auf, ein Teil dieser Körner zeigt typische Schachbrett-Ausbildung. Bei den unverzwilligten Feldspäten (meist zwischen 5 und 15 %) handelt es sich überwiegend um K-Feldspäte, die mehrfach Perthit-Gefüge aufweisen. Einzelne Körner dieser Gruppe können auch unverzwilligte Plagioklase sein. Hin und wieder sind Körner von Mikroklin vorhanden.

Glimmer (1–10 %) haben die Form von Einzelschuppen oder Aggregaten/Büscheln. Teils handelt es sich um bräunlichen bis grünlichen Biotit, teils um farblose Glimmer (vermutlich überwiegend entfärbte Biotite). In einigen Proben sind die Biotite \pm chloritisiert, in anderen sind Chlorite verbraunt, so daß in solchen Fällen beide Mineralgruppen nicht klar voneinander abgegrenzt werden können.

Wichtig sind die in den Sandsteinen vorhandenen Bruchstücke bzw. Gerölle von Gesteinen, wenn sie mengenmäßig auch immer unter 2 % bleiben. Es wurden beobachtet solche von Quarziten, Glimmer- und Chloritquarziten, sauren Tiefengesteinen, seltener auch solche von Lyditen, Tonschiefern, Sandsteinen, Kalksteinen und intermediären Ergußgesteinen.

In Sandstein-Proben von insgesamt 9 verschiedenen Fundpunkten im Gebiet des Bl. Oberscheld kommen Ooide, daneben teils auch Peloiden vor. Es handelt sich um folgende Vorkommen (s. Kap. 5 u. Abb. 1)

1. Hülshof 4 (O/4/95) – nur Peloiden
2. Wommelshausen 1 (O/4/163)
3. Wommelshausen 5a u. c (O/4/177 a.u. c)
4. Wommelshausen 10a–c (O/4/340c–c)
5. Hartenrod 2 (O/4/165)
6. Hartenrod 3 (O/4/341)
7. Übernthal 1 (O/6/248)
8. Übernthal 2a–c (O/6/249 a–c)
9. Günterod (O/7/257)

Die Ooide sind teils rundlich, seltener auch oval ausgebildet. Mehr als die Hälfte von ihnen ist randlich \pm stark zerstört (offenbar teils infolge von Transportbeanspruchung, teils infolge diagenetischer Anlösung). Der konzentrisch-schalige Innenbau ist meist gut erhalten, nicht selten sind zusätzliche Radialstrukturen zu erkennen (Abb. 7 u. 8b). Die größten im Dünnschliff beobachteten vollständigen Ooide haben einen Durchmesser von 1,2 mm; wenn man unvollständig erhaltene Körner rekonstruiert, sogar von mehr als 1,5 mm. In der Probe Ra 2366 aus der 7-m-Bank von Hartenrod wurde ein Bruchstück eines Ooliths beobachtet, das aus mindestens 3 dichtgepackten Einzelooiden besteht.

In einigen Ooiden ist ein Kern aus Quarz, Feldspat oder kalkigen Fossilbruchstücken zu erkennen. In kalkig gebundenen Sandsteinen bestehen die Ooide aus Calcit, dem unterschiedliche Anteile von limonitischer Substanz beigemischt sind. Seltener kommen einzelne Ooide in kalkfreien bzw. entkalkten Proben vor (z. B. Ra 1610, s. Tab. 2). Hier sind sie metasomatisch von Calcit in schwer zu bestimmende, vermutlich tonig-silikatische und/oder limonitische Substanz umgewandelt. Dabei hat zugleich eine Kornvergrößerung stattgefunden; die Ooide sind im Inneren eher pflasterartig als konzentrisch ausgebildet.

Von den Ooiden unterscheiden sich die ebenfalls teils kalkig ausgebildeten, teils silikatisch umgewandelten Peloiden durch ihr ungerichtetes Innengefüge. Es muß offenbleiben, ob es sich dabei um ursprüngliche Karbonat-Klümpchen handelt oder teilweise auch um frühere Ooide, bei denen das ursprüngliche innere Gefüge durch diagenetische Veränderungen zerstört wurde.

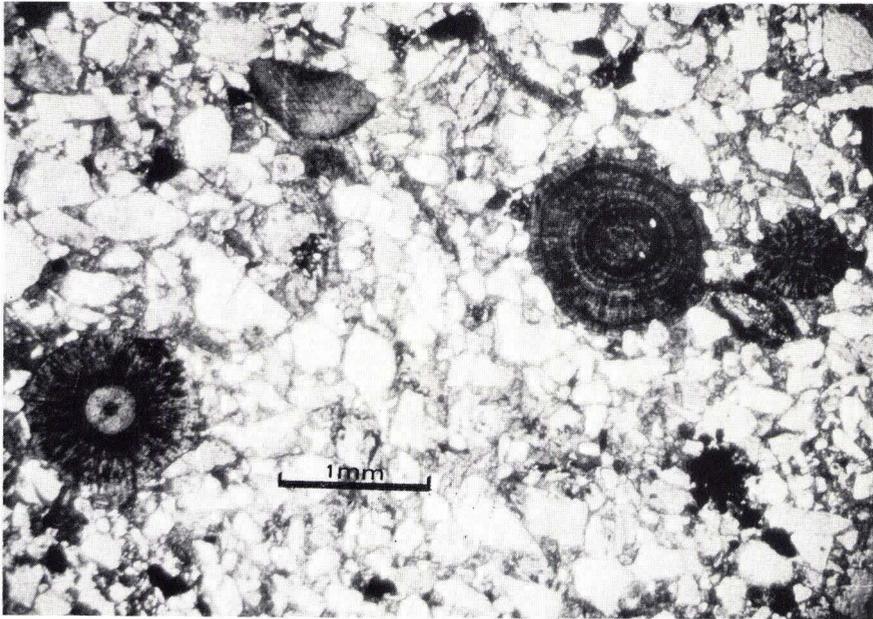


Abb. 7. Kalkige Ooide im hochoberdevonischen Feldspat-Sandstein. Dünnschliff 17471 der Probe Ra 1427/2 vom Wegprofil Wommelshausen 1 (s. Kap. 3.1., Tab. 2 u. Kap. 5, Fp. Nr. 10).

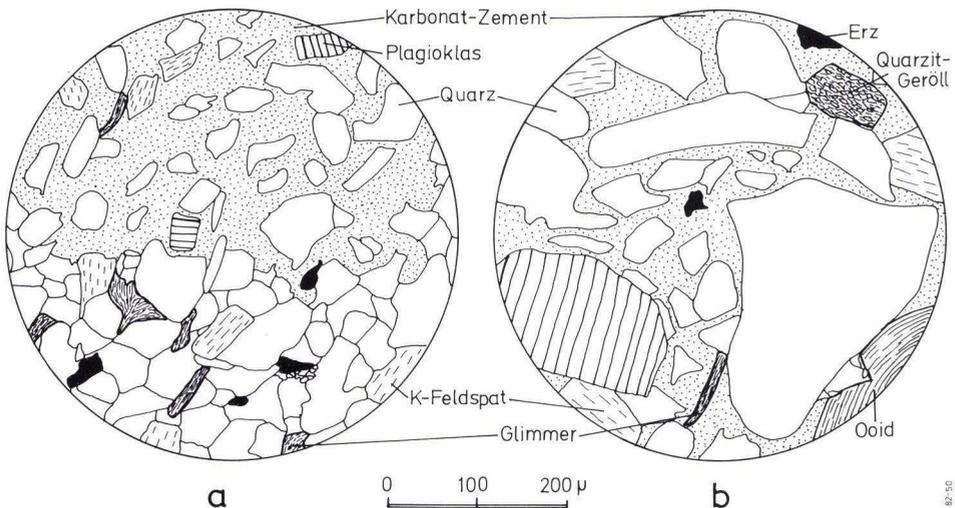


Abb. 8. Dünnschliffbilder von hochoberdevonischen Sandsteinen.

a = Fein- bis mittelkörniger quarzitischer Sandstein mit fleckenweiser Karbonatisierung (obere Bildhälfte), Fp. Lixfeld (s. Kap. 5, Fp. Nr. 1); Probe Ra 1396, Schl.-Nr. 22991 (Tab. 2, Abb. 4–5).
 b = Grobkörniger, Ooide führender Feldspat-Sandstein mit Karbonatzement, Fp. Wommelshausen 1 (Kap. 5, Nr. 10), Probe Ra 1427/1, Schl.-Nr. 17470.

98-16

Tab. 2. Zusammensetzung einiger Feldspat-Sandsteine in Vol.-%. Grobkörnigste Probe oben, feinkörnigste unten. + = vorhanden, aber weniger als 1 %. Gezählt wurden jeweils 1000 Punkte nach dem Punktzählverfahren.

Proben-Nr.	Fundort	Gesteinsbezeichnung	Quarz	Plagioklas	unverwilligte Feldspäte*	Glimmer	Chlorite	Schwerminerale	Gesteinsfragmente	Zement	Kalkige Ausbildung des Zements	Sonstige Bestandteile
Ra 1840a	Wommelshausen 1o	Mittelsandstein	65	5	14	3	1	+	1	9	-	Ooide +
Ra 1505	Bottenhorn	"	62	2	4	10	+	+	1	21	-	
Ra 1117	Hirzenhain 1 i	"	74	5	12	4	+	+	1	4	-	
Ra 899	Hülshof 4	"	63	2	6	4	1	+	2	22	-	Peloide +
Ra 1422	Wommelshausen 1	"	57	2	4	7	1	+	2	27	völlig	Ooide +
Ra 1425	Wommelshausen 1	"	62	3	10	4	1	+	1	19	stellenweise	Ooide und Peloide 1 %
Ra 1730	Herborn-Seelbach 2	"	60	5	12	10	1	1	+	11	stellenweise	
Ra 2329	Hartenrod 2	"	64	1	4	4	1	+	1	19	überwiegend	Ooide und Peloide 4 % kalkige Foss. Reste 2 %
Ra 2365	Hartenrod 2	Feinsandstein	75	3	4	3	+	1	+	13	überwiegend	Ooide 1 % Peloide +, kalk. Foss. Reste
Ra 1427/2	Wommelshausen 1	"	49	4	8	1	+	+	2	32	völlig	Ooide und Peloide 3 % kalkige Foss. Reste 1 %
Ra 1610	Übernthal 2	"	63	3	7	6	1	+	1	17	-	Ooide 2 %
Ra 1723	Herborn-Seelbach 2	"	69	3	8	5	+	2	1	12	-	
Ra 1128	Hirzenhain 1 e	"	57	2	5	7	2	+	1	26	-	
Ra 1726	Herborn-Seelbach 2	"	69	3	9	1	2	1	+	15	-	
Ra 1396	Lixfeld	Siltstein	76	3	9	10	1	-	1	-	stellenweise	
Ra 1400	Lixfeld	"	77	5	9	8	1	-	-	-	-	

* einschließlich Mikroklin

Bemerkenswert ist die Ooid-Führung der mindestens 7 m mächtigen Sandsteinbank im Diabas-Steinbruch Hartenrod (Kap. 5, Fp Nr. 21 = Hartenrod 2). Es handelt sich um einen nicht gradierten und schlecht klassierten Fein- bis Mittelsandstein, der in seinen unteren 5 m kalkiges Bindemittel sowie in fast allen Proben Ooide und Peloide aufweist (vgl. Schliffe Ra 2329 und 2365 in Tab. 2). Nur die beiden, aus dem oberen Bereich der Bank stammenden Proben Ra 2337 und Ra 2338 enthalten bei dichter Kornpackung kein Karbonat-Zement und keine Ooide/Peloide. An der Unterseite der Bank ist im Handstück und in Dünschliffen (Probe Ra 2360) ein Aufarbeitungs- und Umlagerungsgefüge zu erkennen, das möglicherweise ganz oder teilweise auf Bioturbationen zurückgeht (Abb. 3).

In einigen Ooide führenden Proben treten außerdem kalkige Fossil-Bruchstücke auf, so z. B. Reste von Crinoiden (z. B. Probe Ra 1427/2, Tab. 2) oder Bivalven (Probe Ra 2329, Tab. 2).

Chlorite (meist <2 %) sind als grünliche Einzelschuppen mit typischen anomalen blauen oder braunen Interferenzfarben ausgebildet.

Bei den durchsichtigen Schwermineralen herrschen – wie durch zusätzliche gesonderte Aufbereitung und Auszählung mehrerer Sandstein-Proben im Körnerpapparat bestätigt werden konnte – Granat, Zirkon oder Epidot vor. Während Granat mit Anteilen von 30–70 % immer stark vertreten ist, schwanken die

Gehalte von Zirkon und Epidot (einschließlich Zoisit und Klinozoisit) stärker zwischen jeweils 1 und 40 %. In allen untersuchten Proben wurde außerdem Rutil (bis zu 7 %) beobachtet, während Turmalin (bis zu 4 %) nicht immer vorkommt. Eine der untersuchten Proben (Ra 1722; Herborn-Seelbach 2; Abb. 6) enthält außerdem Einzelkörner von Titanit und Staurolith.

Der Gesamtgehalt der durchsichtigen Schwerminerale ist meistens hoch, teilweise sogar sehr hoch, obwohl die Feldspat-Sandsteine üblicherweise nur als Fein- oder Mittelsandsteine ausgebildet sind. In mehreren Proben (z. B. Ra 1723, Herborn-Seelbach 2; s. auch Tab. 2) treten lagenweise fast seifenartige Anreicherungen von Schwermineralen auf. Der hohe Gehalt an Schwermineralen, die von metamorphen Ausgangsgesteinen abgeleitet werden müssen (besonders Granat und Epidot), läßt auf die Nähe eines ehemaligen Liefergebietes schließen, das aus entsprechenden Gesteinen aufgebaut gewesen war (s. Kap. 4).

Die Erzminerale wurden nicht gesondert bestimmt. Es herrschen Körner oder Kornhaufen von limonitischer Substanz und Magnetit vor.

Das Bindemittel der hochoberdevonischen Sandsteine ist entweder kalkig oder glimmerig-tonig ausgebildet, im zweiten Fall mit unterschiedlichen Gehalten von limonitischer Substanz. Das glimmerig-tonige Bindemittel weist Übergänge zu einer Matrix auf, wie sie bei typischen Grauwacken ausgebildet ist.

Verbreitet treten in den glimmerig-tonig gebundenen Sandsteinen mehrere Millimeter große Flecken oder Haufen von meist einheitlich orientiertem (auslöschendem) Calcit-Zement auf. Im Bereich solcher Flecken hat der Calcit die vorhandenen Körner von Quarz, Feldspäten und besonders Glimmern randlich angelöst und teilweise völlig verdrängt. Der Karbonat-Gehalt kann dann bis zu 60 Vol.-% erreichen, so daß die Packungsdichte der silikatischen Mineralkörner innerhalb der Flecken erheblich gegenüber dem ursprünglichen Gestein verringert wird (Abb. 8a). Führt die oberflächennahe Verwitterung derartiger Gesteine zur Entkalkung, fallen die losen Silikat-Körner heraus und es kommt in den Sandsteinen dieser Serie zur Ausbildung der typischen Löcher mit einem Durchmesser von bis zu ca. 10 mm (s. Kap. 2, Abb. 4 u. 5). Auch durch Verwitterung von anderen kalkigen Komponenten der Sandsteine (z. B. Ooide oder Fossilreste) können kleine Löcher entstehen. Nach Menge und Größe sind diese aber gegenüber denjenigen, die sich durch teilweise Herauslösung von Zement bildeten, ohne Bedeutung.

Die Calcit-Flecken stellen diagenetische Anreicherungen von vorher \pm gleichmäßig im Gestein verteilter karbonatischer Substanz dar. Die während dieser Konzentrierung metasomatisch weggeführte Silikat-Substanz wurde vermutlich – heute schwer nachweisbar – in benachbarten Gesteinspartien an Kornrändern oder in Zwickeln zwischen den Körnern wieder abgeschieden. In mehreren Dünnschliffen wurden Quarzkörner mit randlichen Anwachssäumen beobachtet.

Bis zu welchem Maße in den ausschließlich kalkig gebundenen Feldspat-Sandsteinen der Zement-Anteil ebenfalls diagenetisch angereichert wurde, ist nicht eindeutig festzustellen. Es fällt jedoch auf, daß in derartigen Proben die Körner von Quarz, Feldspäten und Glimmern oft randlich von Karbonat-Zement „angefressen“ sind und außerdem die beiden Gesteine mit den höchsten ausge-

zählten Zement-Anteilen karbonatisch gebunden sind. Beide Beobachtungen weisen auf eine Anreicherung des Karbonat-Zementes während der Diagenese hin.

Insgesamt entsprechen die untersuchten Sandsteine in ihrer petrographischen Zusammensetzung den gleichaltrigen Feldspat-Sandsteinen, wie sie von Bl. 5215 Dillenburg beschrieben wurden (SCHRICKE in LIPPERT et al. 1970: 206 ff.; vgl. auch HENNINGSSEN 1972: 8). Gegenüber den Angaben von SCHRICKE bestehen folgende geringfügige Unterschiede: Intermediäre Plagioklase wurden nicht beobachtet; die von Bl. Oberscheld untersuchten Proben enthalten immer mehr K-Feldspäte als Plagioklase; zusätzlich wurden festgestellt bei den Gesteinsfragmenten solche von sauren Magmatiten sowie bei den Schwermineralen vor allem Epidot.

Die Korngrößenzusammensetzung der Sandsteine von Bl. Oberscheld verändert sich innerhalb der einzelnen Bänke nur wenig.

An je 2–3 Dünnschliffen von 7 verschiedenen Bänken von Silt- und Sandsteinen wurde beim Vergleich ihrer Unter- und Oberseiten folgendes festgestellt: 2mal kein Unterschied, 3mal eine geringfügige Zunahme der Korngröße zum Hangenden und 2mal eine Abnahme zum Hangenden, die nur bei der grobkörnigsten aller untersuchten Proben deutlich war. Eine nennenswerte Gradierung nach der Korngröße ebenso wie nach dem Mineralbestand ist in den Sandsteinen von Bl. Oberscheld – anders als bei den oft grobkörniger ausgebildeten von Bl. 5215 Dillenburg (SCHRICKE in LIPPERT et al. 1970: 203–214) – also nicht festzustellen.

3.2. Veränderung der Feldspat-Sandsteine am Diabas-Kontakt

Durch Kontakteinwirkung von Intrusiv-Diabasen wurden örtlich die Feldspat-Sandsteine \pm stark verändert. Bei leichter Kontaktwirkung ist es in den Sandsteinen zur Ausscheidung von reichlich Epidot gekommen, der in Form von unregelmäßig im Gestein verteilten Einzelkörnern, Kornaggregaten und Kornhaufen auftritt. Der übrige Mineralbestand und das Gefüge der Feldspat-Sandsteine sind unverändert geblieben.

Ein Beispiel hierfür stellen die Proben Ra 1746–1748 und 2355 (Fp. Herborn-Seelbach 4 u. 5) dar, die mit wenigen Metern Abstand zu einem begleitenden Diabas-Zug entnommen wurden: Bei Schwermineral-Untersuchungen wurden Epidot-Gehalte bis zu 85% festgestellt, daneben kommen Apatit, Granat, Zirkon, Turmalin und Augit vor.

Besonders eindrucksvoll ausgeprägt ist die Kontaktveränderung der Sandstein/Tonstein-Folge des Profils Hirzenhain 2 (O/3/144) durch den überlagernden, rd. 150 m mächtigen Lagergang von Diabas und Pikrit (s. Profil Abb. 2):

Am Kontakt sind die Feldspat-Sandsteine in Albit-Quarzite umgewandelt, die aus eng miteinander verzahnten Körnern bestehen. Diese Gesteine enthalten weder K-Feldspäte (zusätzliche Überprüfung durch Anfärbereaktionen im Anschliff) noch Glimmer, dafür aber reichlich Epidot, Apatit und Pumpellyit. Pumpellyit ist in Form von feinen Bücheln oder schuppenartigen Anreicherungen ausgebildet; in einigen der untersuchten Proben zeigen diese Minerale Verwitterungserscheinungen (Verbraunungen oder Übergänge zu Chloriten).

In der Albit-Quarzit-Probe Ra 1356 (0–4 cm Abstand zum Diabas-Kontakt) ist eine kontaktparallele Bänderung ausgebildet: extrem feinsiltige Lagen wechseln im mm-Bereich mit grobsiltig-

feinsandigen Lagen ab. Pumpellyit ist ebenfalls stark angereichert (bis mehr als 50 Vol.-%), daneben kommt vor allem feinkörniger Epidot vor. Bei gesonderten Schwermineral-Aufbereitungen der Proben Ra 1355 und 1354 (6–16 cm Abstand vom Diabas-Kontakt) wurde außer Pumpellyit jeweils etwa doppelt so viel Epidot wie Apatit beobachtet, zusätzlich tritt Zirkon in Einzelkörnern auf.

Mit zunehmendem Abstand vom Diabas-Kontakt nimmt der Grad der Kornverzahnung ab, ebenso der Albit-Gehalt. (s. Tab. 3). Bis zum Abstand von fast 5 m vom Diabas-Kontakt ist die Quarzitisierung noch deutlich ausgebildet, erst die Probe Ra 1362 (mit einem Abstand von 7,50 m zum Diabas-Kontakt) läßt außer einer Anreicherung von Epidot keine Kontaktwirkung mehr erkennen. Diese ist bei mikroskopischen Untersuchungen somit weiter zu verfolgen, als die Beobachtungen im Aufschluß vermuten lassen (s. Profil Abb. 2).

Tab. 3. Petrographische Zusammensetzung von feinkörnigen sandigen Gesteinen (Feinsandsteinen) am Kontakt mit großem Intrusivdiabas-Körper. Fundpunkt Hirzenhain 2, Lage der Proben s. Profil Abb. 2. Die ersten 5 Proben sind zu Albit-Quarziten umgewandelt, die letzte ist ein kaum kontaktveränderter Sandstein (s. Kap. 3.2.). Angaben in Vol.-%; + = vorhanden, aber weniger als 1 %. Gezählt pro Probe 500 Punkte nach dem Punktzählverfahren.

Proben-Nr.:	Ra 1355	Ra 1354	Ra 1357	Ra 1361	Ra 1360	Ra 1362
Abstand zum Diabas-Kontakt in cm:	6-10 cm	10 cm	37 cm	430 cm	493 cm	750 cm
Quarz	74	69	61	82	78	66
Plagioklas (Albit)	16	16	15	7	6	4
Unverzw.Feldspäte (K-Feldspäte)	-	-	-	-	-	4
Mikroklin	-	-	-	-	-	+
Glimmer	-	-	-	-	-	10
Chlorit	-	-	-	-	-	7
Pumpellyt	8	12	21	9	10	-
Epidot	1	2	2	2	3	+
Apatit	+	+	+	+	1	-
Erz	1	1	1	+	2	1
Glimmerig-chloritischer Zement	-	-	-	-	-	8
sonstiges	Zirkon + Titanit +	Zirkon +	Zirkon +	Titanit +		Quarzit-Geröll +

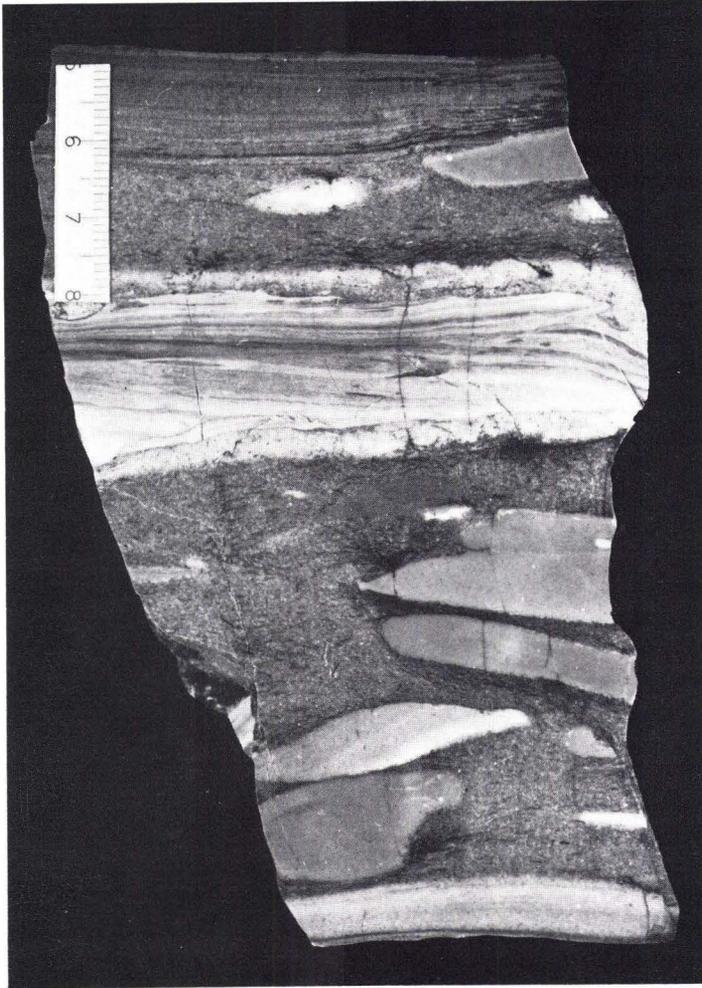


Abb. 9. Kontaktmetamorph in Kieselgesteine (Adinole verschiedener Art) umgewandelte Siltsteine und Tonsteinlinsen im unteren Teil der Dasberg-Wocklum-Schiefer/Sandstein-Folge vom Profil Hirzenhain 2 (s. Abb. 2, Scht.-Nr. 25, 80–90 cm unter Diabaskontakt, Probe Ra 1359, Kap. 3.2.).

Die den sandigen Gesteinen zwischengelagerten Tonsteine wurden durch die Kontaktveränderung meist in Kieselgesteine (Adinole der verschiedensten Art) umgewandelt. So erweist sich die ca. 80–90 cm unterhalb des Diabas-Kontaktes vorkommende Lage mit Hornstein-Linsen als eine Bank mit ehemals synsedimentär entstandenen Geröllen: Gerundete und eckige Bruchstücke von mehreren zentimeterlangen Tonsteinen wurden Siltsteinen eingelagert und diese geröllführenden Schichten später durch Kontakteinwirkung des Intrusiv-Diabases verkieselt (Pr. Ra 1359, Abb. 2 u. 9).

4. Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Feldspat-Sandsteine

(HENNINGSEN)

4.1. Herkunft der Ooide

Bei den örtlich in den Sandsteinen auftretenden Ooiden handelt es sich um „Normal-Ooide“ (FLÜGEL 1978: 97), die in Flachwasserbereichen entstanden sind. Sie haben sich nicht im Ablagerungsraum der z. T. grauackartige Feldspat-Sandsteine selbst gebildet, sondern wurden in diesen eingeschwemmt. Die Ooide müssen somit als Anzeiger von nahegelegenen Untiefen oder Flachwasserbereichen angesehen werden (HENNINGSEN 1972: 10).

Die gradierte Sandsteinbank mit starker Ooid-Führung, die bei Langenaubach auf Bl. 5215 Dillenburg aufgeschlossen ist (ausführliche Beschreibung bei LIPPERT et al. 1970: 205–206), läßt Beziehungen zu den nahegelegenen ehemaligen Riff-Kalksteinen und Vulkaniten von Erdbach-Breitscheid denkbar erscheinen (EINSELE 1963: 32; RABIEN in LIPPERT et al. 1970: 145, 187–188). Für die Vorkommen Ooide führender Sandsteine im Bereich des Bl. Oberscheld ist diese Deutung – schon wegen einer Entfernung von teilweise mehr als 20 km zum Bereich Erdbach-Breitscheid – nicht unbedingt anwendbar (Abb. 1). Mit zunehmenden Abstand von Erdbach-Breitscheid werden die Ooide in den Sandsteinen auf Bl. Dillenburg bei den Fundpunkten Langenaubach (max. \varnothing 2mm) – Donsbach (max. \varnothing 1,3 mm) – Dillenburg (max. \varnothing 1,0 mm) kleiner und insgesamt auch weniger (z. T. nach SCHRICKE in LIPPERT et al. 1970: 206 und 210).

Auf Bl. Oberscheld ist auf etwa die gleiche Distanz keine so regelmäßige Größenabnahme zu erkennen, wenn man die Fundpunkte Übernthal (bis 1,2 mm), Hartenrod (bis 1,5 mm) und Wommelshausen (bis 1,0 mm) vergleicht. Es wird deshalb folgende Vorstellung entwickelt, wobei eine mögliche Veränderung der ursprünglichen Lage der Fundpunkte infolge Faltung/Deformation unberücksichtigt bleibt: Entstehungsort der Ooide könnte der Flachwasserbereich um eine Kristallin-Schwelle gewesen sein, die im jüngsten Oberdevon und Unterkarbon etwa im Bereich Burg–Herborn–Sinn (mit möglichen Ausläufern nach W) vermutet werden kann.

Als Hinweis auf die Existenz einer solchen Schwelle war von HENNINGSEN (1973: 305 ff.) der hohe Gehalt an Schwermineralen metamorpher Herkunft in Gesteinen des Oberdevons und Unterkarbons in diesem Bereich sowie die möglicherweise liefergebietsnah abgelagerten Kulm-Konglomerate vom Stützel-Berg bei Herborn genannt worden. Diese – inzwischen kaum noch aufgeschlossen – enthalten Gerölle mit Durchmessern bis zu 8 cm (KULICK 1960: 280). Eine anhand von Dünnschliffen mehrerer Proben konglomeratischer Grauwacken durchgeführte Zählung von insgesamt 110 Geröllen (\varnothing 1–10 mm) ergab eine für Kulm-Grauwacken typische Zusammensetzung: Gangquarze herrschen vor (30 %), dann folgen Glimmer-/Chloritquarzite (18 %) und saure Tiefengesteine (13 %). Im übrigen sind Gerölle von meist sauren Ergußgesteinen, Sandsteinen, Tonsteinen, Lyditen, Quarziten und Gneisen vorhanden. Die Grauwacken vom Stützel-Berg (vgl. HENNINGSEN 1973: Tab. 1) lassen keine Besonderheiten erkennen, zeigen aber, daß im Liefergebiet Kristallin-Gesteine eine erhebliche Verbreitung gehabt haben müssen.

Es ist zu vermuten, daß die Ooid-Führung in den Sandsteinen des höchsten Oberdevons von Bl. Oberscheld horizontbeständig ist, derartige Sandsteine also

ein bestimmtes altersgleiches Niveau anzeigen. Die Ooide führende Sandsteinbank von Langenaubach auf Bl. 5215 Dillenburg war von RABIEN (in LIPPERT et al. 1970: 217; 1979: 36–37) in die vermutlich untere Wocklum-Stufe des Oberdevons eingestuft worden; für die entsprechende Sandsteine auf Bl. Oberscheld kann von dem gleichen Alter ausgegangen werden (s. Kap. 2). Bemerkenswert ist, daß sehr ähnlich ausgebildete feldspatreiche Sandsteine und Konglomerate mit Kalk-Ooiden, die in der Attendorn-Elsper-Mulde (Sauerland) auftreten, ebenfalls in die untere Wocklum-Stufe gehören (BUGGISCH 1973: 117–118, 133, Taf. 4 Fig. 5 u. 6; CLAUSEN 1973: 587–588, Abb. 2–5). Dagegen hat nach KOCH & LEUTERITZ & ZIEGLER (1970: 697–699) die wiederum vergleichbare, Ooide führende Sandstein-Konglomerat-Serie von der Seiler bei Iserlohn im nördlichen Rheinischen Schiefergebirge ein etwas jüngerer Alter (obere Wocklum-Stufe).

4.2. Liefergebiete und Schüttungsmechanismus der Feldspat-Sandsteine

Mit Bezug auf die Herkunft des Ausgangsmaterials der hochoberdevonischen Sandsteine von Bl. 5215 Dillenburg ist festzustellen, daß die fein- und mittelkörnigen Varietäten dasselbe Liefergebiet haben wie die ähnlich ausgebildeten Sandsteine der Nehden- und Hemberg-Stufe des Dillgebietes. Für diese hatte EINSELE (1963: 36) die Vorstellung eines im N oder NW gelegenen einheitlichen Liefergebietes begründet. Nur wenige Komponenten (bestimmte Gesteinsgerölle und Granat-Kristalle) in den Sandsteinen der Nehden- und Hemberg-Stufe deuten auf ein anderes Liefergebiet, d. h. eines vom Typus der Mitteldeutschen Schwelle. Je grobkörniger die Sandsteine im höheren Oberdevon werden, desto stärker wird der Einfluß dieses Herkunftsbereiches. Bei grauwackenartiger oder sogar konglomeratischer Ausbildung, wie sie innerhalb der hochoberdevonischen Sandsteine auf Bl. Dillenburg vorkommt, enthalten die Gesteine neben reichlich Schwermineralen metamorpher Entstehung zahlreiche Gerölle von Magmatiten und Metamorphiten, die auf die Mitteldeutsche Schwelle zu beziehen sind. Diese muß man jedoch nicht unbedingt nur in östlicher Richtung vermuten, weil ein Teilstück – wie oben ausgeführt – auch im Dillgebiet selbst vorhanden gewesen sein kann. Die hochoberdevonischen Sandsteine von Bl. Oberscheld enthalten demnach offenbar Material von zwei verschiedenen Liefergebieten, das durch Aufarbeitung und Umlagerung in unterschiedlichem Maße vermischt wurde (vgl. HENNINGSSEN 1972: 10).

Die Frage des Schüttungsmechanismus der Sandsteine ist nach den petrographischen Untersuchungen allein nicht zu beantworten. Die Siltsteine und feinkörnigen Sandsteine zeigen nur wenige Merkmale von Turbiditen, worauf schon (EINSELE 1963) hingewiesen hatte. In diese Richtung weist auch das Fehlen einer deutlichen Gradierung (s. o.). Nur bei grobsandiger (grauwackenähnlicher) Ausbildung, die aber auf Bl. Oberscheld im Gegensatz zum Bl. Dillenburg nicht vorkommt, gibt es Anhaltspunkte für eine echte turbiditische Entstehung der hochoberdevonischen Sandsteine.

5. Verzeichnis der Fundpunkte, Proben und Dünnschliffe

(RABIEN)

Die folgende Aufstellung enthält alle jungoberdevonischen Sandstein-Vorkommen, Proben und Dünnschliffe, die für die petrographischen Untersuchungen dieser Arbeit aus dem Gebiet des Bl. 5216 Oberscheld zur Verfügung standen. Der zuerst aufgeführte Fundpunkt aus dem Lixfelder Wald befindet sich zwar im Gebiet des nördlichen Anschlußblattes 5116 Eibelshausen; die dort aufgesammelten Proben wurden jedoch mit berücksichtigt, da dieses Vorkommen nur 20–30 m von der N-Grenze des Bl. Oberscheld entfernt liegt. Zur Bezeichnung der Fundpunkte werden die alten Namen der Gemeinden (jetzt Namen der Gemeindeteile der Großgemeinden) verwendet; mehrere Fundpunkte in der Umgebung einer Gemeinde erhalten laufende Kennnummern; z. B. Wommelshausen 1–10. In Klammern wird die Fundpunktnummer der Fundpunktkartei der stratigraphisch-paläontologischen Sammlung des HLFB beigefügt, z. B. (O/2/100): O = Kennbuchstabe für Bl. Oberscheld; 2 = Nummer des Blattabschnittes; das Blattgebiet wird zur Erleichterung der Übersicht in 8 Felder eingeteilt, so daß auf dem NW-Quadranten die Felder 1 und 2, auf dem NE-Quadranten die Felder 3 und 4, dem SW-Quadranten die Felder 5 und 6 und dem SE-Quadranten die Felder 7 und 8 liegen; 100 = laufende Fundpunktnummer von Bl. Oberscheld. Die Auflistung der Fundpunkte erfolgt in der Reihenfolge der Blattabschnitte.

TK 25 Bl. 5116 Eibelshausen

1. Lixfeld (E/7/12), Lixfelder Wald, ca. 150 m ESE P. 542,6; R 34 59 44, H 56 29 46. Silt- und Sandsteine: RA 1396–1403, Schl.-Nr. 22991–23001 (s. Tab. 2, Abb. 5 und 8a).

TK 25 Bl. 5216 Oberscheld

2. Hirzenhain 1 (O/2/100), Entwässerungsgraben NW Ortsteil Bahnhof Hirzenhain: (O/2/100 i) bei 60 m ENE P. 502,8; R 34 57 58, H 56 28 61. Dickbankiger Sandstein 3,5 m unter OK. RA 1117, Schl.-Nr. 18942 (s. Tab. 2). (O/2/100 e) bei 230 m ESE P. 502,8; R 34 57 74, H 56 28 58. Ra 1128, Schl.-Nr. 18943, 19107 (s. Tab. 2).
3. Hirzenhain 2 (O/3/144), Einschnitt an der NW-Seite des Pikrit-Stbr. Angelburg, Profilansatzpunkt an der Untergrenze des Lagerganges 260 m ESE P. 491,2; R 34 59 13, H 56 28 80. Proben und Dünnschliffe siehe Profil Abb. 2 u. 9, Tab. 3.
4. Bottenhorn (O/4/191), in Ackerfurche anstehender Sandstein bei 320 m WSW P. 514,2; R 34 62 32, H 56 29 26. RA 1505–1506, Schl.-Nr. 18990, 18991 (s. Tab. 2).
5. Hülshof 1 (O/4/126), SW-Straßengraben 15 m SE P. 495,2; R 34 63 83, H 56 27 08. Siltstein-, „Einlagerung“ im Jungoberdevonischen Schalstein. Ra 1284, Schl.-Nr. 16335, 16336.
6. Hülshof 2 (O/4/346 a u. c), Sandstein-Ackerlesesteine:
 - a) Bei 110 m S P. 495,2; R 34 63 83, H 56 26 99: Ra 1850, Schl.-Nr. 21028..
 - b) Bei 125 m SSE P. 495,2; R 34 63 85, H 56 26 98: Ra 1852, Schl.-Nr. 21030.
7. Hülshof 3 (O/4/97), Siltstein-, „Einlagerung“ im Jungoberdevonischen Schalstein, NE-Straßengraben bei 180 m SE P. 495,2; R 34 63 98, H 56 27 02. Ra 898, Schl.-Nr. 16277.
8. Hülshof 4 (O/4/95), Sandstein-, „Einlagerung“ im Jungoberdevonischen Schalstein, SW-Straßengraben bei 175 m SE P. 495,2; R 34 63 97, H 56 27 00. Ra 899, Schl.-Nr. 16278 (s. Tab. 2.)
9. Hülshof 5 (O/4/98 b), karbonatische Siltstein-, „Einlagerung“ im Jungoberdevonischen Schalstein, Feldwegböschung 230 m S P. 495,2; R 34 63 83, H 56 26 88. Ra 892, Schl.-Nr. 16274.
10. Wommelshausen 1 (O/4/163), Waldwegböschung NNW Hintermühle, 175 m SE P. 396,4; R 34 64 63, H 56 26 49 (= Mitte des ca. 33 m langen Sandsteinprofils). Ra 1421–1423, 1425–1428, Schl.-Nr. 17461–17464, 17466–17474 (s. Tab. 2, Abb. 7 u. 8).

11. Wommelshausen 2 (O/4/171: a) Sandstein-Lesesteine auf Geländekante 255 m NNW P. 377,0; R 34 64 54, H 56 26 41. Ra 1782, Schl.-Nr. 21002. – b) Sandstein an Wegböschung anstehend, 190 m NNW P. 377,0; R 34 64 52, H 56 26 34. Ra 1849.
12. Wommelshausen 3 (O/4/164), Feldwegböschung NW Hintermühle, 210 m NNE P. 377,0; R 34 64 59, H 56 26 37. Böschunglesestein Ra 1457; Schl.-Nr. 17488.
13. Wommelshausen 4 (O/4/180), Sandstein an Feldwegböschung 185 m W P. 377,0; R 34 64 38, H 56 26 15. Ra 1466, Schl.-Nr. 17493.
14. Wommelshausen 5 (O/4/177 a u. c), Sandstein-Lesesteine auf Acker:
 - a) 170 m SW P. 377,0; R 34 64 44, H 56 26 05. Ra 1459, Schl.-Nr. 17489, 18975.
 - c) 285 m SW P. 377,0; R 34 64 35, H 56 25 98. Ra 1461, Schl.-Nr. 17152.
15. Wommelshausen 6 (O/4/162b), Sandstein-Ackerlesesteine 560 m SW P. 377,0; R 34 64 22, H 56 25 71. Ra 1419/1 u. 2, Schl.-Nr. 17456, 17457.
16. Wommelshausen 7 (O/4/161), Sandstein an Feldwegböschung 520 m SE P. 451,4; R 34 64 00, H 56 25 69. Ra 1418, Schl.-Nr. 17455.
17. Wommelshausen 8 (O/4/179 a), Sandstein-Ackerlesesteine 520 m NNE P. 425,1; R 34 64 12, H 56 25 63. Ra 1463, Schl.-Nr. 17491, 17492.
18. Wommelshausen 9 (O/4/181 a u. b), Sandstein-Ackerlesesteine:
 - a) 430 m NNE P. 425,1; R 34 63 94, H 56 25 58. Ra 1467 a, Schl.-Nr. 17154.
 - b) 420 m N P. 425,1; R 34 63 91, H 56 25 57. Ra 1467 b, Schl.-Nr. 17155.
19. Wommelshausen 10 (O/4/340 a–c), Sandstein-Ackerlesesteine SE Wollscheid:
 - a) 425 m WNW P. 425,1; R 34 63 54, H 56 25 34. Ra 1840 a, Schl.-Nr. 21022 (s. Tab. 2).
 - b) 450 m WNW P. 425,1; R 34 63 50, H 56 25 31. Ra 1841, Schl.-Nr. 21023.
 - c) 400 m NW P. 425,1; R 34 63 59, H 56 25 37. Ra 1842, Schl.-Nr. 21024.
20. Hartenrod 1 (O/4/337), Diabas-Stbr. S-Hang Wollscheid, Sandstein/Schiefer-Einlagerung zwischen dem neuen Stbr. im N (= Liegendes) und dem alten aufgelassenen Stbr. im S (= Hangendes), 655 m WNW P. 425,1; R 34 63 28, H 56 25 31. Ra 2327, Schl.-Nr. 23756.
21. Hartenrod 2 (O/4/165), südlichster Diabas-Stbr. am S-Hang Wollscheid (heute weitgehend verfüllt), eine mindestens 7 m mächtige Sandsteinbank an der oberen SE-Wand bei 575 m WNW P. 425,1; R 34 63 34, H 56 25 22 (Kap. 2, Abb. 3 u. Kap. 3.1.).

ca.	7 m über UK	Ra 2338, Schl.-Nr. 23763
ca.	6 m über UK	Ra 2337, Schl.-Nr. 23762
ca.	5 m über UK	Ra 2330, Schl.-Nr. 23758
ca.	2 m über UK	Ra 2329, Schl.-Nr. 23757 (s. Tab. 2)
1,05	–1,10 m über UK	Ra 2369, Schl.-Nr. 23960
0,95	–1,00 m über UK	Ra 2368, Schl.-Nr. 23959
0,79	–0,88 m über UK	Ra 2367, Schl.-Nr. 23958
0,42	–0,50 m über UK	Ra 2365, Schl.-Nr. 23956 (s. Tab. 2).
0,38	–0,49 m über UK	Ra 2366, Schl.-Nr. 23957
0,05	–0,10 m über UK	Ra 2360 o, Schl.-Nr. 23787
0	–0,05 m über UK	Ra 2360 u, Schl.-Nr. 23786
Basis ca.	4 m SW Ra 2360	Ra 2336, Schl.-Nr. 23761

Aus diesem Stbr., vielleicht aus der gleichen Bank, stammt außerdem die bereits 1958 von H. HENTSCHEL gesammelte Sandstein-Probe He 2490b, Schl.-Nr. 4710 (STIBANE & HENTSCHEL 1959: 272).
22. Hartenrod 3 (O/4/341), E Stbr. Hartenrod 2, 500 m WNW P. 425,1; R 34 63 42, H 56 25 21. Sandstein-Lesesteine in Ackerfurche, Ra 1843, 1844, Schl.-Nr. 21025.
23. Hartenrod 4 (O/4/339), S Stbr. Hartenrod 2, Wegsohle und Wegböschung 600 m WSE P. 425,1; R 34 63 32, H 56 25 06, Sand- und Siltsteine im Liegenden der Hangenberg-Schiefer: Ra 1838, Schl.-Nr. 21019–21021, Ra 1846, Schl.-Nr. 21026.
24. Herborn-Seeibach 1 (O/5/287), SW-Hang Horchberg, Sandstein an Wegböschung bei 330 m SW P. 343,5; R 34 54 53, H 56 18 62. Ra 1721, Schl.-Nr. 19306.
25. Herborn-Seeibach 2 (O/5/288), Hangböschung und nicht mehr vorhandene Aufschlüsse W Wohnhaus der ehemaligen Hühnerfarm Christ SSW Horchberg, 335 m SSW P. 343,5; R 34 54 60, H 56 18 57. Sandsteine im Liegenden der Hangenberg-Schiefer; s. Kap. 2, Profil Abb. 6 und Tab. 2.

26. Herborn-Seelbach 3 (O/5/283), W-Hang Funkenberg, E-Straßenböschung bei 290 m NNE P. 343,3; R 34 53 83, H 56 19 13. Karbonatischer Siltstein, Ra 1750, Schl.-Nr. 20980.
27. Herborn-Seelbach 4 (O/5/293), Wegböschung E Alsbach-Kaserne, 330 m NW P. 364,1; R 34 55 13, H 56 19 40. Feinsandsteinbank bei ca. 6 m über Basis des Sandsteinhorizontes: Ra 1748, Schl.-Nr. 19125; Böschungsesesteine aus diesem Bereich: Ra 1747, Schl.-Nr. 19032, Ra 2355, Schl.-Nr. 23789.
28. Herborn-Seelbach 5 (O/5/294), Waldwegböschung W Weißenstein, Feinsandstein-Böschungsesesteine 325 m NNW P. 364,1; E 34 55 27, H 56 19 53. Ra 1746, Schl.-Nr. 19031; Ra 2354, Schl.-Nr. 34788.
29. Herborn-Seelbach 6 (O/5/292), W-Hang Breitheck, Lesesteine von Silt- bis Feinsandsteinen in der Schneise 400 m SE P. 345,0; R 34 55 32, H 56 19 72. Ra 1743, Schl.-Nr. 19059, 19124.
30. Übernthal 1 (O/6/248), WNW Übernthal, Aufschluß am Feldrand 205 m NNE P. 374,0; R 34 58 26, H 56 20 95. Anstehende Sandsteine Ra 1609/1–2, Schl.-Nr. 17518, 17519.
31. Übernthal 2 (O/6/249 a,b, c), Aufschluß und Lesesteine auf dem Acker W Übernthal:
 - 249a: Anstehender Sandstein 195 m NNE P. 374,0; R 34 58 30, H 56 20 92. Ra 1610, Schl.-Nr. 17520 (s. Tab. 2).
 - 249b: Sandstein-Lesesteine auf dem Acker 130 m NNE P. 374,0; R 34 58 24, H 56 20 875. Ra 1611, Schl.-Nr. 17521.
 - 249c: Sandstein-Lesesteine auf dem Acker 170 m NE P. 374,0; R 34 58 30, H 56 20 90. Ra 1859, Schl.-Nr. 21032.
32. Übernthal 3 (O/7/103 d), NE Übernthal, Wegböschung 200 m SSW P. 345,0; R 34 60 04, H 56 21 08.
 - 35 cm mächtige Sandsteinbank, von der Basis Ra 1139, Schl.-Nr. 19945, von der OK Ra 1142, Schl.-Nr. 19109.
 - Sandsteinbank 4 m unterhalb Ra 1139: Ra 1136, Schl.-Nr. 18944, 19108.
33. Günterod (O/7/257), SE-Hang Pfaffenberg, Sandsteine an der NW-Böschung des Hohlweges 375 m ESE P. 424,4; R 34 61 94, H 56 22 52. Ra 1616/1 u. 2, Schl.-Nr. 17524, 17525.

6. Schriftenverzeichnis

- BUGGISCH, W. (1973): Stratigraphie, Fazies und Geochemie der oberdevonischen und unterkarbonischen Sedimente in der mittleren Elspen Mulde. Mit einem Vergleich zur Dillmulde und zur Waldecker Hauptmulde (Rheinisches Schiefergebirge). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **101**: 99–149, 19 Abb., 9 Tab., Taf 12–15; Wiesbaden.
- & RABIEN, A., & HÜHNER, G. (1980): Das Oberdevon im Rinkenbach-Tal S Oberscheld (Conodonten- und Ostracoden-Stratigraphie, Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge). – Geol. Jb. Hessen, **108**: 43–94, 5 Abb., 12 Tab.; Wiesbaden.
- CLAUSEN, C.-D. (1973): Petrographie, zeitliche Einstufung und Paläogeographie hochoberdevonischer Konglomerate in der Attendorn-Elspen Doppelmulde (Sauerland, Rheinisches Schiefergebirge). – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1973** (10): 577–598, 7 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- EINSELE, G. (1973): Über Art und Richtung der Sedimentation im klastischen Oberdevon (Famenne). – Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **43**: 60 S., 8 Abb., 7 Tab., 5 Taf.; Wiesbaden.
- FLÜGEL, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. – 454 S., 68 Abb., 57 Tab., 33 Taf.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- HENNINGSSEN, D. (1972): Die Sandsteine in den Devon/Karbon-Grenzsichten des rechtsrheinischen Schiefergebirges. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1972** (1): 1–15, 1 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- (1973): Zusammensetzung und Herkunft der Unterkarbon-Grauwacken in der Dillmulde (Rheinisches Schiefergebirge). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **101**: 300–309, 1 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- KOCH, M., & LEUTERITZ, K., & ZIEGLER, W. (1970): Alter, Fazies und Paläogeographie der Oberdevon/Unterkarbon-Schichtenfolge an der Seiler bei Iserlohn. Ergebnisse von Schurfarbeiten. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **17**: 679–732, 3 Abb., 3 Tab., 10 Taf.; Krefeld.

- KULICK, J. (1960): Zur Stratigraphie und Paläogeographie der Kulm-Sedimente im Eder-Gebiet des nördlichen Rheinischen Schiefergebirges. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **3** (1): 243–288, 11 Abb., 3 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- LIPPERT, H.-J., & HENTSCHEL, H., & RABIEN, A. (1970) mit Beitr. von KUTSCHER, F., & SCHRICKE, W., & STENGEL-RUTKOWSKI, W., & WENDLER, R., & ZAKOSEK, H.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt-Nr. 5215 Dillenburg. – 2. Aufl., 550 S., 18 Abb., 56 Tab., 6 Taf., 3 Beibl.; Wiesbaden.
- RABIEN, A. (1979): Südwestliche Dillmulde. – In: Exkursion A 5 (16.–18. September 1979) in das Lahn-Dill-Gebiet (Rheinisches Schiefergebirge): 27–29, 33–60, Abb. 15–21, Tab. 3; Marburg (Inst. Geol. Paläont. Philipps-Univ.).
- , & SCHRICKE, W. (1966): Biostratigraphischer Nachweis und Petrographie von Adorf-Sandsteinen in der Dillmulde/Rheinisches Schiefergebirge (Ober-Devon I, Ostracoden- und Conodonten-Stratigraphie). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **94**: 278–301, 2 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden.
- SADEGHOLVAD, M. T. (1981): Petrographische Untersuchungen an Sandsteinen des unteren Oberdevons von Bl. Oberscheld (Dillgebiet). – Dipl.-Arb. Univ. Hannover, 56 S., 9 Abb., 7 Tab., 1 Taf.; Hannover. – [unveröff.].
- STIBANE, F., & HENTSCHEL, H. (1959): Aufgelassener großer Steinbruch bei der Hahnkopfmühle bei Hartenrod. – In: Bericht über die Exkursion anlässlich der 110. Hauptversammlung in Marburg a.d. Lahn vom 1. bis 9. September 1958. – Z. dt. geol. Ges., **111** (2): 272; Hannover.

Manuskript eingegangen am 28. 1. 1982

Der Mittlere Buntsandstein auf Blatt 4822 Gudensberg (Nordhessen)

Von

HANS-GÜNTHER KUPFAHL*

Kurzfassung: Der Mittlere Buntsandstein auf Bl. Gudensberg wurde neu kartiert und, wie heute üblich, nach seinem rhythmischen Aufbau gegliedert. Seine Gesamtmächtigkeit beträgt im Mittel etwa 500 m.

Abstract: This paper and the attached map 1:25 000 describe the sequence and distribution of the different stratigraphic units of the Middle Buntsandstein (Lower Triassic) on sheet 4822 Gudensberg (Northern Hesse). The medium thickness of the Middle Buntsandstein amounts to about 500 m.

Inhaltsverzeichnis

1. Überblick	91
2. Volpriehausener-Folge	92
2.1. Volpriehausener Sandstein	93
2.2. Volpriehausener Wechselfolge, <i>Avicula</i> -Wechselfolge und <i>Avicula</i> -Hauptlager	93
3. Detfurth-Folge	93
3.1. Detfurther Sandstein	93
3.2. Detfurther Wechselfolge und Detfurther Ton	93
4. Profil Detfurth-Folge/Hardeggen-Folge	94
5. Hardeggen-Folge	96
5.1. Hardeggener Sandstein	96
5.2. Hardeggener Wechselfolge	96
6. Solling-Folge	97
6.1. Wilhelmshausener Schichten	98
6.2. Trendelburger, Karlshafener und Stammener Schichten	98
7. Schriftenverzeichnis	99

1. Überblick

Im Jahre 1972 wurde der E-Teil des Bl. 4822 Gudensberg geologisch neu aufgenommen (Revision 1981). Die hier kartierten Buntsandstein-Schichten gehören überwiegend dem Mittleren Buntsandstein an, von dessen Abfolge über Tage lediglich der Volpriehausener Sandstein, die Volpriehausener Wechselfolge, ferner der höhere Teil der Solling-Folge fehlen. – Unterer Buntsandstein tritt nicht

* Dr. H.-G. KUPFAHL, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden.

an die Oberfläche. Er ist auch durch Bohrungen nicht erschlossen worden. Oberer Buntsandstein (Röt-Folge) steht N Felsberg und E Nieder-Möllrich an (BLANKENHORN & LANG 1918). Nach Bohrungen unterlagert er im W des Blattes, im Bereich der Niederhessischen Tertiärsenke, über größere Flächen die Tertiär- und Quartärsedimente.

In der 1. Auflage des geologischen Blattes Gudensberg (BLANKENHORN & LANG 1918) ist der Mittlere Buntsandstein in „Hauptbuntsandstein“ und darüber „Bausandsteinzone“ aufgeteilt, wobei die dazwischen liegende Grenze dem Schnitt zwischen der Detfurth- und der Hardeggen-Folge entspricht. Beim damaligen Stand der stratigraphischen Kenntnisse gelang es jedoch nicht, die genannte Gliederung einheitlich durchzuführen.

Der Mittlere Buntsandstein des Kartiergebietes zählt zu der durch hohe Mächtigkeiten ausgezeichneten nordhessisch-süd-niedersächsischen Buntsandstein-Fazies der Hessischen Senke W der Eichsfeld-Schwelle. In der tektonischen Übersicht liegt das Blattgebiet im S der hier vom Fritzlar-Wolfhagener und vom Altmorschen-Lichtenauer Graben eingerahmten Solling-Scholle (LOTZE 1932).

Besonders hoch liegen die Mächtigkeiten des Mittleren Buntsandsteins im Raum Kassel und im Reinhardswald (HERRMANN 1964). Von S her nehmen sie entlang der Senkenachse, die höchstwahrscheinlich den W-Teil des Bl. Gudensberg durchläuft, in Richtung auf Kassel zu. Der somit im Kartiergebiet vorhandene Mächtigkeitsanstieg von S nach N betrifft fast ausschließlich die Wechselfolgen über den Basissandsteinen – wobei er sich von der Volpriehausen- bis zur Hardeggen-Folge verstärkt –, ferner den über den Wilhelmshausener Schichten lagernden Teil der Solling-Folge.

Neben den bei der geologischen Aufnahme gewonnenen Erkenntnissen waren für die im folgenden angegebenen Schichtmächtigkeiten auch die eigenen Kartierungen auf den im E und NE benachbarten Blättern (KUPFAHL 1975, 1981) sowie mehrere Bohrprofile (RAMBOW 1967b, 1976) wertvoll. Im ganzen liegen die mittleren Mächtigkeiten etwas unter denen des im NE benachbarten Bl. 4723 Oberkaufungen. Die Gesamtmächtigkeit des Mittleren Buntsandsteins beträgt im Mittel rund 500 m.

Über den rhythmischen Aufbau des Mittleren Buntsandsteins, seine Gliederung, seinen Mächtigkeitswechsel zwischen der Eichsfeld-Schwelle im E und dem Senkengebiet Kassel – Reinhardswald im W, ferner seinen von südlich gelegenen Hochgebieten ausgehenden Schüttungsfächern haben bereits zahlreiche Autoren berichtet (BOIGK 1956, HERRMANN 1957, 1964, KREYSING 1957, HOPPE 1976). Ergänzende lithologische, den Folgen des Mittleren Buntsandsteins und deren Schichtgliedern eigene Einzelheiten sind der Legende Taf. 1, ausführlicher den Beschreibungen aus benachbarten Gebieten (u. a. KUPFAHL 1981) zu entnehmen.

2. Volpriehausen-Folge

In rhythmischem Sinne und nach der Fossilführung wurde die Folge von KUPFAHL & THEWS (1961) gegliedert. Aufgrund der Vergleiche mit den Nachbargebieten ist sie 170–180 m mächtig.

2.1. Volpriehausener Sandstein

Keine der im Blattgebiet niedergebrachten Bohrungen hat den Volpriehausener Sandstein erreicht. Wie im benachbarten Raum dürfte er im ganzen grobkörnig und um 25 m mächtig sein.

2.2. Volpriehausener Wechselfolge, *Avicula*-Wechselfolge und *Avicula*-Hauptlager

Mächtigkeit: 145–155 m

Von den drei Schichtgliedern stehen die obersten Lagen der erfahrungsgemäß von mittel- bis grobkörnigen Sandsteinen eingeleiteten 40–45 m mächtigen *Avicula*-Wechselfolge, ferner das überlagernde 40–45 m mächtige *Avicula*-Hauptlager W Melgershausen am Fuß des Hohen Berges zutage an. Größere Aufschlüsse fehlen in den Schichten. Der grobkörnige Basissandstein des *Avicula*-Hauptlagers ist ca. 6 m mächtig. Die darüber folgende, an quarzitisches Sandsteinen reiche Wechselfolge führt zahlreich *Avicula purchisoni* (GEINITZ), ferner Spuren kleiner Lebewesen und Sedimentmarken.

Diese ältesten Schichten an der Oberfläche des Blattes bilden einen Horst. Sie werden vom Detfurth Sandstein überlagert.

3. Detfurth-Folge

Die Detfurth-Folge wurde von BOIGK (1956) gegliedert. Sie besitzt nach regionalem Vergleich eine Mächtigkeit von 60–90 m.

3.1. Detfurth Sandstein

Mächtigkeit: 25–30 m

Aufschlüsse: Sandgrube 800 m W Melgershausen (R 35 33 64, H 56 67 70); Steinbruch 600 m NE Karthause (R 35 33 14, H 56 68 06)

Der insgesamt grobkörnige Detfurth Sandstein setzt dem Liegenden mit scharfer Grenze und deutlichem Geländeanstieg auf. Er ist unterteilt in eine ca. 14 m mächtige Unterbank, ein ca. 5 m mächtiges, aus fein- bis mittelkörnigen, plattigen, mürben Sandsteinen sowie Ton-Schluffsteinen bestehendes Zwischenmittel und eine ca. 8 m mächtige Oberbank. Morphologisch zeigt ein Geländeknick die Unterteilung an (S-Hang Hoher Berg, 290 m über NN).

3.2. Detfurth Wechselfolge und Detfurth Ton

Mächtigkeit: 30–65 m

Aufschlüsse: Straßenböschung 500 m NNW Ortsmitte Grebenu (R 35 34 50, H 56 73 86); Hang N Bahn-km 250 (R 35 34 76, H 56 73 72); Wegeböschungen 500 m SSW Büchenwerra (R 35 33 32, H 56 71 36) und 300 m NE des Dorfes (R 35 33 94, H 56 71 88)

Über dem Detfurther Sandstein lagert eine auf Taf. 1 zusammengefaßt dargestellte Schichtenfolge, die im wesentlichen aus Ton-Schluffsteinbänken und Wechselfolge-Serien besteht. In der Detfurther Wechselfolge sind die Wechselfolge-Serien vergleichsweise zahlreich und mächtig, im überlagernden Detfurther Ton gilt dies für die Ton-Schluffsteinbänke (Mächtigkeiten der Bänke und Serien bis 3 m, höchstens etwa 7 m). Eigenständige lithologische Merkmale können für keines der beiden Schichtglieder angeführt werden. In nachstehendem Profil (Kap. 4) schließt der Detfurther Ton mit einer Wechselfolge-Serie ab.

Die Schichten, insbesondere die des Detfurther Tons, sind die tonsteinreichsten des Mittleren Buntsandsteins. Ihre plattigen bis dünnbankigen, überwiegend feinkörnigen und quarzitischen Sandsteine fallen durch hellviolette und weiße Farben auf. In einzelnen Lagen treten feine Poren auf, die von ehemaligem Kalkgehalt zeugen. Dieser ist vor allem in den weißen und grünlichweißen Sandsteinen nicht selten noch nachweisbar.

4. Profil Detfurth-Folge/Hardeggen-Folge

Die Kombination mehrerer, z. T. über den N-Blattrand hinweggreifender Teilprofile vom Berghang N Grebenau ergab nachstehende Abfolge des höchsten Teils der Detfurth-Folge und des tieferen Teils der Hardeggen-Folge (Wasserriß an der B 83, bei km 3,35 beginnend, und Aufschlüsse zwischen km 3,35 und 3,45):

Hangendes: höhere Hardeggener Wechselfolge

- 1,00 m Bank eines rotbraunen und grauen, festen, mittelkörnigen Sandsteins
- ca. 5,50 m Sandstein, rotbraun, fein- bis mittelkörnig, im oberen Teil eine 45 cm starke Bank; untergeordnet Ton-Schluffstein und Schluff-Sandstein
- 2,50 m Sandstein, vor allem im tieferen Teil leuchtend rot bis rotgelb, bankig, mürb bis absandend, mittel- bis grobkörnig (bis 1,2 mm \varnothing); im hohen Teil eine 50 cm starke Schicht mit Einschaltungen von Ton-Schluffstein und Ton-Sandstein

Abfolge 2

Abfolge 1

- 3,20 m Violette Wechselfolge-Serie: Wechsel aus Sandstein, meist violett (vor allem in harten dünnen Lagen), plattig bis bankig, mürb bis quarzitisch, und Ton-Schluffstein (bis 10 cm stark) sowie Ton-Sandstein
- 1,25 m Bank eines rotbraunen bis weinroten, festen, in einzelnen Lagen löcherigen, fein- bis grobkörnigen Sandsteins
- 1,60 m Tonstein, vorwiegend rein und dünnplattig (im tiefen und hohen Teil vorherrschend), und Sandstein, rotbraun bis weinrot, plattig bis bankig, mürb bis fest, fein- bis mittelkörnig (im mittleren Teil eine 80 cm starke Bank)
- 1,20 m Bank eines rotbraunen, festen, einzelne Tonsteingerölle führenden, fein- bis mittelkörnigen Sandsteins
- 2,30 m Gebänderte Sandstein-Serie: Sandstein, rotbraun, z. T. gelb gefleckt, mit cm-starken weißen und gelblichen Lagen, vorwie-

Hardeggener
Wechself.

- gend mürb bis absanend, fein- bis mittelkörnig, in hellen Lagen auch grobkörnig; durch dünne tonige Zwischenmittel unterteilt
- 1,45 m Wechsel aus Sandstein, rotbraun bis weinrot, dünnbankig (bis 10 cm), z. T. schwach quarzitisch, feinkörnig, und Tonstein, schluffig, dünnplattig, schwach sandig (bis 5 cm stark)
- 1,15 m Bank eines rotbraunen, festen, schräggeschichteten, Tonsteingerölle führenden, fein- bis mittelkörnigen, im unteren Teil durch mehrere tonige Zwischenmittel unterteilten Sandsteins
- 2,25 m Wechsel aus Ton-Schluffstein, z. T. stark sandig, und Sandstein, rotbraun, dünnbankig, hart, feinkörnig; eingeschaltet zwei 20–30 cm starke Sandsteinbänke
- 0,80 m Bank eines rotbraunen, sehr festen, mittelkörnigen, einzelne Tonsteingerölle führenden Sandsteins
- 2,80 m Wechsel aus Sandstein, rotbraun, plattig bis bankig (bis 30 cm stark), fest, z. T. löcherig, vorwiegend feinkörnig, und Tonstein (bis 20 cm stark), schluffig, dünnplattig
- 1,10 m Bank eines rotbraunen bis grauen, festen, fein- bis mittelkörnigen Sandsteins; eingeschaltet eine tonige, mürbe Sandsteinlage

Hardegse-
ner
Wechself.

(Fortsetzung am Hang ca. 150 m E des Wasserrisses bzw. unweit N der E-W am Blattrand verlaufenden B 83:)

- ca. 3,00 m Wechsel aus Sandstein, rotbraun und grau, vorwiegend bankig (bis 20 cm), fest bis mürb, und untergeordnet Ton-Schluffstein (bis 15 cm stark)
- 0,90 m Bank eines schmutzig-rotbraunen, schräggeschichteten, z. T. absanenden, mittel- bis grobkörnigen Sandsteins (Korn lagenweise locker liegend)
- ca. 7,00 m Sandstein, rotbraun und hellrot, z. T. weiß und gelblich gefleckt und gebändert, fest und mürb, fein- bis grobkörnig (Korn selten locker liegend), einzelne Bänke bis ca. 70 cm stark; untergeordnet Ton-Schluffstein

-
- 2,50 m Sandstein, rotbraun, gelbbrot, bankig, fest, mittel- bis grobkörnig (bis 1,5 mm Ø), im höheren Teil einzelne cm-starke Ton-Schluffsteinlagen
- 5,50 m Sandstein, leuchtend gelbbrot, selten weißgelb gebändert, bankig bis dickbankig, fest bis mürb, schräggeschichtet, vorwiegend grobkörnig (bis 2 mm Ø), vor allem zwischen 1 m und 3 m über der Basis; im hohen Teil auch fein- bis mittelkörnig

Hardegse-
ner
Sandstein

(Fortsetzung N und NE km 3,1 der B 83:)

- 2,20 m Wechsel aus Sandstein, violett und rotbraun, plattig bis dünnbankig, vorwiegend fest, feinkörnig, z. T. mittelkörnig, und Ton-Schluffstein
- ca. 7,00 m Ton-Schluffstein, rot, selten grüngrau, dünnplattig bis bröckelig; vereinzelt Sandstein, vorwiegend violett, auch rotbraun und grünlich-grau, plattig, selten bankig (bis 20 cm stark), fest bis quarzitisch, feinkörnig; Kalkgehalt in grauen Sandsteinlagen
- 4,00 m Wechsel aus Sandstein, violett, rotbraun, grau, plattig, selten bankig (bis 8 cm, vereinzelt ca. 20 cm stark), fest bis quarzitisch, selten mürb, vorwiegend feinkörnig, und Ton-Schluffstein, der im tiefen Teil (ca. 1,8 m) nur wenig gegenüber dem Sandstein zurück-

Detfurther
Ton

tritt, im mittleren Teil eine 0,7 m mächtige Lage bildet, im hohen Teil (ca. 1,5 m) stark zurücktritt; in grauen Sandsteinlagen z. T. Kalkgehalt

Detfurther
Ton

ca. 6,00 m Ton-Schluffstein; einzelne Sandsteinlagen
> 3,00 m Wechsel aus Ton-Schluffstein und Sandstein

Liegendes: tieferer Detfurther Ton und Detfurther Wechselfolge

5. Hardegsen-Folge

Wie die älteren Folgen des Mittleren Buntsandsteins ist auch die Hardegsen-Folge insgesamt rhythmisch aufgebaut und gegliedert. Sie schließt mit Ton-Schluffsteinen ab, die jedoch wegen ihrer geringen Mächtigkeit nicht als selbständiges Schichtglied auf der Karte erscheinen. In Südniedersachsen und Nordhessen wurde die Folge in vier jeweils wiederum rhythmisch entwickelte Abfolgen aufgeteilt (BACKHAUS, LOHMANN & REGENHARDT 1958, KRÄMER 1961, HERRMANN & HOFRICHTER 1963, RAMBOW 1967a, HORN 1971, BACKHAUS et al. 1980). Von den Abfolgen konnte die unterste im Einzelprofil (Kap. 4) zweifelsfrei ausgegrenzt werden. Für die gesamte Folge ist eine Mächtigkeit von 140–180 m zu veranschlagen.

5.1. Hardegsener Sandstein

Mächtigkeit: 7–8 m

Aufschlüsse: Straßenböschung 500 m NW Grebenau (R 35 34 36, H 56 73 86); zahlreiche Anschnitte am Hang ca. 450 m N Ortsmitte Grebenau

Im Hardegsener Sandstein kann eine 5,5 m mächtige, leuchtend gelbrote Unterbank, deren grobes Korn ca. 1 m über der Basis einsetzt, von einer 2,5 m mächtigen Oberbank geringerer Korngröße unterschieden werden. Der Oberbank sind am Top dünne Ton-Schluffsteinlagen zwischengeschaltet. Wie bei den Basis-Sandsteinen der älteren Folgen des Mittleren Buntsandsteins stellt die Untergrenze des Hardegsener Sandsteins einen schärferen Schnitt dar als die Obergrenze.

5.2. Hardegsener Wechselfolge

Mächtigkeit: 130–170 m

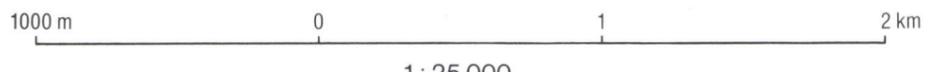
Aufschlüsse: Straßenböschung 600 m NNW Grebenau (R 35 34 26, H 56 73 84): an zahlreichen Stellen im Steilhang an der Fulda W Grebenau; Steinbrüche und Anschnitte NNE Fuldabrücke bei Wolfershausen und 600 m NE Neuenbrunslar; am Fuß des Sonderbach-Taleinschnittes SE Gensungen

Im Gegensatz zu den älteren typischen Wechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins wechseln hier nicht plattige Sandsteine und Ton-Schluffsteine, sondern Sandsteinbänke (ca. 1 m mächtig) und Wechselfolge-Serien (2–3 m mächtig) miteinander ab. Beide bilden häufig Kleinrhythmen (grob Korn an der Basis der Sandsteinbänke, Ton-Schluffstein als Abschluß der überlagernden Wechselfolge).



Topographische Grundlage: TK 25 des Hess. Landesvermessungsamtes, Wiesbaden, Ausgabe 1968
 Kartographische und reproduktionstechnische Bearbeitung: Hess. Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden
 Druck: Hess. Landesvermessungsamt, Wiesbaden

<p>Verwerfungen</p> <p>Streichen und Fallen</p> <p>Subrosionssenke</p> <p>Lehm, sandig, z.T. schlackig, örtl. Torf</p> <p>qh, L, f Auenlehm</p> <p>Schollen aus Buntsandsteingesteinen, z.T. mit Lehm</p> <p>Hangrutschmassen</p> <p>qp, Löl, an der Oberfläche entkalkt Lößlehm, z.T. umgelagert</p> <p>Löb und Lößlehm</p> <p>qp, Löl, qp +</p> <p>Sollifluktionsschutt</p> <p>Kies und Sand</p> <p>Terrassen, ungegliedert</p> <p>Basalt und Basalttuff</p> <p>Vulkanische Gesteine</p> <p>Ton, Sand, Kies, Braunkohle a: unter Bedeckung</p> <p>ungegliedert</p>	<p>Quartär</p> <p>Holozän</p> <p>Pleistozän</p> <p>Tertiär</p>	<p>Sandstein, plattig und bankig, fein- bis grobkörnig, örtl. gebleicht; Tonstein; von mächtigem Schutt bedeckt</p> <p>sm ungegliedert</p> <p>Sandstein, vorw. weiß, z.T. gefleckt und löcherig, mittel- bis grobkörnig, dickbankig, z.T. plattig aufgespalten, fest bis mürb, schräggeschichtet; Gerölle</p> <p>smS ungegliedert</p> <p>Sandstein, rotbraun, heil gebändert, rotviolett, mittelkörnig, fest, bankig bis dickbankig oder plattig, mit Tonsteinlagen; am Top Tonstein; Corophioides, Acropus</p> <p>smH, st Hardegenser Wechselfolge</p> <p>Sandstein, orange, rot, violettbraun, grobkörnig, fest bis mürb, schräggeschichtet; selten Tonsteinlagen</p> <p>smH, s Hardegenser Sandstein</p> <p>Tonstein, rot, grünweiß; Sandstein, violett mit feinen Streifen, weiß, feinkörnig, z.T. porig, quarzitisch, z.T. karbonatisch</p> <p>smD, t+st Detfurter Ton u. Detfurter Wechselfolge</p> <p>Sandstein, rotbraun, violettbraun, grobkörnig, bankig, fest; z.T. mürb, schräggeschichtet; Tongerölle; selten Tonsteinlagen</p> <p>smD, s Detfurter Sandstein</p> <p>Sandstein, rotbraun, auch weiß, feinkörnig, plattig, z.T. quarzitisch, basal grobkörnig u. bankig; zahlreiche Tonsteinlagen; Marken u. Lebensspuren; Avicula</p> <p>smVA Avicula-Hauptlager</p> <p>Sandstein, rotbraun, selten weiß, feinkörnig, plattig, zahlreiche Tonsteinlagen; vereinzelt Avicula</p> <p>smVA, st Avicula-Wechselfolge</p>	<p>Trias</p> <p>Buntsandstein</p> <p>Solling-Folge</p> <p>Hardegenser-Folge</p> <p>Mittlerer Detfurt-Folge</p> <p>Vorprenn-Folge</p>
--	--	---	--



1:25 000

Insgesamt besitzt der Ton-Schluffstein einen wesentlich geringeren Anteil am Schichtaufbau als in den älteren Wechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins. Die Kornsortierung ist schlechter als dort. Mischsedimente, z. B. Ton-Sandsteine, sind häufig. In der Lesestein-Bestreuung auf den vergleichsweise steil ansteigenden Hängen fallen die mächtigen Blöcke der Sandsteinbänke auf (\emptyset des Korns < 1 mm).

Die Hardeggen-Abfolge 1 (Hardeggener Sandstein und tiefer Teil der Hardeggener Wechselfolge) ist 38 m mächtig. Sie enthält eine deutlich gebänderte Sandsteinserie und schließt mit einer violetten Wechselfolge-Serie ab. Diese wird vom 2,50 m mächtigen gelbroten Basissandstein der Abfolge 2 überlagert. Beide Schichten besitzen, zusammengefaßt betrachtet, einen hohen Leitwert.

Unmittelbar über dem Hardeggener Sandstein fand KRÄMER (1961: 66) in Südniedersachsen eine Violette Zone, die möglicherweise durch bodenbildende Vorgänge entstand (vgl. ORTLAM 1967). Diese Violette Zone ist auf Bl. Gudensberg nicht nachweisbar (Profil Kap. 4).

Die Hardeggen-Folge schließt mit sandigem Ton-Schluffstein ab. Er steht im Sonderbach-Taleinschnitt, ca. 2 m mächtig, über blaßrotbraunen, weitständig hellgelb gefleckten, feinkörnigen Sandsteinen an (R 35 31 02, H 56 65 16), ferner in etwas geringerer Mächtigkeit am Kopf des Steilhanges NNW Ellenberg (R 35 32 28, H 56 73 84). Auch in der Brg. Felsberg (R 35 28 61, H 56 66 44) wurde unmittelbar im Liegenden der Solling-Folge $> 2,5$ m Ton-Schluffstein erbohrt (RAMBOW 1964, Archiv HlFB 4822/172).

Am Hang des Edertales NNW Ellenberg wird der genannte Ton-Schluffstein unterlagert von ca. 5 m mächtigen braunvioletten, löcherigen, z. T. quarzitischen, mittelkörnigen Sandsteinen, die denen der Solling-Folge gleichen (u. a. RAMBOW 1967a, HORN 1971). Diese Sandsteine scheinen jedoch nur örtlich ausgebildet zu sein; das Vorhandensein einer Diskordanz an ihrer Basis oder an ihrem Top bleibt offen (vgl. TRUSHEIM 1961, KRÄMER 1961, KUNZ 1965, HORN 1976).

Aus dem Fossilinhalt der Hardeggener Wechselfolge ist der recht häufige Wurmbau *Corophioides luniformis* BLANCKENHORN zu nennen. Außerdem treten in der Wechselfolge der Abfolge 1 Fährten und fossile Reste von Sauriern auf (vgl. KUPFAHL 1981: 34). Von ihnen wurde *Acropus* sp. nachgewiesen (N Büchenwerra, R 35 33 84, H 56 72 52).

6. Solling-Folge

Die Folge wurde von BACKHAUS, LOHMANN & REGENHARDT (1958) im Reinhardswald untergliedert. In gleicher Fazies liegt sie im Raum Kassel und auch auf Bl. Gudensberg vor (nach S und SE starke Mächtigkeitsabnahme in ihrem höheren Teil). Von der Schichtenfolge stehen im Kartiergebiet die basalen Wilhelmshausener Schichten an zahlreichen Stellen an. Im Vorkommen NW Wolfershausen könnte jedoch auch der höhere Teil der Folge schuttbedeckt in geringer Mächtigkeit zutage austreichen. Die gesamte Folge ist 90–110 m mächtig. In der Brunnenbohrung Felsberg (RAMBOW 1967b: 88) wurden 96 m ermittelt.

6.1. Wilhelmshausener Schichten

Mächtigkeit: ca. 40 m

Aufschlüsse: Bahneinschnitt 1,2 km NNW Wolfershausen, Steinbrüche NW, N und 1,5 km NE Wolfershausen sowie N Neuenbrunslar und am SE-Ortsrand Gensungen; Wasserrisse im S des Sonderbach-Taleinschnittes bei Gensungen

Überwiegend bestehen die Schichten aus grauweißen, gefleckten, ziemlich mürben, in rundliche zernarbte, löcherige Brocken zerfallenden Sandsteinen. Einzelne weiße, festere Bänke mit feinerem Korn spalten unter dem Einfluß der Verwitterung nach feinen Glimmerlagen in 2–5 cm starke Platten auf. Hierbei tritt eine ausgeprägte Schrägschichtung in Erscheinung (Winkel von 45° im Bahneinschnitt NNW Wolfershausen). In einigen Lagen führen die Sandsteinbänke grüngraue Tonsteingerölle.

Das Quarzkorn der Sandsteine ist recht gut gerundet und bankweise gleichmäßig groß (\varnothing bis 0,8 mm, höchstens \sim 1 mm). Die für die Wilhelmshausener Schichten typischen, meist lagenweise angeordneten Gerölle (Quarz, auch Quarzit und Kieselschiefer) beginnen nahe der Basis und klingen nach oben aus. Die Kantlänge der nach oben auch in ihrer Größe abnehmenden Gerölle erreicht 1,5 cm. Lediglich im Steinbruch 600 m N Wolfershausen wurden ca. 5 m über der Basis der Schichten einzelne Kantlängen von 3–3,5 cm gemessen. Regional nimmt im Becken die Geröllgröße von S nach N ab (KUNZ 1965, Abb. 4).

In einer den Ortsbereich Wolfershausen einschließenden, oval umrissenen Fläche sind nach Bohrungen die Schichten des hohen Mittleren Buntsandsteins, darüber Tertiärsedimente, in die Tiefe versenkt (Subrosionsenke von Wolfershausen, s. Taf. 1).

Die Obergrenze der Wilhelmshausener Schichten ist durch einen Wechsel von mittlerem bis grobem zu feinem Sandsteinkorn gekennzeichnet. Sie ist auch im Bohrprofil nicht immer eindeutig festzulegen.

6.2. Trendelburger, Karlshafener und Stammener Schichten

Diese Schichtglieder sind auf Bl. Gudensberg durch Bohrungen erschlossen (RAMBOW 1976b). Hiernach und nach den Profilaufnahmen auf Bl. 4723 Oberkaufungen (KUPFAHL 1981) folgen sie mit fließenden Grenzen übereinander, so daß ihre Mächtigkeiten (z. T. um 20 m) nicht genau zu ermitteln sind. Kalkgehalt, vereinzelt auch Kalksteinbrocken, sowie gelbe oder violettbraune Flecken können lagenweise in allen Schichtgliedern auftreten. Die über den Wilhelmshausener Schichten folgenden Trendelburger Schichten bestehen fast durchweg aus weißen, häufig schwach violett getönten, z. T. quarzitischen, feinkörnigen (\varnothing bis 0,4 mm) Sandsteinen. Kennzeichnend für die glimmerreichen, gelegentlich, fein- bis mittelkörnigen Karlshafener Schichten ist die überwiegend kräftig braunviolette Färbung. In den weißen und auch braunvioletten Stammener Schichten sind gelegentlich grobkörnige, z. T. mürbe Sandsteine zwischengeschaltet. Auffallend farblich gebänderte Sandsteine erscheinen in den Karlshafener und den Stammener

Schichten. Bevorzugt im Grenzbereich zwischen beiden Schichtgliedern oder in den Stammener Schichten können vereinzelt ca. 2 m mächtige Ton-Schluffsteinlagen auftreten.

Nach den zur Verfügung stehenden Bohrprofilen treten in der hohen Solling-Folge des Blattgebietes verschiedentlich Violette Zonen auf. Sie scheinen jedoch nicht an ein bestimmtes stratigraphisches Niveau gebunden zu sein (vgl. RAMBOW 1967b, zu den Nachbargebieten auch GRAUL, HIEKE & RITZKOWSKI 1965).

7. Schriftenverzeichnis

- BACKHAUS, E., GRAMANN, F., KAEVER, M., LEPPER, J., LOHMANN, H. H., MEIBURG, P., PREUSS, H., RAMBOW, D., & RITZKOWSKI, S. (1980): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Reinhardswaldes 1:50 000. – 32 S., 10 Abb., 1 Kt.; Wiesbaden.
- LOHMANN, H., & REGENHARDT, H. (1958): Der Mittlere Buntsandstein im Reinhardswald (Nordhessen). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **86**: 196–201, 2 Abb.; Wiesbaden.
- BLANCKENHORN, M., & LANG, O. (1918): Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Bl. Gudensberg, Lfg. **198**, Gr.-Abt. 55, Bl. 49; Berlin.
- BOIGK, H. (1956): Vorläufige Mitteilung über eine neue Gliederung des Mittleren Buntsandsteins im Raume Südhannover. – Geol. Jb., **72**: 325–340, 3 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- GRAUL, H., HIEKE, W., & RITZKOWSKI, S. (1965): Der „Niederhessische Chirotheriensandstein“ im Westteil der Hessischen Senke und die sog. „Rötelzone“ bei Marburg/Lahn (Buntsandstein, nördliches Hessen). – N. Jb. Geol. Paläontol., Mh.: 321–333, 7 Abb.; Stuttgart.
- HERRMANN, A. (1957): Schichtausfälle im Mittleren Buntsandstein des nordwestlichen Eichsfeldes und deren mögliche Deutung. – Geol. Jb., **72**: 341–345, 1 Abb.; Hannover.
- (1964): Epirogene Bewegungen im germanischen Buntsandsteinbecken und deren Bedeutung für lithostratigraphische Parallelisierungen zwischen Nord- und Süddeutschland. – Geol. Jb., **81**: 11–72, 13 Abb., 2 Tab, 3 Taf.; Hannover.
- & HOFRICHTER, E. (1963): Die Hardegsen-Folge (Abfolgen 1–4) des Mittleren Buntsandsteins in der nördlichen Hessischen Senke. – Geol. Jb., **80**: 561–652, 8 Abb., 1 Tab., 6 Taf.; Hannover.
- HOPPE, W. (1976): Die paläogeographisch-fazielle Entwicklung im Südteil des Germanischen Buntsandsteinbeckens. – Schr.-R. geol. Wiss., **6**: 5–62, 9 Abb., 8 Tab.; Berlin.
- HORN, M. (1971): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Bl. 4721 Naumburg, 285 S., 29 Abb., 10 Tab., 1 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- (1976): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Bl. 4620 Arolsen, 225 S., 35 Abb., 9 Tab., 1 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- KRÄMER, F. (1961): Sediment-Untersuchungen im Mittleren Buntsandstein (sm) Süd-Niedersachsens. – Inaug. Diss., 181 S., 27 Abb., 15 Tab., 7 Taf., 4 Kt.; Frankfurt a. M.
- KREYSING, K. (1957): Zur Stratigraphie des Mittleren Buntsandsteins in S-Hannover und N-Hessen. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh.: 72–83, 3 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- KUNZ, H. (1965): Stratigraphisch-fazielle Untersuchungen im höheren Buntsandstein Ost Hessens. – Inaug.-Diss. Joh. Wölg. Goethe-Univ., 232 S., 13 Abb., 4 Tab., 20 Taf.; Frankfurt a. M.
- KUPFAHL, H.-G. (1975): Geologische Karte von Hessen 1:25000, Bl. 4823 Melsungen, 2. Aufl., mit Erläuterungen, 195 S., 27 Abb., 22 Tab., 1 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl., 212 S., 15 Abb., 17 Tab., 3 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- MATTHES, G., RÖSING, F., & THEWS, J.-D. (1981): Geologische Karte von Hessen 1:25000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.; Wiesbaden.
- & THEWS, J.-D. (1961): Die Gliederung der Volpriehausen-Folge des Mittleren Buntsandsteins auf Blatt Oberkaufungen. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **89**: 235–241, 1 Abb.; Wiesbaden.
- LOTZE, F. (1932): Der Südteil des Göttinger Leinetalgrabens und der Eichenberger Grabenknoten. – Abh. preuß. geol. L.-Anst., N. F., **139**: 6–48, 30 Abb., 1 Taf.; Berlin.

- ORTLAM, D. (1967): Fossile Böden als Leithorizonte für die Gliederung des höheren Buntsandsteins im nördlichen Schwarzwald und im südlichen Odenwald. – Geol. Jb., **84**: 485–590, 28 Abb., 4 Tab., 5 Taf.; Hannover.
- RAMBOW, D. (1967a): Die Hardegsen-Folge (Buntsandstein) in den Bohrungen Beberbeck und Haarhausen (Hessen). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **95**: 76–82, 1 Taf.; Wiesbaden.
- (1967b): Die Solling-Folge und der untere Röt (Buntsandstein) in der Niederhessischen Senke. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **95**: 83–101, 2 Abb.; Wiesbaden.
- (1976): Profile durch den Mittleren Buntsandstein an der Ostflanke des nordhessischen Teilbeckens (Gebiet östlich Kassel). – Geol. Jb. Hessen, **104**: 43–49, 1 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- TRUSHEIM, F. (1961): Über Diskordanzen im Mittleren Buntsandstein Norddeutschlands zwischen Weser und Ems. – Erdöl.-Z., **77**: 361–367, 7 Abb.; Wien, Hamburg.

Manuskript eingegangen am 7. 12. 1981

Beobachtungen zur Tektonik im Rheingau

Von

EBERHARD KÜMMERLE*

Kurzfassung: Ein Vergleich der im Rheinniveau beobachteten Gesteine läßt zwischen Flörsheim und Rüdesheim eine Gliederung in unterschiedlich herausgehobene und relativ abgesenkte Gebietsstreifen erkennen. Bestätigt wird die vertikale Verstellung durch einen Vergleich der Höhenlage des Cyrenenmergels (höheres Oligozän) an den Hängen zum Rhein bzw. Main. Untersuchte Neuaufschlüsse ergänzen das bisherige tektonische Bild.

Abstract: The layers outcropping along the banks of the Rhine have been compared, with special regard to the *Cyrena* Marls (Upper Oligocene). Thus, between Flörsheim and Rüdesheim a sequence of uplifted and sunk areas can be perceived.

Inhaltsverzeichnis

1. Gesteine der Rheinaue und des Rheinbettes	101
2. Gesteine in der Hanglandschaft N des Rheins	105
3. Mögliche Schlüsse aus dem Nivellement	112
4. Zusammenfassung	112
5. Schriftenverzeichnis	113

1. Gesteine der Rheinaue und des Rheinbettes

Bebauung und Uferbefestigung verbergen am N-Ufer des Rheins zwischen Mainmündung und Rüdesheim die anstehenden Gesteinsschichten. Erst die Profile zahlreicher Bohrungen am Ufer, im Rhein selbst und auf den Inseln (= Auen, Werthe, Wörthe) gewähren Einblick in die geologische Beschaffenheit des Ufers und des Flußbettes.

Nimmt man den in den topographischen Karten (TK 5, TK 25) angegebenen mittleren Wasserstand, im folgenden „MW“ genannt, als Bezugshöhe, so stehen in diesem Niveau im Normalfall quartäre Sedimente an, die der Fluß selbst zum Absatz brachte: zuunterst 2–5 m (nach WAGNER 1931: 69 auch 6–7 m) kiesig-sandige Ablagerungen der Niederterrasse, der T1/T2-Terrasse KANDLERS (1971), darüber 3–6 m vorwiegend sandig-schluffige Auensedimente. Die Grenze zwischen beiden liegt am N-Ufer meist knapp unter MW, auf den Inseln von der Petersaue bis zur Rüdeshheimer Aue im allgemeinen 1–3, selten bis 4 m unter MW.

* Dr. E. KÜMMERLE, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden.

Mittlerer Wasserstand (MW) in m über NN	
Kostheim Maarau	81,4
Schierstein, Wasserwerk	80,6
Eltville	80,2
Erbach	80,0
oberhalb Oestrich	79,6
Mittelheim	79,3
Winkel	79,2
Ilmenau	78,7
Rüdesheim	78,5
oberhalb Krausaue	78,4
Ehrenfels	77,4

Vergleicht man die Höhenlage der Niederterrassenbasis, so wird deutlich, daß bei Ablagerung der Terrassenkiese die Rheinsohle tiefer lag als heute. Im Postglazial wurden die im Spätwürm abgelagerten Terrassensedimente teilweise ausgeräumt und feinerkörniges Material sedimentiert. Die Tätigkeit des Rheins war also selbst im „Inselrhein-Abschnitt“ nicht immer nur akkumulierend, sondern auch erodierend. Im Bereich der noch vorhandenen Auen blieben die Kiese unter dem Auenlehm als Sockel erhalten.

Die Ufer werden nicht überall von Schichten quartären Alters gebildet. Im Abschnitt Amöneburg – Biebrich hebt sich auf fast 2,5 km Uferstrecke die Unterlage aus jungtertiären Hydrobienschichten heraus: zwischen Kaiserbrücke und Schiersteiner Brücke schneidet der Rhein in Mergel und Kalksteine ein. Noch bis in die 20er Jahre dieses Jahrhunderts kam bei niedrigem Wasserstand am Amöneburger Ufer Kalkstein zum Vorschein, und noch nach der Jahrhundertwende wurden Kalkfelsen im Rhein beim Biebricher Schloß gesprengt. In Höhe der Kaiserbrücke stehen zumindest örtlich Kalke und Mergel ohne Kiesdecke im Rheinbett an (LEPPLA & STEUER 1971: 20). Auf der Petersaue ist aber der Kies der Niederterrasse in voller Mächtigkeit erhalten. Unter der Straßenbrücke Mainz – Kastel (Theodor-Heuss-Brücke) liegen Mergel und Kalkstein der Hydrobienschichten zwar örtlich unter mehreren Metern Rheinkies (LEPSIUS 1883: 137), doch konnte WAGNER (1924: 143) bei der Neufundamentierung der Brücke eine 20° streichende Verwerfung im Tertiär beobachten, die sich vom linken Ufer bis unter den ersten Stropfweiler hindurchzog. Sie wurde durch lineares Aufperlen von Preßluft aus Spalten im Kalkstein erkennbar, denn über dem Kalkstein lag nur eine dünne Kieslage (WAGNER 1962: 26).

Im Uferabschnitt Kastel – Amöneburg – Biebrich hat also der Rhein die Niederterrasse weithin bis auf die tertiäre Unterlage ausgeräumt, ja sogar noch in diese eingeschnitten. Da die genannte Strecke mit dem Prallhang des Rheinknies zusammenfällt, liegt es nahe, daß der Fluß seinen ursprünglichen Uferstrand mit der Zeit nach außen überschritt und damit über seinen jüngstpleistozänen Erosionsrand hinausgeriet. Man könnte auch an eine postpleistozäne Hebung der (eigentlich abgesenkten) Scholle von Wiesbaden denken, zumal sich am unteren Ende der Petersaue eine Schwelle im Strom andeutet. Dem widerspricht aber die vollständige Erhaltung der Niederterrasse auf der Rettbergs- und Petersaue. Die Über-

breite des Rheins an dieser Stelle und die Häufung breiter Auen läßt auch schwerlich an eine junge Hebung denken.

Vom Biebricher Schloß senkt sich die Tertiäroberfläche nach W stark ab. Die Mächtigkeit der Terrassenkiese nimmt zu und erreicht am Wasserwerk Schierstein örtlich bis 10 m Mächtigkeit (THEWS 1974: 58). Sie liegt hier bei 71–81 m über NN oder zwischen 9 m unter MW und 1 m über MW. Auch die Rheinsohle senkt sich zwischen Schiersteiner Brücke und Wasserwerk geringfügig ab. Unter dem Kies folgt im W-Teil des Wasserwerkes Schleichsand. Dessen Oberfläche steigt vom Rhein nach N hin an und ist örtlich etwa rheinparallel rinnenartig vertieft (MEHLHORN & THEWS 1974: 65). Im E-Teil des Wasserwerkes folgen unter der Terrasse jungtertiäre Mergel und Kalksteine. Driftblöcke daraus finden sich unterhalb, dort wo der Schleichsand ansteht, an der Basis der Terrassenkiese und können, wenn nicht tief genug gebohrt wird, eine jungtertiäre Unterlage der Kiese vortäuschen.

Zwischen Schiersteiner Hafen und Niederwalluf wurden im MW-Niveau nur quartäre Sedimente beobachtet. Von Niederwalluf bis zum W-Ende von Eltville waren dagegen zuweilen sandige Mergel und mergelige Sande, also wohl Schleichsand, am Ufer sichtbar. Bei niedrigem Wasserstand läßt sich die Untergrenze der hangenden Terrassenkiese örtlich an Quellaustritten erkennen. In den bearbeiteten Bohrungen steht der Schleichsand erst in 3,5–7 m unter MW an, sowohl am Ufer als auch auf den Auen.

Zwischen Eltville und Oestrich folgt unter Terrassenkies ebenfalls Schleichsand, bei Hattenheim vermutlich auch Cyrenenmergel. Die Grenze zwischen quartären (Terrasse, Auenlehm, Altlaufsedimente, Riedboden) und tertiären Gesteinen liegt, wie oberhalb, bei 3,5–7 m unter MW. Oberhalb Hattenheim ziehen mergelige und steinartig verfestigte Schleichsandbildungen in das Flußbett hinein, und Baggerarbeiten im „Gressen“ zwischen Hattenheim und Erbach brachten feste Kalksandsteinplatten zutage (WAGNER 1931: 5).

Nach Aussage von Winzern gab es auf der Grünaue unterhalb des Siegelsberges, eine Sandgrube, in der „große Muscheln“ zu finden waren. Da diese Stelle nicht mehr zugänglich ist, bleibt offen, ob hier Tertiär (Schleichsand?) oder Quartär angeschnitten war.

Zwischen Niederwalluf und Hattenheim steigt die Sohle des Rheins in Fließrichtung an (WAGNER 1931: 5), bis zu einer Schwelle im Strom, die nach WAGNER unterhalb der Mariannenaue liegt. Tatsächlich ergibt sich aus dem Verlauf der Tiefenlinien die Andeutung einer SW-NE-Schwelle sowohl in Höhe des unteren Teils der Mariannenaue als auch in Höhe des Schlosses Reichardshausen. Auch zeigt der MW unterhalb der Mariannenaue, zwischen Stromkilometer 516 und 519¹ einen schwachen Gefällsknick. Ein Vergleich der Bohrungen entlang dem N-Ufer in diesem Bereich ergibt ebenfalls ein Ansteigen der Terrassenbasis vom Wasserwerk Schierstein (rund 74 m über NN/6,5 m unter MW) bis Hattenheim (rund 76 m über NN/4 m unter MW). Im Bereich der Auen scheint die Terrassenbasis zwischen Rettbergs- und Mariannenaue mit rund 74 m über NN etwa gleich zu bleiben.

¹ Kilometrierung ab Rheinbrücke Konstanz.

Zwischen Oestrich und Rüdesheim bildet nicht Schleichsand, sondern Rupelton den Untergrund. Er ist im MW-Niveau von Deckschichten verhüllt und steht in Bohrungen in 4,5–7 m unter MW, zwischen 72 und 75 m über NN, an. Im Bereich Fulder Aue und Ilmenaue liegt Rupelton in 3–5 m unter MW/ zwischen 74 und 76 m über NN. Zwischen Winkel und der W-Spitze der Fulder Aue steigt die Rheinsohle entgegen der Fließrichtung an; in Höhe der Schönbornschen Aue liegt die Sohle in der gesamten Breite des Flusses relativ hoch.

Für die Geologie des Rheinbettes zwischen Fulder und Rüdeshheimer Aue sind zahlreiche Bohrungen wichtig, die im Zuge der Brückenprojekte niedergebracht worden sind. Bei Stromkilometer 522,3 (Geisenheimer Brücke) steht unter 0,7–4,6 m Niederterrassenkies Rupelton bis in mindestens 45 m Tiefe an, relativ eintönig als schluffiger, schwach feinsandiger Ton. Vereinzelt kommen darin Tonstein- und Kalksteinbänke von wenigen Dezimetern Mächtigkeit vor. Bei km 524,5 (Bahnbrückenprojekt von 1912) folgt unter 0,5–1,9 m Kies zunächst bis im Schnitt 25 m Tiefe Rupelton wie bei km 522,3. Darunter liegt eine Wechselfolge von schluffigem und sandigem Ton, tonigem Sand, Kies und Konglomerat mit Geröllen bis Walnußgröße, Übergänge zwischen Rupelton und Meeressand (WAGNER & MICHELS 1930: 129–135). Bei km 525,3 (ehem. Hindenburgbrücke) tritt Rupelton unter 0,5 m (im N) – 1,7 m (im S) Rheinkies nur noch im obersten Teil des Tertiärprofils auf. Unter ihm bei im Schnitt 6 m, örtlich sofort unter dem Rheinkies, steht die Wechselfolge an oder schon rein sandig-kiesig-konglomeratische Schichten und Kalksandstein; sie vertreten den Unteren Meeressand, unter dem das Unterdevon folgt: nahe dem Kemptener Ufer wurde es in 14,15 m/ etwa bei 63,4 m über NN/ rund 15 m unter MW angebohrt (bei R 34 24 21, H 55 37 73). In westlicher Richtung gelangen also immer tiefere Anteile des Tertiärprofils in das Erosionsniveau des Rheins, und der prätertiäre Untergrund hebt sich nach W immer mehr heraus: die Bohrungen bei km 524,5 standen bei 44 m = 35,5 m über NN/ 43 m unter MW noch im Tertiär, bei km 525,3 wurde zumindest am Kemptener Ufer Unterdevon schon bei 15 m unter MW erreicht.

In Höhe der Rüdeshheimer Aue tritt der Rhein in die Felsenstrecke ein: die Gesteine des Schiefergebirges heben sich klippenartig bis über den MW heraus. Es lagern auf dem Unterdevon nur noch junge Rheinsedimente, und auch diese, zumeist gröbere Gerölle und Blöcke, sind nur an strömungsgeschützten Stellen wie Klüften und Kolken angehäuft. Bis zu einer leichten Schwelle, die sich von SW bei der Hafeneinfahrt Bingen nach NE in Richtung auf den Rüdeshheimer Adlerturm erstreckt, steigt die Flußsohle in Fließrichtung teilweise noch leicht an, um danach deutlich abzufallen.

Oberhalb von Bingen bewegte sich eine dünne Geröllage schnell über den nackten Fels, wie man in einem herabgelassenen Caisson beobachten konnte (WAGNER 1962: 27).

Im Kemptener Fahrwasser S der Rüdeshheimer Aue lagen ehemals die „kleinen Wörte im Rhein zwischen Gaulsheim und Bingen“ (STRUCK 1977: 88). Felssprengarbeiten verzeichnet KLEIN (1974: 29) unmittelbar S der Rüdeshheimer Aue, während auf der Aue selbst kein felsiges Unterdevon zutage tritt. Bei Stromkilometer 528 erheben sich die Klippen der Krausaue aus Quarzkeratophyr (WAGNER & MICHELS 1930: 32 sowie neuere Untersuchung MEISL, mündl. Mitt.). Im unter MW gelegenen „Nahegrund“ vor der Nahemündung ergaben Sondierungen, daß felsige Quarzitbänke relativ hoch

ragen (FELKEL 1961: 27, PICHL 1961: 53), jedoch von sandig-kiesigen Nahesedimenten verdeckt sind. Um 1876 lagen Wassermühlen an Klippen bei km 529 in Höhe des quarzitenen „Mühlsteins“ mitten im Rhein. Die Mäuseturminsel liegt auf felsigem Sockel, von ihrer E-Spitze zieht das „Mäuseturmriff“ mit rund 60° zur „Fiddel“ am rechten Ufer. Zahlreiche Klippen W und NW der W-Spitze der Insel und die noch unterhalb gelegenen „Lochsteine“ wurden seit 1830 bis auf einen Lochstein beseitigt. Das „Binger Riff“ bei km 530,7 besteht aus teils dickbankigem, teils auch dünnplattigem grauem Taunusquarzit. Diese Bänke ziehen mit 56° Streichen und mit 85° nach NW einfallend durch das Rheinbett und als felsige Rippe den rechten Hang hinauf zum „Pferdskopf“. Ursprünglich ein unüberwindliches Wehr, wird das Riff seit Beginn des 17. Jahrhunderts regelrecht abgebaut. Anfänglich schuf man eine schmale Lücke nahe dem rechten Ufer, das „Binger Loch“².

Das Stromgefälle ist in der Felsenstrecke – pauschal gesehen – viermal so steil wie vor dem Eintritt in das Gebirge im Tertiärgebiet, d. h. 0,4‰ statt 0,1‰. Zwischen Bingen und Oberwesel hat der Fluß ebensoviel Gefälle wie zwischen Mannheim und Bingen. Wasserspiegel-Flächenaufnahmen ergaben mehrere Gefällstufen: die erste liegt etwas oberhalb der Nahemündung, eine zweite am Binger Riff (KLEIN 1961: 53 Abb. 10).

2. Gesteine in der Hanglandschaft N des Rheins

Schon die Aufeinanderfolge verschieden alter Schichtglieder des Tertiärs im MW-Niveau läßt ein stufenförmiges Ansteigen von Gebietsstreifen von E nach W im Rheingau erkennen, aber auch von Wiesbaden aus in östliche Richtung: auf die Hydrobienschichten folgen bei Kostheim (Neuberg und Bohrungen zwischen Hafen und Bahnlinie) Inflatenschichten und nach E, ab der Donnermühle, Cerithienschichten, dann Cyrenenmergel, im Falkenberggraben überlagert von Cerithienschichten. Auf Cyrenenmergel folgt nach E Rupelton, beide ziehen durch das Mainbett. In Flörsheim läßt die W-Randverwerfung des zentralen Rheingrabens auf Rupelton abrupt Pliozän folgen.

Die unterschiedliche Heraushebung wird besonders in einem Vergleich der Cyrenenmergelvorkommen deutlich (Abb. 1).

Der Begriff Cyrenenmergel wird im folgenden im Sinne von WAGNER & MICHELS (1931) gebraucht, als eine vom mitteloligozänen Schleichsand deutlich getrennte Einheit des Oberoligozäns. Dabei bleibt außer acht, daß die Abgrenzung beider Schichtglieder dort, wo der Schleichsand als Mergel entwickelt ist, strittig sein kann. Die Vorstellung einer „Cyrenenmergelgruppe“ im Sinne von BOETTER (1875: 91) oder STEUER (1910) erscheint nicht ganz unberechtigt.

Im bearbeiteten Gebiet handelt es sich um schluffigen Ton und Mergel mit eingeschalteten, oft feinsten Feinsandlagen. Dieses Gestein macht sich infolge starken Quellungsvermögens und Neigung zum Bodenfließen gelegentlich unangenehm bemerkbar. Hangrutsche führten zu unruhig wellig-wulstigen Landschaftsformen, Reißen von Stützmauern und Absacken von Bahnkörpern:

Biostratigraphisch ist der Cyrenenmergel im bearbeiteten Gebiet gekennzeichnet durch lagenweise angereicherte Mollusken wie

² Mit „Binger Loch“ wurde ursprünglich auch die „unermeßliche“ Vertiefung (durch Erosion) direkt unterhalb der Felsbarriere bezeichnet (SCHMELZEIS 1881: 17).

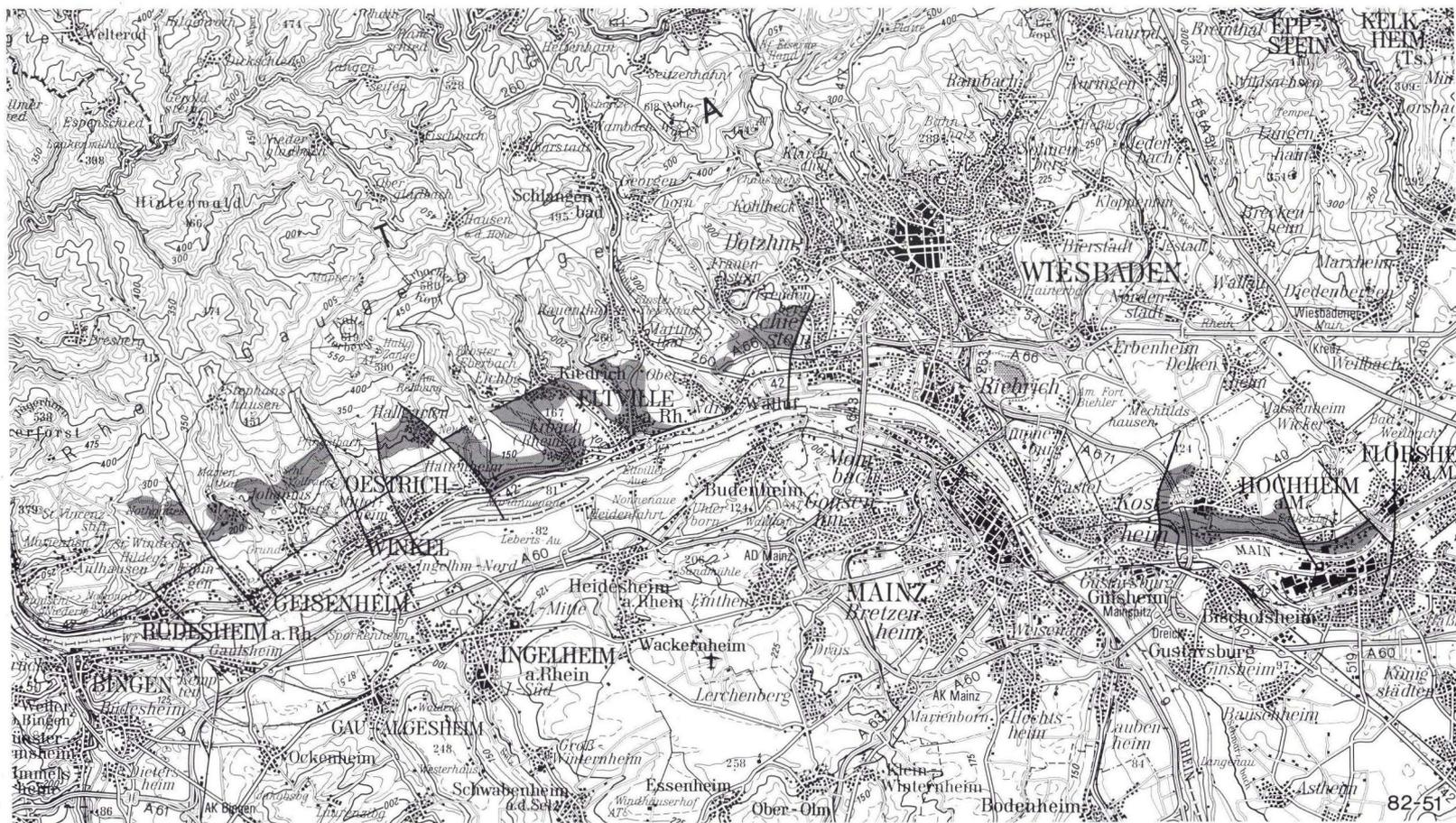


Abb. 1. Oberflächliche oder oberflächennahe Verbreitung des Cyrenenmergels zwischen Flörsheim und Rudesheim. Maßstab 1:200 000.

Corbicula semistriata (DESHAYES) = *Cyrena convexa* BRONGNIART
Cerithium (Tympantotomus) margaritaceum BROCCHI
Pirenella plicata galeottii (NYST)
Potamides (Potamides) lamarcki BRONGNIART.

In diesen fossilreichen Partien ist folgende Mikrofauna charakteristisch:

Pyrulina lanceolata (REUSS)
Elphidium nonioninoides (ANDREAE)
Rotalia kiliani (ANDREAE)
Hemicypriideis rhenana (LIENENKLAUS) u. a.

In zumeist zwei Flözen kommt örtlich eine erdige Braunkohle vor, die für den Cyrenenmergel geradezu kennzeichnend ist. Nach dem Vorkommen von Hofheim-Marxheim ist die Mikroflora dieser Braunkohlen als „Marxheimer Bild“ bekannt.

Sechs von SONNE (1958) untersuchte Mergelproben aus dem Raum Marienthal, Winkel und Eltville enthielten eine Mikrofauna, die eine Einstufung in den Schleichsand gestattet, jedoch auch nicht gegen Cyrenenmergel-Alter spricht. Sowohl Sediment als auch geologische Position lassen Zugehörigkeit zum Cyrenenmergel vermuten.

Bei Hochheim nimmt der Cyrenenmergel die Hänge zwischen Mainufer (rund 85 m über NN) und 120-m-Höhenlinie ein. Eingeschaltete Braunkohle wurde in Mainnähe im Feld Kohlenkaute abgebaut. In einer Bohrung in der Mälzerei trat angeblich noch in 99 m Tiefe bei rund 28 m über NN Braunkohle auf (LEPPLA & STEUER 1923, dazu Bemerkung bei KÜMMERLE & SEMMEL 1969: 182).

Von Kostheim bis Schierstein tritt Cyrenenmergel nirgends zutage, ist aber in der Tiefe nachgewiesen.

W Hochheim stößt an einer rheinisch streichenden Störung im Käsbachtal der Cyrenenmergel an die Cerithienschichten des Hochheimer Berges. Deren Liegendgrenze gegen oberoligozäne Süßwasserschichten, unter denen Cyrenenmergel folgt, liegt bei 100 m über NN (KARSCHNY 1965). An einer ebenfalls rheinisch gerichteten Linie folgen W der Donnermühle Inflaten- und ab dem Königsfloßbach Hydrobienschichten. Während die Inflatenschichten am Neuberg noch die 120-m-Linie übersteigen, liegt die Grenze Hydrobien-/Inflatenschichten im großen Steinbruch am Heßler bei rund 90 m über NN, wie den Untersuchungen von MICHELS & WIESNER (1968) zu entnehmen ist. Die Grenze zum Oligozän liegt am Neuberg in rund 70 m über NN, am Heßler ist sie demnach bei 40 m über NN, also rund 50 m unter der Bruchsohle anzunehmen. In der Bohrung Schlachthaus Wiesbaden lag nach v. REINACH (1890) Braunkohle des Cyrenenmergels zwischen 102 und 218 m, also in rund 8 m über – 108 m unter NN. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß das Salzbachtal das Gebiet der stärksten Absenkung markiert. Um N–S streichende Verwerfungen wurden hier vielfach beobachtet (z. B. STEUER 1903: 21), sie deuten auf starke tektonische Unruhe hin. Die Höhendifferenz zu den beiden relativ „ruhigen“ Gebietsteilen von Hochheim im E und Frauenstein im W kann 170–230 m betragen. Bohrungen auf der Petersaue standen bei 110 m, rund 25 m unter NN, noch im Jungtertiär; der Cyrenenmergel liegt vermutlich bei 35–90 m unter NN, was etwa der Tiefenlage am Schlachthaus entsprechen mag.

Nicht dem Cyrenenmergel, sondern den Hydrobienschichten eingelagert sind die geringmächtigen Braunkohlen, die vom Ostbahnhof, der Hammermühle und der Kasteler Brücke bekannt geworden sind.

Im Gebiet Frauenstein – Eltville – Erbach – Hattenheim ist die Höhenlage des Cyrenenmergels mit der bei Hochheim vergleichbar. Die Grenze des Frauensteiner Gebietsstreifens gegen den relativ abgesunkenen von Wiesbaden liegt bei Schierstein unter quartärer Bedeckung: an der A 66 am Schiersteiner Kreuz und entlang der Lärmschutzwand wurden neuerdings Hydrobienschichten angeschnitten und nicht Cyrenenmergel, wie in der geologischen Karte (LEPPLA & STEUER) dargestellt. Im Bereich Abtsweinberg W des Lindenbaches streichen dagegen Cyrenenmergel und Schleichsand aus. Daraus ergibt sich, daß N der A 66 die Randverwerfung des Miozäns von Wiesbaden das Lindenbachtal kreuzt, vielleicht am „Grunselsborn“ (R 34 41 57, H 55 46 57). Von hier aus zieht sie nach S zum Wasserwerk Schierstein und quert den Rhein in Richtung Budenheim. Im Gebiet des Wasserwerks grenzen Schichten des Oligozäns vielleicht in Form normaler Auflagerung mit Schichteinfallen nach E an solche des Miozäns, wengleich auch Verwerfungen vorhanden sind (THEWS 1974: 58). Zwischen Grorother Mühle und Kreuzung A 66/ B 260 konnte Cyrenenmergel teils in Sondierungen, teils in Kanalgräben nahezu durchgehend verfolgt werden. Unterhalb 100 m über NN sind nahe der Mühle sowie SW und S der Anschlußstelle Frauenstein glimmerreiche Feinsande und sandige Mergel (unter Löß) verbreitet, die dem Schleichsand äquivalent sind: sie stehen im Zusammenhang mit den Vorkommen am Schimmerich, wo in Sandgruben pflanzen- und marine Muscheln führende glimmerige Sande und Kalksandstein in der Tiefe anstanden (KOCH 1880: 28–30). Ähnliche Schichten sind im W-Teil des Schiersteiner Wasserwerkes erbohrt.

Anders sehen dagegen die „Frauensteiner Stubenstreusande“ aus, die in mehreren Gruben nahe dem Grorother Hof abgebaut wurden. Die kalkfreien und lagenweise stark kiesigen Sande werden örtlich von Cyrenenmergel überlagert (BOETTGER 1875: 89–90, KOCH 1880: 30, MORDZIOL 1911: 45 u. 160), dessen Alter mit Hilfe der Mikrofauna bestätigt werden kann.

Ähnliche Verhältnisse wie bei Frauenstein sind am Rohrberg bei Eltville anzutreffen. Hier traten in einer „oberen Sandkaute“ (etwa R 34 36 65, H 55 45 59, Fossilzeichen bei KOCH 1880) über dem Sand Tone auf, die in ihrer untersten Lage „*Ostrea*, *Cyrena semistriata* und *Cerithium Lamarcki*“ enthielten. In einer „unteren Grube“ wurde über dem Sand Ton angetroffen, der oben eine Lage mit „*Cyrena semistriata* und *Cerithium plicatum* var. *Galeotti*“ zeigte. Die mehrfach nachgewiesene Überlagerung durch Cyrenenmergel läßt den Schluß zu, daß die Sande eine randnahe Fazies des Schleichsandes („Oberer Meeressand“) darstellen, die gerade im Rheingau verbreitet zu sein scheint. Die gebirgsnahe Lage bestätigt die Ansicht WAGNERS (1933: 37), daß sich das Meer zur Schleichsandzeit weiter ausgedehnt habe.

Fossilreiche Cyrenenmergel waren neuerdings in Gräben im Baugebiet Hanach angeschnitten (R 34 37 08, H 55 44 60, 112 m über NN).

Etwas höher herausgehoben ist das Gebiet Kiedrich – Rauenthaler Berg, wo fossilreicher Cyrenenmergel kürzlich in 150–180 m über NN angetroffen wurde. So im Kiedricher Baugebiet „An der Lettchkaut“ (!) bei R 34 34 72, H 55 45 08 und am Staatsweingut Rauenthaler Berg bei R 34 35 91, H 55 45 86, jeweils bei rund 165 m über NN.

Bei Hattenheim reicht der Cyrenenmergel dagegen bis zum Talgrund. Am Boxberg wurde in der Grube Vincentius zwischen 1832 und 1835 sowie von 1850 – 1853 Braunkohle gewonnen. Nach HERBST (1856: 167) erbrachte ein 1855 erfolgter Aufschluß „am SW-Abhang des Steinberges“, daß auf dem „durch Hunderte von *Cyrena subarata* charakterisierten Cyrenen-Mergel des Mainzer Beckens zunächst 3' Letten ruht, über welchem ein 2' mächtiges Braunkohlen-Lager folgt, bedeckt von einem mageren, von Schalthieren (besonders einer *Planorbis*) überaus reichen schieferigen Gebirge, dem Polierschiefer anderer Braunkohlen-Vorkommen ähnlich“. In der Braunkohle fand HERBST *Folliculites* sp. und den Süßwasserfisch *Cyprinus papyraceus*. Bei G. SANDBERGER (1857: 402) ist als „Profil von Hattenheim“ überliefert:

„Diluvialgerölle (Quarzit)	2½	Lachter
Cyrenen- oder Braunkohlenletten	1	Lachter
Sphärosiderit, mit Letten wechselnd	1	Lachter
Braunkohlenletten mit Gips, Kohlen und <i>Cyrena subarata</i>	1–3	Lachter
Sphärosiderit, meist in Brauneisenstein umgewandelt	1	Lachter
blauer Letten	½–3	Lachter
Conglomerat mit Eisenmulm (Farbmaterial) mit <i>Natica crassatina</i> usw.		unbestimmte Mächtigkeit
Mutmaßlich: Quarzit und Serizitgestein“		unbestimmte Mächtigkeit

Die Mächtigkeitsangaben sind erstaunlich (1 Lachter = rund 2 m). Nach dem Vorkommen von *Natica crassatina* müßte das Konglomerat dem Unteren Meeres-sand angehören. In welcher Tiefe schließlich Unterdevon folgt, bleibt fraglich. Eine Probe von dem am Boxberg erhaltenen kohligen Ton wurde von S. HOLTZ, Wiesbaden, analysiert. Das „Marxheimer Bild“ bestätigt oberoligozänes Alter. Fossilreicher Cyrenenmergel war noch mehrfach an den Hängen des Leimersbachtals aufgeschlossen (bei R 34 32 52, H 55 43 77, Haus am Rothenberg, 155 m über NN; und bei R 34 31 74, H 55 43 87, 145 m über NN).

Nothgotteskopf	Höhenlage der Cyrenenmergelausstriche			
	Marienthal, Johannisberg	Hallgarten	Hattenheim, Erbach	Kiedrich
260–300 m über NN	220–270 m über NN	180–250 m über NN	90–155 m über NN	130–180 m über NN
Eltville, Frauenstein	Wiesbaden	Kostheim	Hochheim	
100–155 m über NN	8 m über –108 (?) m unter NN	3 (?)–70 m unter NN	60 (?)–120 m über NN	

W einer NW-SE streichenden Verwerfungslinie ist der Cyrenenmergel bei und in Hallgarten in 180–250 m über NN anzutreffen. Verlängert man diese Linie über Hattenheim hinaus zum Rhein, so stößt man auf die von WAGNER (in MICHELS 1972:9) erwähnte Schwelle im Strom im W-Teil der Mariannenaue (s.o.).

Entgegen der Einstufung auf Bl. 5914 Eltville gehören die Tone und Mergel von Hallgarten auf Grund ihrer Mikrofauna dem Cyrenenmergel, nicht dem Rupelton an. Analog müssen die mit und unter ihnen vorkommenden weißen Sande von Hallgarten dem „Oberen Meeressand“ zugeordnet werden und entsprechen den Sanden vom Rohrberg und den Frauensteiner Stubenstreusanden. Die Hallgartener Sande gehen örtlich in einen grauen Ton über, „der dem in der Umgebung häufig vorhandenen Cyrenenmergel ähnelt“ (CISSARZ 1921: 53). In der Sandgrube 100 m W Hallgarten (R 34 30 34, H 55 44 00, jetzt eingeebnet) fanden sich Rippenstücke von *Halitherium*, Zähne von *Lamna cuspidata* AGASSIZ und Gehäuse von *Pleurotoma subdenticulata* VON MÜNSTER. In der Oestricher Sandgrube 1 km SW Hallgarten (etwa R 34 29 74, H 55 43 66) entdeckten KOCH und KINKELIN (1892: 180) Abdrücke und einen Steinkern von „*Pectunculus*“.

Wohl als örtliche Einlagerung kommen knollig-nierenförmige Sphärosiderite im Cyrenenmergel vor, die schon bei Hattenheim erwähnt wurden. Bei Hallgarten bilden sie ein oder mehrere, durch tonige Zwischenmittel getrennte Lager, die um 1870/80 in den Gruben Susberg, Schlackenbergr, Jägerhorn, Wolf, Keilacker, Scharlachberg, oft zusammen mit dem Ton, abgebaut wurden, teils im Tagebau, teils auch in Schächten (Straßennamen in Hallgarten: „An der Eisenkaute“). Sphärosideritlager wurden auch weiter im W, bei Marienthal, ausgebeutet, z. B. in den Gruben Gute Hoffnung, Marienthal, Winkel und Konsolidation Dachsbaue.

In noch größerer Höhe als bei Hallgarten, in 220–270 m über NN, tritt der Cyrenenmergel zwischen dem Pflingstbachtal und der Heide NW Geisenheim zutage. Aus der Grube Dachsbaue stammt das „Profil von Oestrich“ bei F. SANDBERGER (1863: 406, ohne Mächtigkeitsangaben; s. Bemerkung von G. SANDBERGER 1857: 402):

„Blauer und grüner Ton mit *Cyrena semistriata*, Braunkohlenschmitzen und Gipskristallen,
Cerithium margaritaceum, *C. plicatum* etc.
 Sphärosideritlager mit denselben Versteinerungen
 blauer und grüner Ton (wie oben)
 Sphärosideritlager
 blauer und grüner Ton mit Muscheltrümmern
 grobes eisenschüssiges Konglomerat von Quarzit- und Schieferbrocken
 Serizitschiefer und Quarzit“.

Die genannten Fossilien belegen die Zugehörigkeit der blauen und grünen Tone zum Cyrenenmergel.

Als am höchsten gelegene Äquivalente des Cyrenenmergels sind die Tone vom Nothgotteskopf anzusehen. 1882 wurden hier Braunkohle und Alaun gemutet; in einer schwefelkiesreichen Tonfolge wurden zwei Braunkohlenflöze ermittelt. Die kohligen Tone einer noch vorhandenen Halde (bei R 34 22 48, H 55 41 99) haben ein oberoligozänes (weniger wahrscheinlich: mitteloligozänes) Alter

(EHRENBERG et al. 1968: 71–72). Ganz oben soll der Ton kleine, aber ziemlich häufige, bröckelige Kalkkonkretionen enthalten haben (KINKELIN 1892: 220). Ehemalige Tonschächte sind noch erkennbar; kalkhaltiger Ton fand sich zumindest im Aushubmaterial bisher nicht.

Korrespondierend mit der Hochlage des Cyrenenmergels tritt bei Marienthal und Johannesberg der Obere Meeressand auf. Wie bei Frauenstein und Eltville kommt er in manchen Aufschlüssen unter oder verzahnt mit Cyrenenmergel vor. Dazu gehören u. a. die Formsande von Johannesberg, die zeitweilig in Gießereien in Geisenheim, ja sogar im Ausland, verwendet wurden. Die kleinen Gruben lagen zwischen Schloßheide und Dachsberg, zwischen Geisenheim und Marienthal sowie zwischen Marienthal und Johannesberg.

Im Ebental N Rüdeseim sind glimmersandige Mergel bekannt geworden, die wohl dem Schleichsand entsprechen (WAGNER & MICHELS 1930: 53). Sie liegen in 310 m über NN deutlich höher als Äquivalente bei Geisenheim. Zwischen Geisenheim und Johannesberg kommen bei 150 m über NN im Gebiet Theilers, Platte, Mückenberg, Altbaum, Decker und Kilzberg Kalksandstein und Kalkbänke mit Blattabdrücken vor. Hält man sie für altersgleich den pflanzenführenden Sanden am Schimmerich, muß man davon ausgehen, daß den bei Schierstein unter Rheinniveau liegenden Schleichsanden entsprechende Bildungen bei Geisenheim fast 80 m höher liegen, im Ebental sogar 240 m höher.

Unterhalb der 150-m-Linie bis unter Rheinniveau (s.o.) ist etwa ab Oestrich Rupelton verbreitet, meist aber von jungen Deckschichten verhüllt. Die westlichsten Rupeltonvorkommen liegen in Rüdeseim. Vermutlich gehören die sandigen Tone an der Niederwaldstraße dazu, die LEPPLA (1903) kartierte. Ebenso die schwach sandigen Tone, die unter dem Gelände der Stützpunktfeuerwehr (R 34 23 59, H 55 38 68) unter rund 7 m Quartär erbohrt worden sind, während am daneben gelegenen Polizeikommissariat (R 34 23 50, H 55 38 62) unter Quartär sofort Unterdevon folgt.

Benachbart dem Rupelton kommt der Geisenheimer Untere Meeressand auf dem Rotenberg vor. Gleich dem Kaolin hat er sich zwischen den Quarzitrücken des Rotenbergs und des Gebsteins erhalten, wo er vor Abtragung geschützt lag (PINKOW 1953, KÜMMERLE 1978, hier weitere Literaturangaben).

Innerhalb der dargestellten, unterschiedlich herausgehobenen Gebietsstreifen sind jeweils die nördlichen, gebirgsnäheren Abschnitte gegenüber den südlichen, rheinnahen, stärker gehoben. Dadurch werden örtlich die älteren tertiären Schichtglieder in höherer Lage gefunden als die jüngeren. Diese Tatsache erwähnt KOCH (1876–77: 82) und erklärt sie mit einer langsamen Hebung des Gebietes während des Bestehens des Mainzer Beckens. Tatsächlich sind hangparallele Störungen, die etwa SW–NE, spitzwinkelig zum Rheinlauf zwischen Schierstein und Rüdeseim, auf den geologischen Blättern Bingen-Rüdeseim, Eltville und Wiesbaden meist als vermutet dargestellt sind, in ihrem Verlauf schwer oder kaum erkennbar. Relativ gut zeichnen sie sich dort ab, wo Tertiärschichten gegen Taunusgesteine verworfen sind wie am Rotenberg, in Kiedrich, E Martinsthal oder bei Dotzheim. Die Existenz solcher SW-NE- bis WSW-ENE-Linien läßt sich gut mit der Vorstellung eines „Mainz-Binger Grabens“ (WAGNER 1962: 28) vereinbaren.

Die Verfolgung weiterer Tertiäraufschlüsse im Rheingau wird es ermöglichen, die in den geologischen Blättern angenommenen Verwerfungen in ihrem Verlauf zu präzisieren.

3. Mögliche Schlüsse aus dem Nivellement

Zur Beurteilung, ob die aus dem geologischen Bild zu postulierenden Vertikalbewegungen noch andauern, wurden Messungen des Nivellements den Rhein entlang herangezogen. Die Daten stellte freundlicherweise ERNST SCHWARZ, Wiesbaden, zusammen. Es wurden die Meßwerte von 1948 und 1968, beim Abschnitt Hochheim – Schierstein zusätzlich die von 1980 verglichen.

Die Messungen von 1968 ergaben gegenüber den Meßwerten von 1948 generell andere, örtlich sogar drastisch verschiedene Werte. Zwischen Hochheim und Aßmannshausen kann im Schnitt von einer Absenkung von 5–15 mm ausgegangen werden, d. h. von einer jährlichen Senkung zwischen 0,25 und 0,75 mm. Im Abschnitt Kostheim – Schierstein aber beträgt die Absenkung 25–52 mm oder 1,25–2,60 mm pro Jahr, mit offensichtlich zunehmender Tendenz, denn die Messungen von 1980 erbrachten Differenzen gegenüber 1968 von 1–44 mm, d. h. Senkungen zwischen 0,1 und 3,7 mm pro Jahr. Auf die Beschleunigung der Senkung im Raum Kastel haben schon LUX & SCHWARZ (1980: 50) hingewiesen: es werden sogar Absenkungen von 12 mm pro Jahr angenommen.

Der Gebietsstreifen mit dieser auffälligen Senkungstendenz entspricht etwa dem Verbreitungsgebiet des Miozäns den Rhein entlang und liegt zwischen den beiden relativ wenig veränderten Gebieten von Hochheim im E (Höhenwertänderung 1948–1968 5–8 mm) und Walluf im W (10–12 mm).

Von Niederwalluf bis Geisenheim erstreckt sich ein Gebiet relativ gleich starker Senkung von 10–12 mm zwischen 1948 und 1968. Nur fünf Punkte in Erbach, Hattenheim, Mittelheim und Winkel ergaben höhere Werte: hier mag die Bebauungsdichte von Einfluß sein.

Im Bereich Rüdesheim–Aßmannshausen deutet sich wider Erwarten verstärkte Absenkung an mit Werten bis 19 mm Differenz zwischen 1948 und 1968. Im Nivellement läßt sich also, was die Zeit seit 1948 anbetrifft, eine Hebung der Felsenstrecke des Rheins nicht nachweisen, eher stärkere Absenkung.

Die rheinufernahe Anordnung der Meßpunkte läßt daran denken, daß schwankende Rheinwasserstände Ursache der Vertikalbewegung sein könnten. Dankenswerterweise teilte die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mainz die Wasserstände von 1948 und 1968 mit.

1948 wurde das Nivellement zwischen Kostheim und Aßmannshausen zwischen Mai und September gemessen. Der Jahresdurchschnitt lag am Pegel Mainz bei 314, am Pegel Bingen bei 219 cm. Von 244 cm im Mai stieg der Pegel Mainz auf 443 im Juli und sank bis September auf 298 cm. Analog stieg der Pegel Bingen von 158 im Mai auf 334 cm im Juli und sank bis September auf 200 cm.

Die Wiederholungsmessungen von 1968 wurden im September und Oktober ausgeführt. Der Jahresdurchschnittswert am Pegel Mainz von 348 und am Pegel Bingen von 256 war wesentlich höher als der von 1948. Im September zeigte der Mainzer Pegel 409, der Binger 311 cm gegenüber 298 und 200 im Vergleichsmonat 1948.

Daraus geht hervor, daß die Rheinwasserstände bei der Messung 1948 deutlich niedriger waren als bei der Wiederholungsmessung 1968. Wenn also eine Beeinflussung der Meßpunkte erfolgt wäre, so könnte sie nur der festgestellten Absenkung entgegengewirkt, keinesfalls sie verursacht haben.

4. Zusammenfassung

Der Rheingau (i.w.S.) zwischen Flörsheim und Rüdesheim läßt sich von E nach W in unterschiedlich herausgehobene Gebietsstreifen gliedern. Diese grenzen an

NW-SE und SSW-NNE (rheinisch) gerichteten Störungslinien aneinander (Abb. 1). Ausgehend von der – abgesehen vom zentralen Rheingraben bei Flörsheim – am stärksten abgesenkten Jungtertiärscholle von Wiesbaden, ist sowohl nach E als auch nach W zunehmende Heraushebung erfolgt. Das Ausmaß der Hebung ist sowohl im MW des Rheins als Bezugsniveau als auch an der Höhenlage des Cyrenenmergels über NN abschätzbar. Dazu wurden neuere, biostratigraphisch untersuchte Cyrenenmergelaufschlüsse ausgewertet.

In Richtung auf den Rheindurchbruch durch den Taunusquarzit bei Rüdeshcim heben sich die älteren Schichtglieder Rupelton und Unterer Meeressand und schließlich Taunusgesteine stufenförmig über das Erosionsniveau des Rheins heraus.

Aus den Wiederholungsmessungen des Nivellements läßt sich nicht im einzelnen nachweisen, daß die aus dem geologischen Bild zu folgernden sehr unterschiedlichen Vertikalverstellungen in der Gegenwart fortdauern. Bemerkenswert ist, daß der tektonisch relativ am stärksten abgesenkte Wiesbadener Gebietsstreifen auch derzeit noch oder wieder das Gebiet mit der stärksten Senkung ist, wobei hier nur die Tatsache ohne Deutung genannt wird. Nicht bestätigen läßt sich etwa stärkere Hebung der Felsenstrecke unterhalb Rüdeshcim gegenüber den zum tertiären Mainzer Becken gezählten Gebietsteilen, jedenfalls nicht, was die Zeit nach 1948 und die hier zur Verfügung stehenden wenigen Meßdaten anbetrifft.

5. Schriftenverzeichnis

- ANDERLE, H.-J. (1974): Block Tectonic Interrelations between Northern Upper Rhine Graben and Southern Taunus Mountains. – Approach. Taphrogenes., Sci. Rep. 8: 243–253, 1 Kt.; Stuttgart (Schweizerbart).
- BOETTGER, O. (1875): Über die Gliederung der Cyrenenmergelgruppe im Mainzer Becken. – Ber. senckenb. naturf. Ges., **1873–74**: 50–102; Frankfurt a. M.
- CISSARZ, A. (1921): Ein neuer Fundpunkt von Meeressand am Südrand des Taunus. – Senckenbergiana, **3**: 53–55, 1 Abb.; Frankfurt a. M.
- EHRENBERG, K.-H., KUPFAHL, H.-G., & KÜMMERLE, E. (1968): Geologische Karte von Hessen 1: 25 000, Bl. Nr. 5913 Presberg, m. Erl., 201 S., 22 Abb., 9 Tab., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- FELKEL, K. (1961): Strombau-Geschichte der Binger-Loch-Strecke des Rheins. – Beitr. Rheinkde., **2**, F., **12**: 26–44, 6 Abb.; Koblenz.
- HERBST, G. (1856): Mittheilung an Geheimenrath von Leonhard. – N. Jb. Mineral. etc., **1856**: 167–168; Stuttgart.
- KANDLER, O. (1971): Die pleistozänen Flußterrassen im Rheingau und im nördlichen Rheinhessen. – Mainzer naturwiss. Arch., **10**: 5–28, 1 Tab., 1 Kt.; Mainz.
- KARSCHNY, A. (1965): Cerithien-Schichten am Hochheimer Berg (Miozän des Mainzer Beckens, Wiesbaden). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **93**: 341–345; Wiesbaden.
- & KÜMMERLE, E. (1965): Ein fossilführendes Cyrenenmergel-Profil bei Hochheim am Main. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **93**: 338–340; Wiesbaden.
- KINKELIN, F. (1892): Die Tertiär- und Diluvial-Bildungen des Untermainthales, der Wetterau und des Südrandes des Taunus. – Abh. geol. Spec.-Kt. Preußen u. thür. Staat., **9**: 4: 1–302, 12 Abb., 2 Kt.; Berlin.
- KLEIN, H.-A. (1974): Der Ausbau des Rheins im Rheingau und in der Gebirgsstrecke. – Beitr. Rheinkde., **26**: 24–36, 11 Abb.; Koblenz.
- KOCH, C. (1876–77): Beitrag zur Kenntnis der Ufer des Tertiär-Meeres im Mainzer Becken. – Ber. senckenb. naturf. Ges., **1876–77**: 75–93; Frankfurt a. M.

- (1880): Geologische Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten, Bl. Eltville, m. Erl., 59 S.; Berlin.
- KÜMMERLE, E. (1978): Unterer Meeressand und Kaolin am Rotenberg bei Geisenheim am Rhein. – Geol. Jb. Hessen, **106**: 147–158, 1 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- & SEMMEL, A. (1969): Geologische Karte von Hessen 1: 25 000, Blatt Nr. 5916 Hochheim am Main, m. Erl., 3. Aufl., 209 S., 19 Abb., 17 Tab., 2 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- LEPPLA, A. (1903, 1904): Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Lfg. **111**, Blatt Pressberg-Rüdesheim, m. Erl., 68 S.; Berlin.
- & STEUER, A. (1922, 1923): Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Lfg. **15**, Blatt Hochheim-Raunheim, m. Erl., 64 S.; Berlin.
- – (1971): Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Nr. 5915 Wiesbaden, m. Erl., 3. Aufl., 4 u. 52 S.; Wiesbaden.
- LEPSIUS, R. (1883): Das Mainzer Becken. – 181 S., 1 Kt.; Darmstadt.
- LUX, P., & SCHWARZ, E. (1980): Höhenwertänderungen im Raum Kastel – Mainz. – Tagungsführer 64. Deutscher Geodätentag Wiesbaden: 50–51, 1 Abb.; Wiesbaden.
- MEHLHORN, H., & THEWS, J.-D. (1974): Die Gestalt des Grundwasserleiters im Bereich des Wasserwerkes Wiesbaden-Schierstein. – Wiss. Ber. Stadtwerke Wiesbaden, **2**: 65–67, 2 Abb.; Wiesbaden.
- MICHEL, F. (1972): Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Nr. 5914 Eltville a. Rh., 3. Aufl., m. Erl., 4 u. 79 S., 2 Abb.; Wiesbaden.
- & WIESNER, E. (1968): Ein Grenzprofil Inflata-Hydrobienschichten im Dyckerhoff'schen Steinbruch am Hambusch, südsüdöstlich Wiesbadens. – Jb. nass. Ver. Naturkde., **99**: 22–26, 1 Abb.; Wiesbaden.
- MORDZIOL, C. (1911): Geologischer Führer durch das Mainzer Tertiärbecken. – Slg. geol. Führer, **16**, 167 S., 39 Abb.; Berlin (Borntraeger).
- PICHL, K. (1961): Die Verbesserung des Schiffahrtsweges in der Binger-Loch-Strecke. – Beitr. Rheinkde., 2. F., **12**: 45–59, 13 Abb.; Koblenz.
- PINKOW, H.-H. (1953): Eine neue Fundstelle von Fossilien des Meeressandes (Unteres Mitteloligozän) am Nordhang des Rothenberges bei Geisenheim. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **81**: 199–205, 2 Abb.; Wiesbaden.
- REINACH, A. v. (1890): Das Bohrloch im neuen Wiesbadener Schlachthaus. – Jb. nass. Ver. Naturkde., **43**: 33–38; Wiesbaden.
- SANDBERGER, F. (1863): Die Conchylien des Mainzer Tertiärbeckens. – 458 S., 1 Tab., 35 Taf.; Wiesbaden (Kreidel).
- SANDBERGER, G. (1857): Geognostisch-paläontologische Notizen. – Jb. nass. Ver. Naturkde., 1. F., **12**: 402–403; Wiesbaden.
- SCHMELZEIS, J. P. (1881): Rüdesheim im Rheingau von seinen Anfängen bis zur Gegenwart. – 228 S., Rüdesheim. [Neudruck Wiesbaden (Sändig) 1974].
- SONNE, V. (1958): Obermitteloligozäne Ablagerungen im Küstenraum des nordwestlichen Mainzer Beckens (mit besonderer Würdigung des „Zeilstücks“ bei Weinheim/Rhh.). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **86**: 281–315, 9 Abb.; Wiesbaden.
- STEUER, A. (1903): Geologische Beobachtungen im Gebiet der alten Mündungen von Main und Neckar in den Rhein. – Notizbl. Ver. Erdkde. großh. geol. L.-Anst. Darmstadt, (IV) **24**: 17–37; Darmstadt.
- (1910): Kurze Beschreibung des Tertiärs im Mainzer Becken und Führer für vier Exkursionstage. – Notizbl. Ver. Erdkde. großh. geol. L.-Anst. Darmstadt, (IV) **31**: 34–62, Taf. 1–8; Darmstadt.
- STRUCK, W. H. (1977): Alte Karten vom Rhein zwischen Walluf und Bingen. – Ann. nass. Gesch. Altertumskde., **88**: 53–102, 3 Taf.; Wiesbaden.
- THEWS, J.-D. (1974): Die hydrogeologischen Verhältnisse im Einzugsgebiet und Infiltrationsgelände des Wasserwerks Schierstein. – Wiss. Ber. Stadtwerke Wiesbaden, **2**: 55–63, 4 Abb.; Wiesbaden.
- WAGNER, W. (1931): Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Ober-Ingelheim, m. Erl., 118 S.; Darmstadt.
- (1933): Die Schollentektonik des nordwestlichen Rheinhessen. – Notizbl. Ver. Erdkde. hess. geol. L.-Anst. Darmstadt, (V) **14**: 31–45, Taf. 1; Darmstadt.

- (1961): Der Rheintalgraben zwischen Mainz und Bingen. – Z. dt. geol. Ges., **112**: 591–592; Hannover.
- (1962): Der Rhein im Rheintalgraben und im Mainzer Becken. Eine Schiffsreise von Karlsruhe nach Bingen. – Beitr. Rheinkde., **14**: 22–34, 1 Abb.; Koblenz.
- & MICHELS (1930): Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Bingen-Rüdesheim, m. Erl.; 167 S., 3 Taf.; Darmstadt.

Manuskript eingegangen am 9. 2. 1982

Mineralogisch-geochemische Untersuchungen der Verwitterungsvorgänge in Tonsteinen der Oberen Röt-Folge (Rhön)

Von

KLAUS GRONEMEIER, WOLFGANG FRESSEL, ASAF PEKDEGER,
DIETMAR SCHENK und ANDREAS WINKLER*

Kurzfassung: Verwitterungsvorgänge in Tonen der Oberen Röt-Folge (Bunte Tonsteinschichten; so Röo,t) in der Westrhön wurden mineralogisch, geochemisch und hydrochemisch untersucht. Zum Vergleich zu oberflächennahen verwitterten Tonen wurden stratigraphisch horizontierte Tonsteine bis 50 m Tiefe herangezogen.

Der Anteil der Tonfraktion nimmt im Untersuchungsmaterial zur Oberfläche hin zu; das Tonmineralspektrum ist durch die Hauptkomponenten Illit, Corrensit und Chlorit gekennzeichnet. Der relative Corrensit-Anteil in der Gesamtonfraktion nimmt mit zunehmendem Verwitterungseinfluß ab.

Die Verfügbarkeit der kationischen Bestandteile wurde durch die Bestimmung der Bindungsformen geochemisch quantifiziert. Durch selektive Extraktionsverfahren wurden die Mobilität und die Verfügbarkeit der wichtigsten Kationen bestimmt. Thermodynamische Untersuchungen der Gleichgewichtsporenlösungen mit Hilfe eines Computer-Modells (WATEQF) sowie Element-Korrelationsanalysen mit der Mikrosonde bestätigen weitgehend die mineralogisch-geochemischen Ergebnisse.

Diese kombinierte Untersuchungsmethodik erlaubt somit die Stabilität relevanter Minerale und Elemente innerhalb eines Verwitterungsprofils zu erfassen.

[Mineralogical and geochemical investigations of weathering processes in consolidated clayey sediments (Upper Bunter, Western Rhön, Germany)]

Abstract: Weathering processes in clayey sediments (Upper Bunter, Lower Triassic) in the Western Rhön (Germany) have been studied by mineralogical geochemical and hydrogeochemical methods. Consolidated clayey sediments of the weathering zone and of a 50 m profile were investigated.

The clay fraction increases in the weathering zone. The main clay minerals are illite, corrensite and chlorite. The relative corrensite content decreases due to weathering in the nearsurface sediments.

The mobility of the main cation elements were quantified by geochemical analysis. Using selective extraction methods the availability and fixation of the investigated elements have been studied. The pore water chemistry in relation to the mineral phase were compared with the geochemical analysis using thermodynamical computer-models (WATEQF). Combined with microprobe correlation analysis it was possible to determine the stability of the main minerals and elements in the weathering profile.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	118
2. Untersuchungsmaterial	118
3. Tonmineralspektrum	120

* Dr. K. GRONEMEIER, NAGRA, Parkstr. 23, CH-5401 Baden. Dipl.-Geol. W. FRESSEL, Dr. A. PEKDEGER, cand. geol. D. SCHENK, cand. geol. A. WINKLER, Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Universität Kiel, Olshausenstr. 40/60, 2300 Kiel.

4. Geochemische Phasendifferenzierungen	122
4.1. Adsorbierte Phase	122
4.2. Leicht reduzierbare Phase	123
4.3. Schwer reduzierbare Phase	124
4.4. Oxidierbare Phase der organischen Substanz	124
4.5. Karbonatische Phase	125
4.6. Schwer lösliche karbonatische Phase	125
4.7. Silikatische Phase	125
5. Porenwasser/Festschubstanz-Beziehung	126
6. Korrelationsanalysen mit der Mikrosonde	129
6.1. Si/Fe	130
6.2. Si/Ca	131
6.3. Ca/Fe	132
6.4. Ca/Mg	132
6.5. Fe/Mn	133
7. Ergebnis	133
8. Schriftenverzeichnis	135

1. Einleitung

Zusammenhänge zwischen dem mineralogisch-geochemischen Bestand und den Verwitterungsvorgängen in Peliten der Bunten Tonsteinschichten (so Röö,t) der Oberen Röt-Folge zwischen hangendem Muschelkalk und liegenden Quarzschichten (so Röö,q) werden in Verwitterungsprofilen der westlichen Rhön untersucht und mit unverwitterten Tonsteinen der Röt-Folge einer Tiefbohrung verglichen¹.

Diese ehemals überkonsolidierten, verwitterungsempfindlichen Festgesteine liegen jetzt in Oberflächennähe weitgehend entfestigt als bindige Lockergesteine vor. Ihr Verwitterungsverhalten wird durch deren prozentuale Zusammensetzung aus mineralischen, organischen Bestandteilen und Wasser sowie durch die physikalischen und chemischen Eigenschaften der beteiligten Mineral- und Zementationsphasen sowie den Wechselwirkungen zwischen ihnen gesteuert.

2. Untersuchungsmaterial

Das Untersuchungsmaterial wurde an 9 Punkten entlang eines 100 m langen Hangprofils bei Dietges, Bl. 5425 Kleinsassen, durch Entnahme von oberflächennahen Bodenproben sowie durch Nutproben bis 3 m Tiefe gewonnen. Die einnivellierten Probennahmepunkte ermöglichten die Erstellung lückenloser Vertikalprofile sowie den direkten Vergleich der Beschaffenheit von Oberflächenproben mit der von horizontalen Tiefen-(Nut-)proben. Insgesamt wurden die Bunten Tonsteinschichten somit in einem 23-m-Vertikalprofil beprobt. Zum Vergleich der oberflächennahen Proben aus der Verwitterungszone zu relativ unverwitterten Tiefenproben wurde eine 50 m tiefe Forschungsbohrung (Kernbohrung, Ø 101 mm) niedergebracht. Sie erschließt vom Hangenden zum Liegen-

¹ DFG-Schwerpunktprogramm „Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgesteinen“.

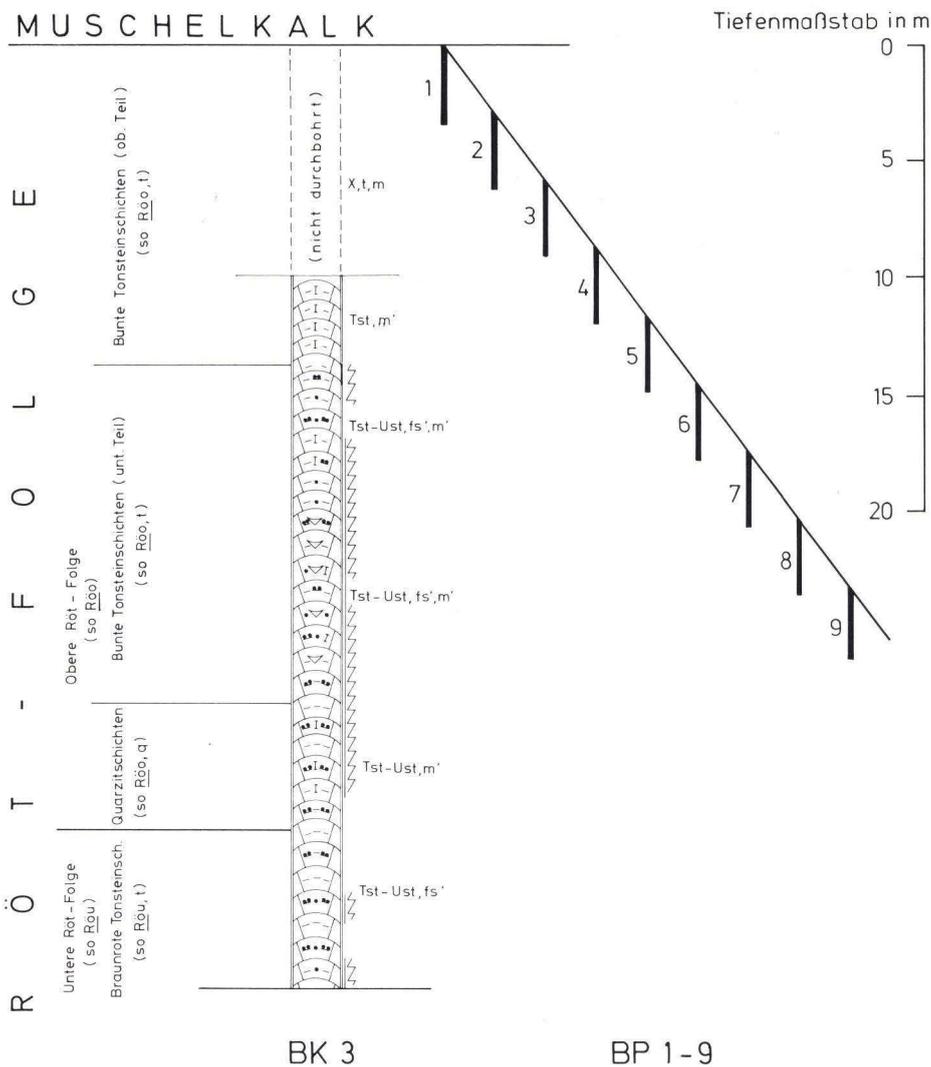


Abb. 1. Stratigraphische Einstufung und vertikale Korrelation des untersuchten Probenmaterials aus der Kernbohrung BK 3 und den Sondierbohrungen BP 1-9.

den unter 19,4 m Muschelkalk- und Röt-Schutt Sedimente der Bunten Tonsteinschichten (so Röö,t) der Oberen Röt-Folge bis in die Braunroten Tonsteinschichten (so Röu,t) der Unteren Röt-Folge. Die stratigraphische Abfolge (LAEMMLEN, 1966) mit Kennzeichnung der untersuchten Proben ist in Abb. 1 wiedergegeben.

Das Probenmaterial wurde für die Tonmineralanalyse quantitativ in die Fraktionen < 2 µm, 2-6, 3 µm, 6, 3-20 µm, 20-63 µm, >63 µm nach der ATTERBERG-

Methode getrennt, der Anteil $> 63 \mu\text{m}$ wurde zu Beginn naß abgesiebt. Die Korngrößen aus den 3 m tiefen Nutstangensondierungen (47 Proben) verteilen sich auf die in Tab. 1 dargestellten Fraktionen.

Tab. 1. Korngrößenverteilung der untersuchten Oberflächenproben
(\bar{x} = Arithmetrischer Mittelwert, s = Standardabweichung)

Äquivalent- durchmesser μm	Bezeichnung	\bar{x} (Gew.-%)	s
$< 2,0$	Ton	49,1	$\pm 7,91$
2,0 - 6,3	Fein-	18,5	$\pm 3,91$
6,3 - 20,0	Mittel-	17,7	$\pm 3,96$
20,0 - 63,0	Grob-	11,1	$\pm 4,21$
$> 63,0$	Sand	2,9	$\pm 1,76$

Von der Oberfläche bis zu 3 m Tiefe nimmt im gesamten Profil der Tongehalt um 7% ab, der Schluff- bzw. Sandgehalt entsprechend zu. Die Bodenbildung auf dem Verwitterungsprofil ist pedologisch als schwach entwickelter Ranker aus Ton zu klassifizieren.

3. Tonmineralspektrum

Das Tonmineralspektrum der Verwitterungsprofile zeigt als Hauptkomponenten Tonminerale der Illit-Gruppe, reguläre mixed-layer-Minerale (Corrensit) und Chlorit. Innerhalb der Tonfraktion nimmt Illit als Hauptkomponente relativ stark zur Oberfläche hin zu, während die mixed-layer-Tonminerale (Corrensit) relativ abnehmen. Der Chloritgehalt hingegen ändert sich nicht signifikant. Diese Ergebnisse sind nicht eindeutig zu erklären. Sicher ist, daß die relative Zunahme des Illit-Gehaltes an der Oberfläche durch Corrensit-Abnahme bewirkt wird. Illit wiederum ist neben Chlorit in Oberflächennähe nicht stabil (Abschn. 5).

Es ist also davon auszugehen, daß er sich in weiterer Umwandlung befindet. Eine genauere Aufklärung dieser Frage ist durch Untersuchung des Kristallinitätsgrades der Illite zu erwarten.

In Tab. 2 sind die Tonmineralspektren als Flächenprozentanteile des Röntgen-diffraktogramms der $< 2 \mu\text{m}$ Fraktion dargestellt. Die Proben 1/3 - 9/3 entsprechen den Probepunkten 1-9 mit ihren Tiefenproben bis jeweils 3 m (Abb. 1).

Tab. 2. Flächenprozentage der Tonminerale in der $< 2 \mu$ Fraktion in den Verwitterungsprofilen

Probe	Illit	m.layer	Chlorit	Probe	Illit	m.layer	Chlorit
1/3 ₀	76,3	17,0	6,7	5/3 ₀	76,5	13,8	9,7
1/3 _{0-1m}	73,4	21,1	5,5	5/3 _{0-1m}	44,5	41,8	13,7
1/3 _{1-2m}	59,3	31,5	9,5	5/3 _{1-2m}	48,2	45,2	6,6
1/3 _{2-3m}	45,0	45,7	9,3	5/3 _{2-3m}	66,9	25,0	8,1
2/3 ₀	70,7	20,8	8,5	6/3 ₀	55,6	36,7	7,7
2/3 _{0-1m}	48,7	45,4	5,9	6/3 _{0-1m}	70,3	22,6	7,1
2/3 _{1-2m}	51,0	42,3	6,7	6/3 _{1-2m}	51,8	41,9	6,3
2/3 _{2-3m}	52,7	38,7	8,5	6/3 _{2-3m}	52,1	40,6	7,2
3/3 ₀	65,5	21,6	12,9	7/3 ₀	65,3	28,2	6,5
3/3 _{0-0,7m}	60,5	27,7	11,8	7/3 _{0-1m}	56,3	37,6	6,1
3/3 _{0,7-1m}	60,8	29,1	10,1	7/3 _{1-2m}	51,8	41,4	6,4
3/3 _{1-2m}	54,1	36,8	9,1	7/3 _{2-3m}	46,4	45,9	7,6
3/3 _{2-3m}	55,4	34,3	10,3	8/3 ₀	59,1	33,4	7,5
4/3 ₀	52,9	38,2	8,9	8/3 _{0-1m}	58,7	34,5	6,8
4/3 _{0-1m}	57,7	37,6	4,7	8/3 _{1-2m}	45,2	48,8	6,1
4/3 _{1-2m}	45,1	48,8	6,1	8/3 _{2-3m}	40,4	51,4	8,2
4/3 _{2-3m}	35,9	55,4	8,6	9/3 ₀	70,5	19,2	10,3
				9/3 _{0-1m}	55,2	37,3	7,5
				9/3 _{1-2m}	45,5	49,7	4,9
				9/3 _{2-3m}	48,8	45,9	5,2

1/3 etc. = Oberflächenproben

 1/3_{0-1m} etc. = Horizontierte Tiefenproben

4. Geochemische Phasendifferenzierungen

Die oberflächennahe chemische Verwitterung verändert den Elektrolytgehalt der Porenlösungen (ALBERTSEN et al. 1980), die mineralspezifische Kationenbelegung sowie die geochemische Mobilität der kationischen Bestandteile im Verwitterungsprofil (MATTHESS 1973).

Physikochemische Einflüsse in bindigen Gesteinen werden durch die Verfügbarkeit und Fixierung der kationischen Bestandteile gesteuert, die durch Bestimmung der Bindungsformen geochemisch quantifiziert werden können. Die Remobilisation dieser Kationen hängt ganz entscheidend von der jeweilig vorliegenden Bindungsform ab.

Durch selektive Extraktionsverfahren werden die Kationen spezifischen chemischen Phasen zugeordnet, die gleichzeitig einen Einblick in Abbau-, Aufbau- und Umbauvorgänge im Verwitterungsprofil ermöglichen.

4.1. Adsorbierte Phase

Tonminerale, aktive Fe-, Mn-Hydroxide und -Oxide und Huminstoffe können an äußeren und z. T. auch an inneren Oberflächen Wasser adsorbieren, das reversibel und selektiv an Kationen aus der Porenwasser-Elektrolyt-Lösung angereichert ist und mit dem Porenwasser in einer Austauschbeziehung steht. Der Austausch erfolgt in äquivalenten Mengen.

Die Lage des Verteilungsgleichgewichtes zwischen Austauscher und Lösung hängt von der Austauschkapazität und der Haftfestigkeit der Kationen sowie vom Mengenverhältnis und der Konzentration der Kationen in der Porenlösung ab. Die potentielle Kationenaustauschkapazität (KAK) und die Ionenbelegung wurden nach MEHLICH (1948) mit einer SrCl_2 -Triäthanolamin-Lösung bei pH 8,1 bestimmt, der Rücktausch mit BaCl_2 -Lösung. Die KAK des Gesteins im beprobten Profil liegt zwischen 100 und 400 mmol Äquivalentmasse/kg und nimmt zur Tiefe bis auf 50% ab. Die KAK steigt an mit wachsendem Kornanteil $< 2 \mu\text{m}$ und mit fallendem Kalkgehalt ab ca. 20 Gew.-% bis 0 Gew.-% CaCO_3 (Abb. 2). Die Basensättigung beträgt generell 100%, selten sind H-Ionen in Oberflächenproben eingetauscht. Calcium ist an der Basensättigung zwischen 60 und 99% vertreten. Der austauschbare Calciumanteil steigt bei der Verwitterung durch Karbonatlösung von ca. 5% des Gesamtgehaltes des Gesteins an Calcium in Tiefenproben bis auf 90% in Oberflächenproben. In den Gips führenden Bunten Tonsteinschichten (so Röö,t) ist in der Tiefbohrung ab 31 m unter GOK Calcium zwischen 30 und 60% in der leichtlöslichen und adsorbierten Phase vertreten. Magnesium ist oberflächennah bis zu 7%, in größeren Tiefen bis 30% der Basensättigung vorhanden; Na, K, Fe und Mn kommen meist nur in kleinen Mengen vor, selten bis zu 10%.

Gleichgewichtsverschiebungen in der austauschbaren Phase treten infolge der leichten Verfügbarkeit der Kationen besonders bei Perkolationsvorgängen in der Bodenlösung und bei Änderungen des Wassergehaltes auf.

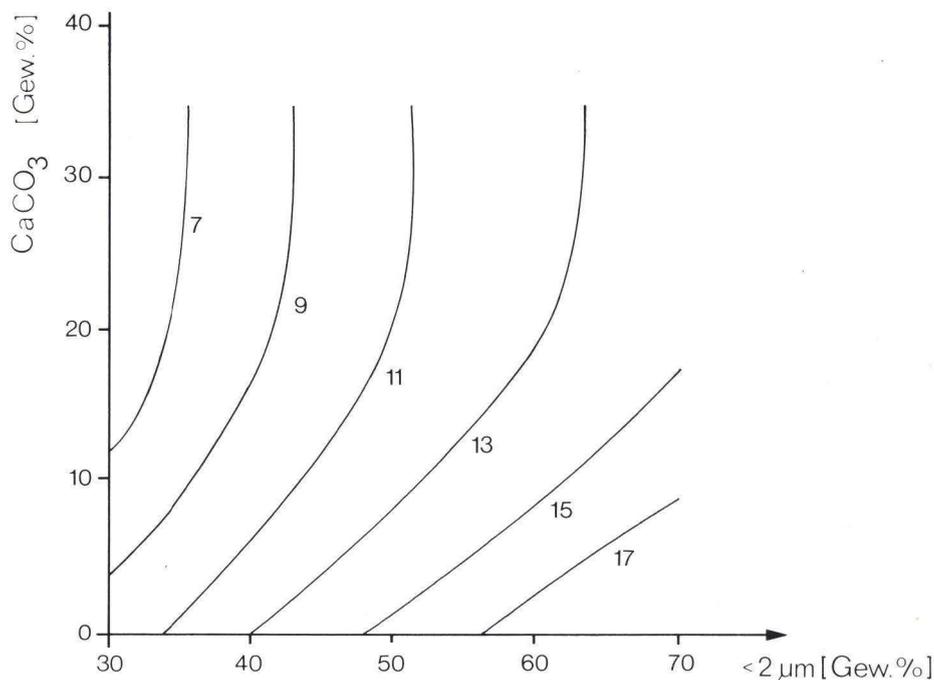


Abb. 2. Isolinien der Kationenaustausch-Kapazität (mmol Äquivalentmasse/100 g).

4.2. Leicht reduzierbare Phase

Prozesse der Verwitterung und Mineralneubildung in früheren Verwitterungszyklen haben in Sedimenten sekundäre Minerale angereichert. Rezente Umwandlungsvorgänge lassen aus Endprodukten der Silikatverwitterung Oxide und Hydroxide des Si, Al, Fe und Mn entstehen. Hier werden nur Fe und Mn erfaßt, die als Gel bzw. Sol oder durch Transformationsprozesse bei alkalischer bis schwach saurer Reaktion als amorphe bis parakristalline (dann $< 2 \mu\text{m}$) Hydrate im Oberboden vorliegen. Eisen-(III)-Hydroxide $[\text{Fe}(\text{OH})_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}]$ (Ferrihydrit) und Mangan-(III)-Hydroxide $[\text{Mn}(\text{OH})_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}]$ bilden Umhüllungen anderer Minerale, Bindemittel von Mineral- und Bodenaggregaten, Konkretionen und Einzelminerale. Da Fe und Mn hier nicht im Silikatgitter gebunden sind und nicht kristallin vorliegen, werden sie als freies aktives Eisen und Mangan bezeichnet. Sie sind durch pH-Eh-Verschiebungen im Jahreszyklus leicht zu mobilisieren. Die Translokation in den tieferen Untergrund erfolgt als Sol und in Form metallorganischer Komplexe, die dortige Immobilisierung durch Koagulation der Sole, die bei Alterung irreversibel verlaufen kann sowie durch mikrobiellen Abbau der chelatbildenden organischen Substanzen.

Die schwachgebundene, leicht reduzierbare Phase wird durch saure NH_3 -Oxalatlösung bei pH 3,25 selektiv extrahiert (SCHWERTMANN 1964). Durch Komplexbildung (Chelatkomplexe) werden die freien aktiven Fe- und Mn-Verbindungen bei Dunkelheit in Lösung gebracht. Miterfaßt werden die schwachorganisch gebundenen Anteile dieser Elemente. In Lösung gehen noch Kalium aus den aufgeweiteten Randzonen der Illit-Gitterzwischenräume und relativ hohe Mg-Anteile aus den Mg-reichen, relativ leicht löslichen Magnesium-Mischkarbonaten (Oxalat-Lösungsselektivität). Dieser Magnesium-Mischkarbonatanteil schwankt sehr stark in den verwitterten Oberflächenproben zwischen 30 und 1600 mmol/kg. In den Tiefenproben sind diese Gehalte relativ konstant und hoch. Magnesium erweist sich daher als empfindlicher Indikator für den Grad der Verwitterungsintensität in Röt-Tonen. Fe und Mn liegen oberflächennah in Konzentrationen zwischen 30 und 150 bzw. 6 und 33 mmol/kg (hangaufwärts abnehmend) vor, in der Tiefe zwischen 10 und 20 bzw. 1 und 10 mmol/kg.

4.3. Schwer reduzierbare Phase

Durch Alterung gehen die amorphen bis parakristallinen Fe-(III)- und Mn-(III)-Hydroxide in die kristallinen Eisen- bzw. Mangan-Oxidhydrate Goethit (α -FeOOH) bzw. Manganit (γ -MnOOH) sowie in oxidische Formen über.

Diese Phase wird bei pH 7,3, gepuffert durch Natriumhydrogenkarbonat, mit Natriumcitrat-Lösung extrahiert und durch Natriumdithionit-Lösung reduziert (MEHRA & JACKSON 1960, HOLMGREN 1967). Bei dieser Behandlung werden Fe-haltige Tonminerale nicht erfaßt. Gehalte an kristallinen Eisenoxidhydraten und -oxiden liegen im gesamten Profil zwischen 40 und 500 mmol Fe/kg, wobei zur Oberfläche hin die Gehalte im Gegensatz zum freien aktiven Eisen kleiner werden. Manganoxidhydrate sind nur untergeordnet vertreten.

Insgesamt erfordert also die Mobilisierung dieser Fraktion langzeitige Verwitterungsprozesse.

4.4. Oxidierbare Phase der organischen Substanz

Tonminerale, Feststoffphasen, Huminstoffe und Zwischenprodukte der Humifizierung können in organo-mineralischen Mischkoagulaten miteinander gekoppelt sein. Die organischen Komponenten werden mit H_2O_2 (30%) in der Hitze oxidiert und durch Weiterbehandlung mit Dithionit- und Citratlösung Fe und Mn in Lösung gebracht (mod. nach JACKSON 1958).

Diese Gehalte nehmen mit größeren Schwankungen zur Tiefe hin ab. Die in organischer Bindung vorliegenden Kationen sind je nach ihrer Bindungsintensität unterschiedlich verfügbar. Der Gehalt an gesamter organischer Substanz, bestimmt als organischer Kohlenstoff, beträgt 0,1 – 2,4 Gew.-% ($\bar{x} = 0,54$; $s = \pm 0,65$) in den Verwitterungsproben. In den unverwitterten Tiefenproben sinkt er unter 0,03 Gew.-% (Coulometrische Bestimmung).

4.5. Karbonatische Phase

Die leichtlöslichen Karbonate (Ca, Mg, Fe, Mn) werden selektiv mittels Monochloressigsäure gelöst (GAULT & WEILER 1955).

Die essigsäurelösliche Fraktion ist geochemisch leicht verfügbar. Die Ca-Werte schwanken in Oberflächennähe stark zwischen 2 und 3000 mmol/kg und liegen in der Tiefe in der Regel über 1000 mmol/kg. Bei den Mg-Werten ist die gleiche Tendenz auch in der absoluten Menge vorhanden. Fe-Karbonate werden bis 30 mmol/kg gelöst, Mn-Hydrogenkarbonate bis 10 mmol/kg. Das Ca/Mg-Verhältnis bis 3 m Tiefe streut sehr stark zwischen 0,4 und 63,1 ($\bar{x} = 4$; $s = \pm 8,6$) ohne erkennbare horizontale oder vertikale Trendverteilung; von 3–50 m Tiefe liegt die Streuung nur noch zwischen 1,2 und 4,9 ($\bar{x} = 2,0$; $s = \pm 1,5$).

Der mittlere Kalkgehalt, der durch Infrarot-Spektroskopie ermittelt wurde, beträgt oberflächennah 2,14 Gew.-% ($s = \pm 3,71$) und nimmt von der Erdoberfläche bis 50 m Tiefe auf ca. 15 Gew.-% (max. 45%) zu. Mit wachsender horizontaler Entfernung vom hangenden Muschelkalk wird der Kalkgehalt als Folge zunehmender Verwitterung geringer.

4.6. Schwer lösliche karbonatische Phase

Im Anschluß an die Monochloressigsäurebehandlung wird mit 0,1 m Salzsäure bei 80°C während mehrerer Stunden (mod. nach MAXWELL 1968) die Restkarbonatphase, vor allem die Mischkarbonate wie Ankerit (Ca, Fe) $(\text{CO}_3)_2$ und (Ca, Mn) $(\text{CO}_3)_2$, gelöst. Die Verfügbarkeit dieser Karbonate ist sehr gering. Durch Hydrolyse und H^+ -Ionen-Angriff werden sie in lösliche Formen überführt. Die schwerlöslichen Karbonate sind in ihrer Konzentrationsverteilung im Horizontal- wie im Vertikalprofil der Verwitterungszone mit unregelmäßigen Schwankungen gleich. Die Ca-Gehalte liegen zwischen 1 und 30 mmol/kg, Mg zwischen 200 und 500 mmol/kg, Fe zwischen 60 und 160 mmol/kg und Mn zwischen 1 und 2 mmol/kg. In den Tiefenproben liegen diese Werte konstant an den oberen Konzentrationswerten, Eisen dagegen bei dem angegebenen Minimalwert. In dieser Extraktionsphase werden auch Gitterstrukturen von Tonmineralen angegriffen, aus denen Ionen teilweise gelöst werden können.

4.7. Silikatische Phase

Die nach den vorangegangenen Extraktionsschritten verbliebenen Reste werden mit Flußsäure-Perchlorsäure aufgeschlossen (HERRMANN 1975). Hierbei wird die silikatische Restsubstanz vollständig gelöst. Die dabei freigesetzten Kationen sind im Bodenmaterial am wenigsten mobil. Ihre Freisetzung hängt von der Verwitterungsstabilität der Minerale und von deren strukturellem Aufbau ab. Ihre Verfügbarkeit ist in geologischen Zeiträumen zu messen. Innerhalb der silikatisch gebundenen Kationen geht Na relativ am leichtesten in Lösung.

Neben geringen, fast konstanten Mengen an Ca (ca. 40 mmol/kg) tritt aus den Silikatgittern Mg bis 4000 mmol/kg auf, aus den Zwischenschichten der Illite K mit Maximalwerten bis 1300 mmol/kg, Natrium bis 150 mmol/kg, Fe bis 1100 mmol/kg und Mn bis 10 mmol/kg.

5. Porenwasser/Festschubstanz-Beziehung

Um weitergehende Aussagen über die Lösungstendenz des Boden- bzw. Niederschlagwassers auf den Mineralbestand des Untergrundes zu erhalten und Ausfällungen oder Mineralneubildungen zu erfassen, wurden tiefenabhängig die thermodynamischen Gleichgewichtssysteme Sickerwasser bzw. Porenelektrolyt zu Mineralbestand berechnet. Die Vielzahl der Ionen und Komplexe in einem Sicker- oder Grundwasser und die ebenfalls große Zahl an Mineralen, mit denen das Wasser reagieren kann, setzt für die thermodynamischen Gleichgewichtsberechnungen den Gebrauch von Computern voraus. Mit dem hierfür durch TRUESDELL et al. (1974) und PLUMMER et al. (1976) entwickelten WATEQF-Programm sind Modellrechnungen der Sättigungszustände von Grund- und Sickerwässern gegenüber 191 Mineralen in einem iterativen Verfahren möglich. Dies erfordert vollständige Wasseranalysen der Sicker- oder Grundwässer und/oder der Porenwässer aus den betreffenden Horizonten.

Die so gewonnenen Aussagen über etwaige Ungleichgewichte, die Hinweise auf Lösungs- oder Ausfällungs- bzw. Mineralneubildungstendenzen geben, werden durch die Analyse der Bindungsformen sowie durch tonmineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen (Röntgendiffraktometrie, Abschn. 3), Rasterelektronenmikroskop, Energy Dispersive Analysis of X-Rays (EDAX) und korrelative Mikrosondenuntersuchungen (Abschn. 6) überprüft.

Aus oberflächennahen Proben der Standorte 1/3 – 9/3 wurden zunächst Gleichgewichts-Bodenlösungen (GBL) hergestellt, d. h. Bodenlösungen, in denen die Kationenkonzentrationen nur durch Desorptionsvorgänge bestimmt werden. Zur Gewinnung der GBL werden Wasser-Boden-Gemische im Verhältnis 1:0,8 (ULRICH & KHANNA 1971) 24 h geschüttelt, um die H₂O-löslichen und desorbierbaren Ionen in Lösung zu bringen. Die Suspensionen werden anschließend mit Stickstoff bei 8 bar Überdruck durch einen Membranfilter gepreßt (Sartorius, 30 cm Ø, Porengröße 0,2 µm), und die so gewonnene klare Lösung wird auf die üblichen Wasserinhaltsstoffe sowie die gering konzentrierten Bestandteile Al, SiO₂, Fe, Mn, PO₄, F und Sr untersucht; ferner wurde die Temperatur, pH und Eh in situ gemessen (Tab. 3).

Der Sättigungsindex als ein Maß für den thermodynamischen Zustand eines Porenelektrolyts relativ zu dem Gleichgewicht mit den jeweiligen Mineralen wurde für ausgewählte, relevante Minerale mit Hilfe des Rechenprogrammes ermittelt und in Tab. 4 aufgelistet.

Es muß einschränkend erwähnt werden, daß derartige thermodynamische Berechnungen streng nur für solche Systeme gelten, die sich im chemischen Gleichgewicht befinden. Bei der Übertragung der Berechnungen auf natürliche

Tab. 3. Hydrochemische Analysen der Gleichgewichtsporenlösungen (angeführt ist jeweils eine typische Analyse)

Ort	Tiefe (m)	Temp.				Redoxp	Karb.H.	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁻⁻⁻	SiO ₂	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺⁺⁽⁺⁾	Mn ⁺⁺	Sr ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	F ⁻
		°C	pH	µS	mV																		
9/3	0,1	18	7,57	-	522	8,4	20,4	3,0	2,3				0,57	2,6	48,0	12,1	2,97	1,1	0,07	0,01	0,07	0,01	0,67
9/3u	0,5	18	7,8	-	500	6,4	11,5	1,6	0,2				0,01	1,7	36,2	7,7	1,8	0,8	0,1	0,01	0,07	0,01	0,7
9A	15,0	18	8,1	165	384	2,2	17,0	22,8	1,3				0,02	5,8	18,7	2,48	10,9	10,6	0,17	0,01	0,22	0,01	1,62
13A	16,5	18	8,1	125	422	3,4	2,5	2,3	0,4				0,05	4,1	13,1	5,05	3,58	2,88	0,32	0,01	0,08	0,01	0,74
15A	17,5	18	8,2	79	429	2,2	3,5	2,3	0,05				0,01	2,6	10,3	4,0	2,32	1,29	0,07	0,01	0,11	0,01	0,57
22A	22,3	18	7,9	365	424	3,9	255,6	1,7	0,6				0,07	4,0	63,5	46,1	7,2	14,3	0,01	0,01	1,06	0,01	6,6
24A	24,5	18	8,1	151	437	3,9	9,5	1,7	1,0				0,57	4,2	17,5	9,07	3,8	3,85	0,01	0,01	0,2	0,01	6,0
27A	27,5	18	8,0	238	459	4,5	12,3	1,7	1,1				0,08	4,3	20,0	10,8	3,8	7,4	0,45	0,01	0,55	0,01	6,4
42A	42,4	18	7,8	273	487	3,9	199,3	5,9	5,0				0,01	4,8	85,0	30,9	6,5	10,0	0,16	0,01	2,92	0,01	9,5
46A	47,0	18	8,0	240	452	4,5	39,9	3,1	2,9				0,01	5,5	27,5	10,3	10,7	6,9	0,28	0,01	1,06	0,01	12,2

Systeme müssen die Rechenergebnisse kritisch überprüft werden, da davon auszugehen ist, daß sich Gleichgewichte nur in den leicht löslichen Phasensystemen schnell einstellen können. Für andere Mineralspezies können jedoch geologische Zeiträume erforderlich sein.

Die Abstufungen zwischen „sehr stark – schwach gesättigt“ bzw. „sehr stark – schwach nicht gesättigt“ geben tendenziell die Stabilität bzw. Instabilität des betreffenden Minerals unter den herrschenden geochemischen Bedingungen wieder.

Die Ergebnisse der thermodynamischen Berechnungen bestätigen grundsätzlich die schon durchgeführten Bindungsform-Analysen: Quarz und dessen feinkristalline Varietät, Chalcedon i. w. S., sind bei den pH-Werten zwischen 7,4 und 7,8 schwach instabil. Zusammen mit kolloidal gelöstem SiO₂, das in seiner Löslichkeit theoretisch ph-unabhängiger als SiO₂-xx ist, enthalten die Porenlösungen bis 3,5 mg/l SiO₂.

Die Feldspäte sind unter den oberflächennahen Bedingungen instabil. Die Tonminerale Illit und Chlorit sind als Endprodukte der Silikatverwitterung selbst instabil, d. h. sind in weiteren Umwandlungen begriffen.

In der Gruppe der Karbonate fällt auf, daß die isomorphen Mischungen der Ca-, Fe-, Mn-, Mg-Karbonate z. T. instabil sind. Das Wasser ist mit Calcit im Horizontal- und Vertikal-Profilverlauf im allgemeinen im Gleichgewicht. Dies bedeutet, daß in den Röttonen genug Kalk vorhanden ist, um die Geochemie des Porenwassers durch Calcitlösung zu steuern. Die α- und γ- Varietäten der Al-Hydroxide und Hydrate sind bei den vorliegenden pH-Werten stabil. Ihre Lösung kann erst ionar bei pH < 5 erfolgen.

Tab. 4. Sättigungsindex für ausgewählte Minerale (berechnet für Gleichgewichtsporenlösungen der Tab. 3)

Probe	9/3	9/3u	9A	13A	15A	22A	24A	27A	42A	46A
Tiefe(m)	0,1	0,5	15,0	16,5	17,5	22,3	24,5	27,5	42,4	47,0
Mineral										
Quarz	-	-	+	+ -	-	+ -	+ -	- -	+ -	+ -
Chalcedon	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Si Gel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Albit	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Anorthit	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Calcit	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Aragonit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dolomit	-	-	- -	- -	- -	+	-	-	-	-
Anhydrit	- -	- -	- -	- -	- -	-	- -	- -	-	- -
Gips	- -	- -	- -	- -	- -	-	- -	- -	-	- -
Brucit	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Muskovit	- -	- -	-	-	-	-	-	-	-	-
Phlogopit	- - -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Illit	- -	- -	+ -	-	- -	+ -	-	+ -	+ -	+ -
Kaolinit	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Chlorit	- -	- -	- -	- -	- -	+	-	-	-	-
Ca Montmor.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Montmor.	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Gibbsit	- +	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Böhmite	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Al(OH) ₃	-	-	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Fe(OH) ₃	++	++	++	++	++	+	+	++	++	++
Magnetit	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Hämatit	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Goethit	++	+++	++	++	++	++	++	++	++	++
Mn(OH) ₃	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Mn(OH) ₂	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Manganit	- -	-	-	-	-	-	-	-	- -	-
Pyrolusit	- -	- -	-	-	-	- -	-	- -	- -	- -

$$\text{Sättigungsindex (SI)} = \log \left(\frac{\text{IAP}}{\text{KT}} \right)$$

IAP = Ionenselektivitätsprodukt

KT = Gleichgewichtskonstante, temperaturabhängig

(+) = gesättigt: +++ sehr stark, ++ mäßig, + schwach

(-) = nicht gesättigt: --- sehr stark, -- mäßig, - schwach

Die amorphen bis parakristallinen Oxihydrate-Hydroxide des Eisens liegen bei Eh-Werten von ca. 500 mV stabil vor, ebenso die kristallisierten Oxide. Bei leichten, saisonal bedingten pH-Eh-Verschiebungen werden jedoch die „aktiven“ Eisenausfällungen mobilisiert, wie schon die Instabilität der relativ leichter löslichen Manganhydroxide anzeigt, die bei dem hohen Oxidationspotential bis „sehr stark nicht gesättigt“ indiziert werden.

Die Berechnung der thermodynamischen Gleichgewichtssysteme an den Oberflächenproben zeigt, daß die naßchemische Quantifizierung der kationischen Bestandteile in ihren Mobilisierungs- und Fixierungsphasen theoretisch abgesichert ist.

Die Illit-Stabilität nimmt in der Tiefe zu als empfindlicher Beweis einer verminderten Verwitterungsintensität. Im geringeren Maße gilt diese Aussage auch für Chlorite, jedoch erst ab größeren Tiefen. In gipsführenden Schichten des Röts (22,3 m) erhöht sich lokal die Stabilität der Tonminerale. Infolge der relativ gleichbleibenden chemischen Beschaffenheit der Porenlösungen ist in der Tiefe die Stabilität der anderen im Sediment vertretenen Minerale, außer lokalen Abweichungen, den Oberflächenproben sehr ähnlich. Die sehr geringen vertikalen und horizontalen Wasserbewegungen, verbunden mit hohen Pufferkapazitäten in tonigen Sedimenten, führen also zu einer langsam fortschreitenden Verwitterungsfront, so daß auch in diesem Milieu chemisch instabile Minerale durchaus langfristig vertreten sein können.

6. Korrelationsanalysen mit der Mikrosonde

Bei der Mikrosonden-Korrelationsanalyse werden 2 Elemente entlang einer Meßstrecke (hier 3–5 mm) simultan gemessen und in einem x, y-Diagramm aufgezeichnet. Diese Methode führt zu Aussagen über Anordnung und Bindung der gemessenen Elemente in feinkörnigen Substanzen, die mit der konventionellen Mikrosonden-Analyse nicht zu erhalten sind. Die sonst üblichen Flächenraster-Aufnahmen stoßen bei feinkörniger Substanz -also bei Tonen- auf ihre natürlichen Grenzen, weil Einzelkristalle auf Grund ihrer Größe nicht isoliert betrachtet werden können (BURNS & FUERSTENAU 1966, SCHELLMANN 1977). Das Abfahren einer Linie ergibt keine absolut quantitativen Aussagen, es läßt sich jedoch durch den Vergleich der Intensitäten, die den Mengenverhältnissen proportional sind, eine relative quantitative Aussage vornehmen.

Die Untersuchungen wurden im Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Kiel in Zusammenarbeit mit Dr. ACKERMAND durchgeführt. Auf das Meßprinzip und die Aussagen soll hier kurz eingegangen werden.

Mit der Elektronenstrahl-Mikrosonde (Elmisonde, SIEMENS) wird die durch einen Elektronenstrahl induzierte charakteristische Röntgenstrahlung der Elemente gemessen, die Impulsraten werden durch Proportionalzählrohre umgesetzt und ihre Empfindlichkeitseinstellung nach den Mengenanteilen der Elemente variiert [Imp./min]. Die Eindringtiefe des Elektronenstrahls ist abhängig von Anregungsspannung [KV] und Strahlstrom [nA], Elektronenstrahldurchmesser und Ordnungszahl der Elemente der Probe und beträgt 1–5 μm . Die bei 105°C getrocknete Tonprobe wird im Vakuum mit Araldit getränkt. Das anschließende Sägen, Schleifen und Polieren der Probe wird unter Petroleum mit Diamantpulver (Körnung 1 μm) bis zur Schliffdicke von 30–40 μm durchgeführt. Vor der Messung wird der Schliff in Alkohol von Schleifrückständen, Fett und Öl gereinigt und im Vakuum mit einer Kohleschicht bedampft. Im Gegensatz zum REM wird eine Schicht aus leichten Elementen aufgedampft, da hier Topographieeffekte vermindert werden sollen und dennoch eine gute Spannungs- und Wärmeableitung gewährleistet sein muß.

Dieses vorgestellte Meß- und Darstellungsverfahren führt direkt zu einer Aussage der korrelativen Beziehungen zwischen diesen Elementen und zu den oben genannten, weiteren Auswertungen, die im Falle der mit diversen Bindemit-

telsubstanzen verkitteten Röttone eine weitere Absicherung der analytisch erkannten Phasendifferenzierungen der Bindemittel sowie der thermodynamisch errechneten Stabilitätsbeziehungen darstellt.

Zur Korrelationsanalyse wurden die Elementverknüpfungen Si/Fe, Si/Ca, Ca/Fe, Ca/Mg und Fe/Mn herangezogen.

Die Auswertung der Diagramme aus Oberflächenproben läßt zahlreiche Beziehungen zwischen den Elementen erkennen – die Elemente korrelieren hier in verschiedenen mineralogischen Phasen miteinander.

6.1. Si/Fe (Abb. 3)

In dem ausgewählten Diagramm treten 4 Korrelationsbereiche definierter Elementverknüpfungen mit unterschiedlichen, relativen Mengenanteilen auf, zwischen denen untergeordnete Phasen mit schwacher korrelativer Beziehung ausgebildet sind. Eine Phase mit 10fach höherem Si- als Fe-Anteil zeichnet sich dadurch aus, daß trotz hoher Veränderungen in den Si-Anteilen die Fe-Anteile in einem

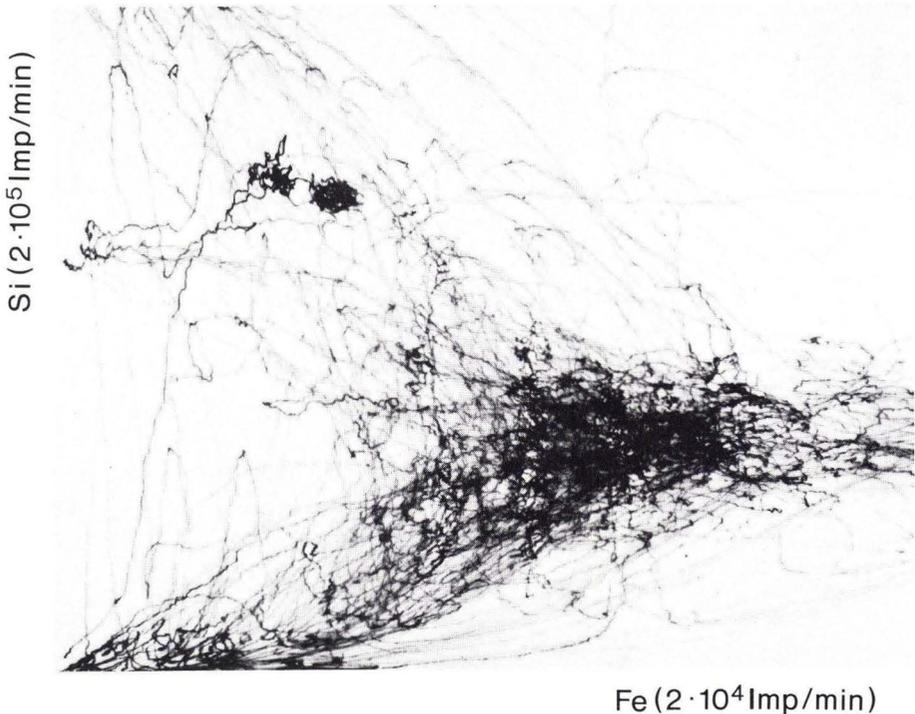


Abb. 3. Mikrosonden-Korrelationsanalyse Si/Fe (Si: $2 \cdot 10^5$ Imp./min; Fe: $2 \cdot 10^4$ Imp./min).

geringen Bereich schwanken. Eine weitere Phase, die über die x-Schreibbreite hinausgeht (d. h. hohe Fe-Gehalte bei mittlerem Si-Gehalt), ist den silikatisch gebundenen Eisenanteilen des Bindemittels zuzuordnen. Eine am Koordinatenursprung aufgezeichnete Korrelation mit schwankendem Fe-Gehalt ohne Si-Beeinflussung gibt die oxidisch-hydroxidischen Fe-Phasen wieder.

6.2. Si/Ca (Abb. 4)

In einer Phase sind hohe Si-Anteile mit weniger Ca verknüpft. Dies erklärt sich durch die hohe Ca-Sättigung an den Austauschplätzen der Tonminerale. Ein Bereich ansteigender Ca-Anteile bei gleichbleibenden Si-Anteilen, also unbeeinflusst von Si, geht über die Abszisse hinaus. Die grundsätzliche Unabhängigkeit von Si und Ca in den entfestigten Röttonen ist durch diese Korrelationsanalyse gezeigt, denn Ca ist einerseits in den nachgewiesenen Tonmineralen nicht eingebaut sowie als karbonatisches Bindemittel nicht silikatisch gebunden.

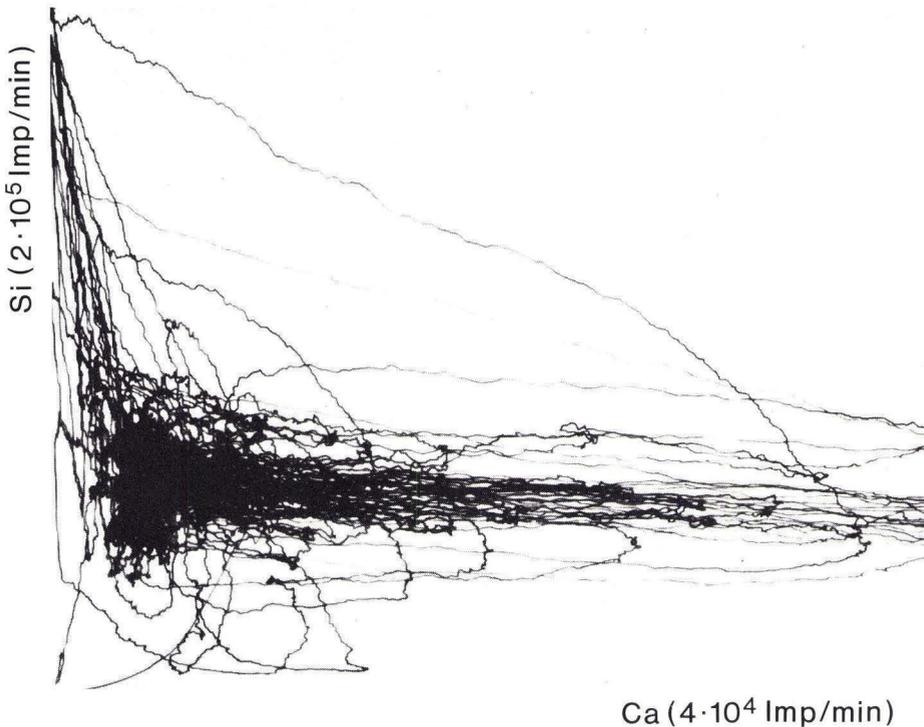


Abb. 4. Mikrosonden-Korrelationsanalyse Si/Ca (Si: $2 \cdot 10^5$ Imp./min; Ca: $4 \cdot 10^4$ Imp./min).

6.3. Ca/Fe (Abb. 5)

Eine eindeutige positive Korrelation zwischen Ca und Fe liegt in geringen Mengenverhältnissen etwa im Verhältnis 1:1 vor. Diese Phase läßt sich als diagenetisch verkittende Fe-Karbonate deuten. Eine Phase, die über den x-Schreibbereich hinausgeht und Ca-Karbonaten zugeordnet ist, zeigt eine Unabhängigkeit des Ca vom Fe an, die sich auch in einer über den y-Schreibbereich hinausgehenden Phase dokumentiert. Dies läßt sich durch die nicht korrelativen Zusammenhänge zwischen Fe aus den Tonmineralgittern und den oxidisch-hydroxidischen Phasen und Ca aus der Kittsubstanz erklären.

6.4. Ca/Mg (Abb. 6)

Eine deutliche positive Korrelation zwischen Ca und Mg von geringer bis zu hoher Konzentration (außerhalb des Diagrammes) läßt sich erkennen. Diese Verknüpfungen treten in allen freien karbonatischen Phasen sowie der Bindemittelsubstanz auf. Zwei unabhängige Phasen, in denen jeweils hohe Mg- bzw. Ca-Konzentrationen ohne das korrespondierende Element vorliegen, geben die isolierte Stellung von Mg in den Kristallbausteinen der Tonminerale bzw. von Ca in Mg-freien karbonatischen Verbindungen wieder.

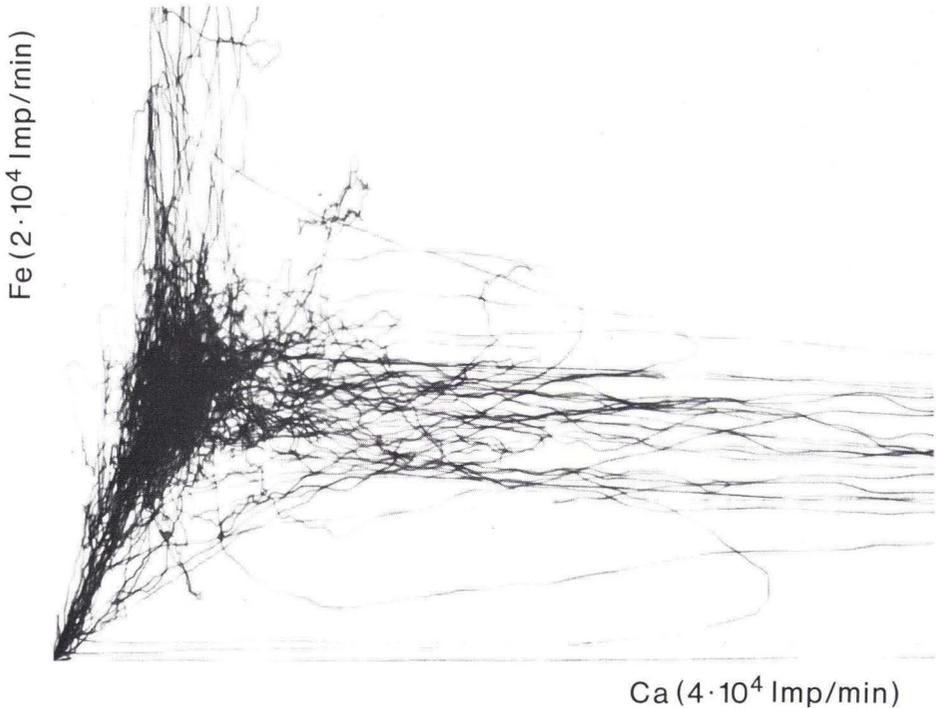


Abb. 5. Mikrosonden-Korrelationsanalyse Ca/Fe (Ca: $4 \cdot 10^4$ Imp./min; Fe: $2 \cdot 10^4$ Imp./min).

6.5. Fe/Mn (Abb. 7)

Geringe Mengen Mn, die mit höheren Fe-Gehalten korreliert sind, stellen Mischkarbonate dar, bei denen Fe in geringem Umfang von Mn vertreten wird. In dem Diagramm zeigen sich ansonsten Unabhängigkeiten zwischen Mn und Fe anhand von gleichbleibenden Mn-Werten bei starker Variation von Fe-Werten. Diese Unabhängigkeiten resultierten aus der Lösungsselektivität einiger Mn-Phasen.

7. Ergebnis

Untersuchungen über das Verwitterungsgeschehen in Röttonen durch einen Vergleich von oberflächennahen Proben mit Material aus einer 50 m Kernbohrung zeigen, daß die geochemischen Vorgänge vor allem durch die Karbonatlösung gesteuert werden. Der Kalkgehalt der untersuchten Proben nimmt mit zunehmender Tiefe von $\bar{x} = 2,14$ Gew.-% auf $\bar{x} = 15$ Gew.-% zu, jedoch sind in den Oberflächenproben die Austauschplätze der Tonminerale noch bis zu 99% mit Calcium-Ionen belegt. Dies bedeutet, daß eine durch Bodenentwicklung bedingte Erniedrigung der pH-Werte in den untersuchten Proben noch nicht stattfindet (pH

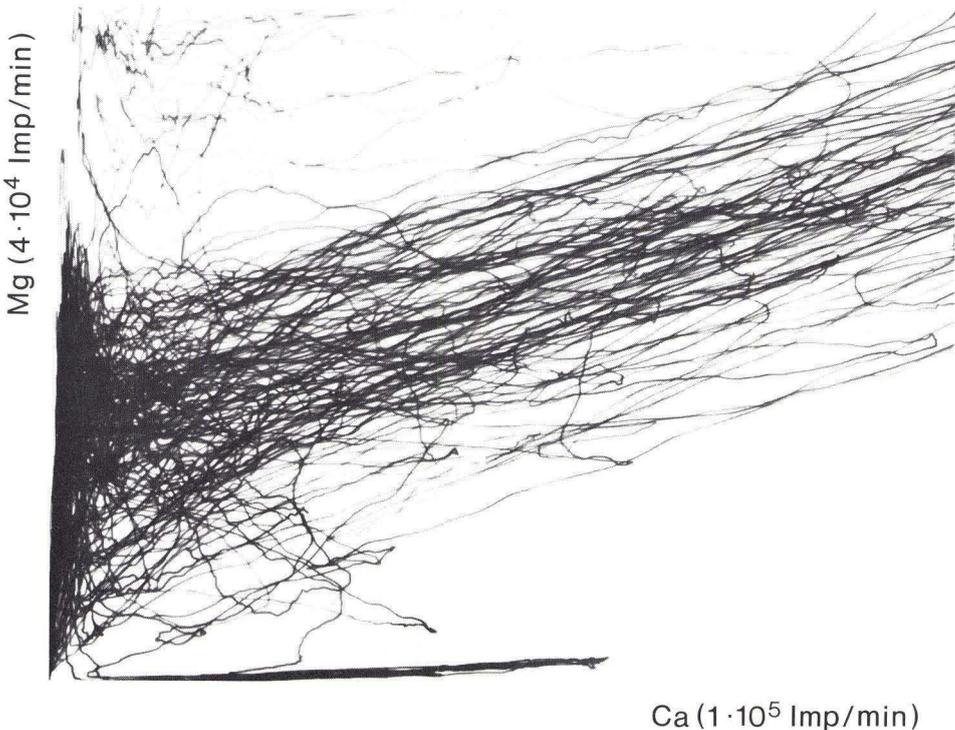


Abb. 6. Mikrosonden-Korrelationsanalyse Ca/Mg (Ca: 1 · 10⁵ Imp./min; Mg: 4 · 10⁴ Imp./min).

7,1 – 7,8). Deshalb liegt Eisen überwiegend in der kristallinen Hydroxid-Oxid-Phase vor, Mangan jedoch bereits hauptsächlich in leichtlöslichen amorphen-parakristallinen Phasen. Die „aktiven“ Eisengehalte nehmen zur Oberfläche hin nur leicht von 10–20 bis 30 mmol/kg zu. Die Gehalte an Magnesium in der schwach sauren Phase erweisen sich als ein sehr empfindlicher Verwitterungsindikator in Röttonen. Sie nehmen oberflächennah stark ab. In größeren Tiefen ist Mg überwiegend an die silikatische Phase, wie Na und K, gebunden und nur in geologischen Zeiträumen mobilisierbar. Die organischen Stoffe (C_{org}) nehmen oberflächennah von 2 Gew.-% bis zu 0,03 Gew.-% in der Tiefe ab, dementsprechend treten die organisch gebundenen Mischphasen in größeren Tiefen zurück. Thermodynamische Berechnungen zeigen, daß von den vorherrschenden Tonmineralen Illit und Chlorit unter oberflächennahen Bedingungen instabil sind und selbst noch in langsamer Umwandlung zu Gunsten von mixed-layer-Mineralen begriffen sind.

Die kombinierte Untersuchungsmethodik, beruhend auf thermodynamischen Überlegungen und Element-Korrelationsanalysen mit der Mikrosonde und naß-chemischen selektiven Untersuchungen der Mineral- und Zementationsphasen, ermöglicht ein detailliertes Bild der Verwitterungsvorgänge in Röttonen.

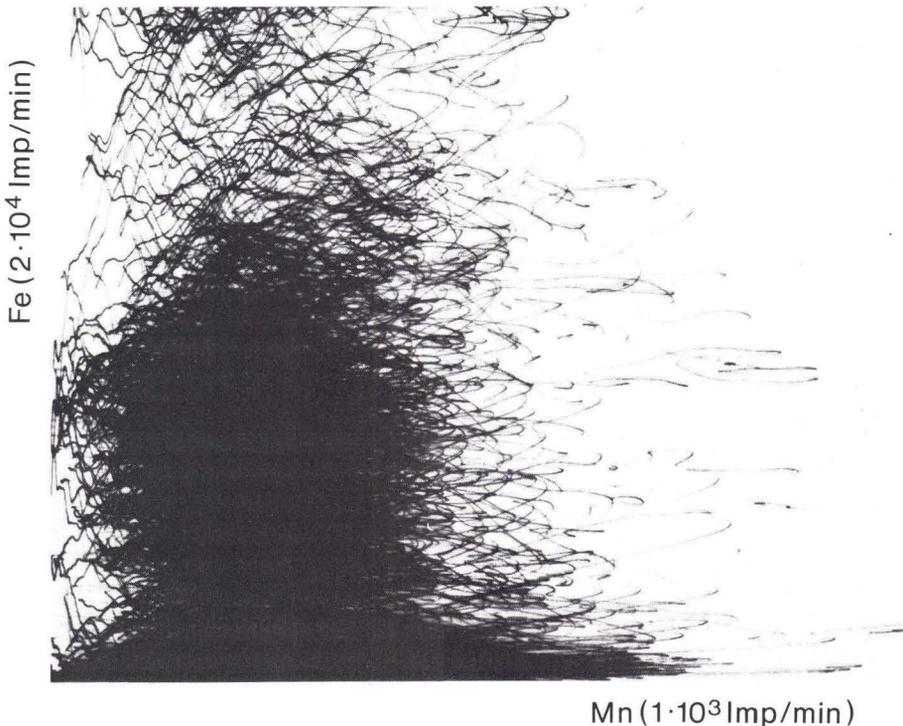


Abb. 7. Mikrosonden-Korrelationsanalyse Fe/Mn (Fe: $2 \cdot 10^4$ Imp./min; Mn: $1 \cdot 10^3$ Imp./min).

Diese Untersuchungsmethoden sind über die theoretischen Überlegungen hinaus in der Praxis eine wertvolle Hilfe für ingenieur-geologische Fragestellungen in der bodenmechanischen Beurteilung halbfester Gesteine (GRONEMEIER et al. 1981).

8. Schriftenverzeichnis

- ALBERTSEN, M., MATTHESS, G., PEKDEGER, A., & SCHULZ, H. D. (1980): Quantifizierung von Verwitterungsvorgängen. – Geol. Rdsch., **69** (2): 532–545; Stuttgart.
- BURNS, R. G., & FUERSTENAU, D. W. (1966): Electron-probe determination of inter-element relationship in manganese modules. – Am. Miner., **51**: 895–902; Menasha.
- GAULT, H. R., & WEILER, K. A. (1955): Studies of carbonate rocks. III. Acetic acid for insoluble residues. – Pennsylv. Acad. Sci. Proc., **29**: 181–185; Harrisburg.
- GRONEMEIER, K., MATTHESS, G., PEKDEGER, A., SCHENK, D., & SIEMS, A. (1981): Geochemie, Mikrogefüge und bodenmechanische Eigenschaften von halbfesten Gesteinen. – Geotechnik, **4** (1): 25–33; Essen.
- HERRMANN, A. G. (1975): Praktikum der Gesteinsanalyse. – 204 S.; Berlin, Heidelberg, New York (Springer).
- HOLMGREN, G. G. S. (1967): A rapid citrate – dithionite extracable ion procedure. – Soil Sci. Soc. Amer. Proc., **31**: 210–211; Madison.
- JACKSON, M. N. (1958): Soil chemical analysis. – 498 S.; Englewood Cliffs, N. Y. (Prentice Hall).
- LAEMMLEN, M. (1966): Die Gliederung des Röt im Raum Bad Hersfeld/Eiterfeld. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **94**: 373–378; Wiesbaden.
- MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. – Lehrbuch der Hydrogeologie, **2**, 324 S.; Berlin, Stuttgart (Borntraeger).
- MAXWELL, J. A. (1968): Rock and mineral analysis. – 376 S.; New York, London, Sydney, Toronto (Interscience).
- MEHLICH, A. (1948): Determination of cation- and anion exchange properties of soils. – Soil Sci., **66**: 429–445; Madison.
- MEHRA, O.-P., & JACKSON, M. L. (1960): In SCHLICHTING, E., & BLUME, H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. – 209 S.; Hamburg, Berlin (Parey).
- PLUMMER, L. N., JONES, B. F., & TRUESDELL, A. H. (1976): WATEQF – A Fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural water. – U. S. Geol. Survey Water Resour. Invest., **76** (13): 61; Washington D. C.
- SHELLMANN, W. (1977): Korrelationsanalysen mit der Mikrosonde am Beispiel einer pazifischen Manganknolle. – Geol. Jb., **D 23**: 105–117; Hannover.
- SCHWERTMANN, U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammonium-Oxalat-Lösung. – Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkd., **105**: 194–202; Weinheim.
- TRUESDELL, A. H., & BLAIR, F. J. (1974): WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural water. – J. Research U. S. Geol. Survey, **2** (2): 233–248; Washington D. C.
- ULRICH, B., & KHANNA, P. K. (1971): Methodische Untersuchungen über Kationengehalt der Bodenlösung und Schofield'sche Potentiale. – Göttinger bodenkdl. Ber., **19**: 121–148; Göttingen.

Manuskript eingegangen am 18. 5. 1981

Geogene Konzentrationen von Spurenstoffen, insbesondere Schwermetallen, in Grundwässern ausgewählter Gebiete Hessens und vergleichende Auswertungen mit Grund-(Mineral-)Wässern anderer Gebiete

Von

BERNWARD HÖLTING*

Kurzfassung: Von April 1980 bis Anfang März 1981 wurden aus fünf ständig betriebenen Brunnen in Hessen je 10–13 Proben entnommen und auf Gehalte an Arsen, Barium, Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Lithium, Nickel, Blei, Strontium, Vanadium, Zink und Fluorid untersucht. Die beprobten Brunnen stehen in stratigraphisch und petrochemisch unterschiedlichen Grundwasserleitern, nämlich im Kristallin des Odenwaldes, in Tonschiefern des Unterdevons, in Carbonat-, Anhydrit-, Schluff- und Tonsteinen des Zechsteins, in Sandsteinen des Mittleren Buntsandsteins und tertiären Basalten. Durchweg erwiesen sich die geogenen, also natürlichen Gehalte der untersuchten Spurenstoffe als gering. Die Konzentrationen einiger Stoffe, insbesondere Barium, Strontium, Vanadium, Zink und Fluorid, unterlagen stärkeren Schwankungen. Die Ursache wird nicht in temporären Änderungen der Löslichkeitsverhältnisse, sondern in unterschiedlichen unterirdischen Abflüssen vermutet, die ihrerseits durch wechselnde Niederschlagsverhältnisse verursacht werden. Außer den Reihenbeprobungen wurden Einzelproben aus Mineralquellen und von Tiefbohrungen entnommen, die während der Untersuchungszeit bis in Zechstein-Folgen niedergebracht waren und artesisch überliefen. Auch hier waren die Spurenkonzentrationen durchweg gering. Die festgestellten Konzentrationen blieben weitgehend unter den durch Standards und Verordnungen festgelegten Grenzwerten für Trinkwässer.

Abstract: Between April 1980 and March 1981 10–13 water samples were collected from each of 5 permanently operated wells. The content of arsenic, barium, cadmium, cobalt, chromium, copper, mercury, lithium, nickel, lead, strontium, vanadium, zinc and fluoride was analysed. The investigated wells draw their water from aquifers of different stratigraphic and petrochemic position i. e. from metamorphic rocks of the Odenwald area, shales (Lower Devonian), carbonate- and anhydrite-rocks (Zechstein, Lower Permian), sandstones (Middle Buntsandstein, Lower Triassic) and basalts (Tertiary). The geogene, i. e. natural, concentrations of trace elements proved to be surprisingly low. Concentrations of some elements, especially barium, strontium, vanadium, zinc and fluoride showed marked variations. These are explained to be caused by changing subsurface flow due to varying precipitation rather than by temporary changes of solubility. Apart from the regularly taken samples, singular samples were collected from mineral springs or deep wells with artesian overflow from the Zechstein sequences, which were drilled during the period of investigation. The concentration of trace elements in these waters was also low. The remained largely below the limit values for drinking water.

* Prof. Dr. B. HÖLTING, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	138
2. Die Probenahmestellen	141
2.1. Anforderungen an die Probenahmestellen	141
2.2. Brunnen Nieder-Beerbach	141
2.3. Wasserbeschaffungsverband Tenne, Brunnen Dombachtal III	142
2.4. Brunnen Twistetal-Twiste	143
2.5. Wasserwerk Wohratal bei Kirchhain, Brunen W 4	144
2.6. Brunnen 146 der OVAG bei Gedern	144
2.7. Übrige Probenahmestellen	145
3. Die Durchführung der Untersuchungen	145
3.1. Probenahme	145
3.2. Laboruntersuchungen	145
3.2.1. Untersuchungsumfang	145
3.2.2. Probetransport	146
3.2.3. Analysen-Verfahren	146
3.2.4. Analysen-Verlauf	147
3.2.5. Vergleichs- und Kontroll-Analysen	147
3.2.6. Analyseergebnisse	149
4. Auswertung der Spurenbestimmungen	149
4.1. Die Spurenkonzentrationen in den periodisch beprobten Brunnen	149
4.2. Konzentrationsganglinien der untersuchten Spurenstoffe in den periodisch beprobten Brunnen	160
4.3. Ursachen der Konzentrationsschwankungen	177
5. Vergleichende Auswertungen von Spurenkonzentrationen in Grund-(Mineral-)Wässern	181
5.1. Das Daten-Material	181
5.2. Arsen	197
5.3. Barium	199
5.4. Cadmium	200
5.5. Cobalt	201
5.6. Chrom	201
5.7. Kupfer	201
5.8. Quecksilber	203
5.9. Lithium	203
5.10. Nickel	204
5.11. Blei	204
5.12. Strontium	204
5.13. Vanadium	206
5.14. Zink	208
5.15. Fluorid	209
5.16. Korrelationen	209
6. Zusammenfassung	211
7. Schriftenverzeichnis	213

1. Einleitung

Seit einigen Jahren nehmen hydrochemische Untersuchungen von Spuren in Gewässern derart zu, daß selbst Fachleute die ständig wachsende Flut wissenschaftlicher Publikationen kaum noch überblicken können. FÖRSTNER & WITTMANN (1979) zitieren in ihrer Zusammenfassung des derzeitigen Wissensstandes ca. 2200 Publikationen. Allerdings befaßt sich die weit überwiegende Mehrzahl

dieser Arbeiten, vor allem unter dem Einfluß umweltrelevanter Aktualitäten, mit den oberirdischen Gewässern und den Schwermetallanreicherungen in den Gewässersedimenten; hier müssen insbesondere die eingehenden Untersuchungen über die Schwermetallgehalte deutscher Flüsse und Gewässer von FÖRSTNER & MÜLLER (1974) genannt werden.

Bei den unterirdischen Wässern haben entsprechende geohydrochemische Untersuchungen eher zögernd eingesetzt. Nach frühen Arbeiten von FRICKE (1953) sowie FRICKE & WERNER (1957) über Konzentrationen einiger Schwermetalle in Mineralwässern Nordrhein-Westfalens wurden später zunächst die Wechselwirkungen zwischen unterirdischen (Grundwässern) und oberirdischen Gewässern untersucht (BUKENBERGER, LODEMANN & LOESCHKE 1972; GEORGOTAS & UDLUFT 1973). Zwischenzeitlich sind weitere Arbeiten, insbesondere Dissertationen erschienen, die sich ausschließlich mit den Schwermetall- und anderen Spurenkonzentrationen in Grundwässern befassen (z. B. HARRESZ 1973; NEUMAYR 1979). Einen informellen Beitrag lieferte eine statistische Auswertung von Haupt- und Spurenelementen in Mineral- und Thermalwasseranalysen der Bundesrepublik Deutschland (BRAEUNING 1979).

Die Untersuchung auf Spurengehalte, insbesondere Schwermetalle, hat aus hydrogeologischer Sicht im wesentlichen drei Aspekte:

1. Durch flächendeckende, regionale Probenahmen und Analysen können sich Beiträge zur Erkundung von Lagerstätten ergeben. Schon vor längerer Zeit wurden derartige Möglichkeiten erkannt (z. B. HAWKS & BLOOM 1956; POPOWA 1965), sie wurden in den letzten Jahren zunehmend praktiziert.
2. Für die hydrogeologische Praxis ist jedoch nicht minder wichtig der geohygienische Aspekt. Durch Infiltrationen belasteter oberirdischer Gewässer in den Untergrund kann es zu nachteiligen qualitativen Grundwasserbeeinflussungen kommen. Dabei sind insbesondere die Schwermetallgehalte zu nennen, die durch die üblichen chemischen Regeluntersuchungen nur z. T. erfaßt werden, deren gesundheitsschädigende Wirkungen (Bindung an Enzyme im Organismus, Verdrängung lebenswichtiger Metalle) schon länger bekannt sind (HABERER & NORMAN 1971). Probleme der Belastungen oberirdischer Gewässer werden neuerdings insbesondere bei Grundwasseranreicherungen akut, Aufbereitungen der zu infiltrierenden Wässer durch Filteranlagen werden erforderlich (SCHÖTTLER 1980).
3. Noch wenig mangels ausreichenden Datenbestandes sind die Möglichkeiten bekannt, durch Analysen von Spuren-Ionengruppen oder Schwermetall-Hydroparagenesen in einem regional differenzierten Probennetz Regionalisierungen von Grundwassertypen oder Probleme der Grundwasserbewegung und -verbreitung (z. B. Herkunft von Mineralwässern) zu untersuchen.

Die genannten Untersuchungsziele können jedoch nur dann hinreichend genau erreicht werden, wenn 1) die natürlichen, also geogenen Konzentrationen bekannt sind, die beim Durchfließen grundwasserleitender Gesteine entstehen, und 2) deren natürliche Konzentrations-Schwankungsbreiten soweit als möglich geklärt sind. Von den Konzentrationen der üblichen Haupt-Lösungsinhalte sind natürliche Schwankungen (insbesondere bei Mineralwässern) bekannt, vor Über-

bewertungen unterschiedlicher Gehalte in gewissen Grenzen muß daher gewarnt werden (HÖLTING 1980a: 230). Dieselbe Problematik kann sich naturgemäß auch für Spurenhaltstoffe ergeben, wie z. B. für Schwermetall-Ionenkonzentrationen.

So wichtig gerade die Frage nach den natürlichen Konzentrationsschwankungen für die Beurteilung geohydrochemischer Probleme unterirdischer Wässer ist, so wenig hat sie bisher Beachtung gefunden. Lediglich NEUMAYR (1979, Abschn. 6.4.) hat entlang von drei 15–20 km langen GW-Profilen an der Westküste Schleswig-Holsteins im 14-Tage-Rhythmus von April 1975 bis Januar 1977 insgesamt 68 Einzelbrunnen beprobt und festgestellt, daß die Schwermetalle nach ihrer Konzentrationsverteilung in zwei Gruppen gegliedert werden. Die erste Gruppe (1) mit Zn, Ni, Cr, Mn und Fe weist als gemeinsames Merkmal Konzentrationsanstiege in Zonen raschen Wechsels der Eh- und pH-Bedingungen aus. Die zweite Gruppe (2), die sich teils antagonistisch zu der ersten verhält, mit den Schwermetallen Pb, Cd und Cr wird durch absolute Minima der Gehalte in Zonen starker Milieuveränderungen charakterisiert. Jedoch kann das von NEUMAYR untersuchte Milieu im Bereich der Salz-/Süßwassergrenze an der schleswig-holsteinischen Westküste aus geohydrochemischer Sicht nicht als Regelfall angesehen werden.

Für den geohydrochemischen Aspekt drängen sich nun zwei wesentliche Problemkreise auf:

1. wie verteilen sich die geogenen, natürlichen Konzentrationen von Spurengehalten, insbesondere Schwermetall-Ionen, in Grundwässern;
2. mit welchen natürlichen Schwankungen der Konzentrationen ist zu rechnen.

Diesen Fragen sollte in einigen ausgewählten Grundwasservorkommen Hessens, das sich durch seine stratigraphische und petrographische Vielfalt der im Lande anstehenden Gesteine auszeichnet, durch regelmäßige Beprobung ständig genutzter Brunnen nachgegangen werden. Durch Vergleiche mit bereits vorliegenden (Fremd-)Einzelanalysen, insbesondere von besser untersuchten Mineralwässern, sollten darüber hinaus die Größenordnungen aufgezeigt werden, innerhalb deren sich die Spurenkonzentrationen bewegen.

Für die Unterstützung dieser Arbeit dankt der Verfasser der Deutschen Forschungsgemeinschaft, ohne deren Hilfe diese Arbeit nicht durchzuführen gewesen wäre. Hilfe bei der Beschaffung der Wasserproben gewährten die Gemeinden Mühlthal (Krs. Darmstadt-Dieburg), Twiste (Krs. Waldeck-Frankenberg) und Waldems (Rheingau-Taunus-Kreis), der Wasserverband Mittelhessische Wasserwerke (Gießen), der Zweckverband Oberhessische Versorgungsbetriebe AG (OVAG, Friedberg), das Ing.-Büro GRÖTICKE (Twistetal-Berndorf) sowie die Kollegen Dr. DIEDERICH und Dr. WIEGAND im Hess. Landesamt für Bodenforschung (Wiesbaden). Die Analysen wurden von Frau H. SCHNEIDER im Chemischen Laboratorium des Hess. Landesamtes für Bodenforschung unter der Leitung von Herrn Dipl.-Chem. THIELICKE ausgeführt. Bei der statistischen Auswertung war Herr Dipl.-Mineraloge STRECKER behilflich. Allen, die diese Arbeit ermöglichten, möchte der Verfasser hiermit seinen Dank für die erhaltene Unterstützung aussprechen.

2. Die Probenahmestellen

2.1. Anforderungen an die Probenahmestellen

Da es sich bei den zu untersuchenden Ionen nur um Spurengehalte handelt, waren besondere Anforderungen an die Probenahmestellen zu richten:

- a) zur Probenahme waren nur tiefere Brunnen geeignet, um Einflüsse oberflächennaher Grundwässer soweit als möglich zu vermeiden;
- b) die Brunnen mußten außerhalb dichter besiedelter Flächen mit Abwässern liegen, direkte anthropogene Zuflüsse mußten ausgeschlossen sein;
- c) durch die Brunnen wurde ein stratigraphisch-petrographisch einheitlicher Grundwasserleiter erschlossen;
- d) die Probenahmen erfolgten jeweils erst nach mehreren Betriebsstunden, um Anreicherungseffekte im stehenden Brunnenwasser oder Einflüsse durch das Brunnenausbaumaterial zu vermeiden.

Für die laufende Beprobung wurden unter den genannten Voraussetzungen fünf Brunnen in Hessen ausgewählt. Die Lage der Brunnen ist der Taf. 1 zu entnehmen. Tiefe und geologische Stellung der Grundwasserleiter sind in der Tab. 1 zusammengefaßt.

2.2. Brunnen Nieder-Beerbach

Lage: TK 25 Blatt Nr. 6218 Neunkirchen

R 34 77 08, H 55 16 20 GOK: 248 m über NN

Eigentümer: Gemeinde Mühlthal (Krs. Darmstadt-Dieburg)

Bohrung: 1973; Trockenmeißelbohrung; 850/720 mm

Profil (zusammengefaßt):

0– 2,5 m Lehm, Schluff	(Holo-/Pleistozän)
– 15 m Granitischer Block-Kies, sandig	(Pleistozän)
– 20 m Granit-Syenit	(Kristallines Grundgebirge)
– 30 m Gabbro	

Ausbau: 0–15 m Aufsatzrohr (DN 300)

15–30 m Filterrohr

Abdichtung: 0–5 m Zementierung

Pumpversuch: Juli 1973 (72 h); Ruhespiegel 2,65 m unter Gel., Wasserspiegel bei 10,4 m³/h (2,9 l/s) auf 8,8 m unter Gel. abgesenkt; L_q = 0,47 l/s · m

Wasseruntersuchung: (Laboratorium Hess. Landesamt f. Bodenforschung):

Probenahme:	18. 04. 80		
T _w	9,5 °C		
pH (bei Entnahme)	6,8		
Gesamthärte	15,5 °d [5,54 c(eq)mmol/l] ¹		
Carbonathärte	12,8 °d [4,57 c(eq)mmol/l]		
Sauerstoff	2,0 mg/l		
Natrium	7,0 mg/l	Kalium	0,8 mg/l
Ammonium	0 mg/l	Calcium	86,8 mg/l
Magnesium	14,6 mg/l	Mangan ²⁺	0,05 mg/l
Eisen ²⁺	0,03 mg/l		
Chlorid	13,0 mg/l	Sulfat	40,7 mg/l
Nitrat	28,5 mg/l	Hydrogencarbonat	278,3 mg/l

¹ c(eq)mmol/l entspricht der früheren Einheit mval/l.

Tab. 1. Entnahmestellen (Brunnen, Bohrungen) für Wasserproben zur Untersuchung auf Spurenelemente

Lfd.Nr.	Entnahmestelle	Tiefe (m unter Gel.)	Geol.GWL) ¹⁾
1	Nieder-Beerbach	30	Kristallines Grundgebirge
2	WBV Tenne, Br.Dombachtal III	83,5	Unterdevon
	Br.Dottenbach	72	Unterdevon
3	Bad Wildungen (Helenenquelle)	73,4	Unterkarbon
4	Steffenberg-Steinperf	80	Unterkarbon, Devon
5	Twistetel-Twiste	277,5	Zechstein
6	Ober-Waroldern	210	Zechstein
7	Arolsen-Trappenberg	307	Zechstein
8	Arolsen-Braunsen	450	Zechstein
9	Hess.Lichtenau-Küchen	535	Zechstein
10	Wallersdorf	372	Zechstein
11	Marjoß	511	Zechstein
12	Brückenau	390,2	Zechstein
13	Wasserwerk Wohratal bei Kirchhain, Brunnen W 4	82	Mittl. Buntsandstein
	Brunnen W 10	180	Mittl. Buntsandstein
14	Brunnen 146 der OVAG bei Gedern	208	Basaltisches Tertiär
15	Messel (Odenwald) Bohrung 1	130,75	Sediment. Tertiär, Rotliegendes
	Bohrung 2	157,20	" " "
	Bohrung 4	167,0	" " "
	Bohrung 5	120,0	" " "
16	Bad Soden-Salmünster (König- Heinrich-Sprudel)	528,8	Zechstein
17	Hähnlein	450	Sedimentäres Tertiär
18	Astheim	30	Sedimentäres Tertiär
19	Bad Homburg v.d.H. (Ludwigsbrunnen)	42	Tertiär, Devon
20	Wiesbaden, Kochbrunnen	47	Tertiär, Vordevon
	Faulbrunnen	28,5	Tertiär, Vordevon

¹⁾ Geologische Stellung des beprobten Grundwasserleiters

2.3. Wasserbeschaffungsverband Tenne, Brunnen Dombachtal III

Lage: TK 25 Blatt Nr. 5716 Oberreifenberg

R 34 54 12, H 55 73 12 GOK: 345,8 m über NN

Eigentümer: WBV Tenne, Sitz: Gemeinde Waldems (Rheingau-Taunus-Kreis)

Bohrung: Juli/August 1963; Trockenmeißelbohrung; 1000/600 mm

Profil (zusammengefaßt; GOLWER 1978):

- 0– 5,8 m Lehm, Geröll (Pleistozän)
- 28,6 m Tonschiefer und Grauwackenschiefer (Unterdevon)
- 83,5 m Tonschiefer, weniger Grauwacken (Unterdevon)

Ausbau: 0–28 m; 37–48 m; 58–68 m; 74–77 m Aufsatz- und Zwischenrohre (DN 300) 28–37 m; 48–58 m; 68–74 m; 77–82 m Filterrohr

Abdichtung: 0–11 m Ton

–14,2 m Beton

U-Pumpe bei 66 m unter GOK

Pumpversuch: 7.–27. 01. 64; Ruhewasserspiegel \pm 0 m (ab Bohrteufe 25,5 m artesischer Überlauf),
Wasserspiegel bei 6,9 m³/h (1,9 l/s) auf 34,5 m unter Gel. abgesenkt;

$L_q = 0,35 \text{ l/s} \cdot \text{m}$

Wasseruntersuchung (Laboratorium Hess. Landesamt f. Bodenforschung):

Probenahme:	18. 04. 80		
T_w	9,0 °C		
ph (bei Entnahme)	6,0		
Gesamthärte	4,7 ° d [1,68 c(eq)mmol/l]		
Carbonathärte	3,6 ° d [1,29 c(eq)mmol/l]		
Sauerstoff	4,5 mg/l		
Natrium	8,2 mg/l	Kalium	0,6 mg/l
Ammonium	0 mg/l	Calcium	17,4 mg/l
Magnesium	9,7 mg/l	Mangan ²⁺	0,06 mg/l
Eisen ²⁺	<0,03mg/l		
Chlorid	6,2 mg/l	Sulfat	26,8 mg/l
Nitrat	22,5 mg/l	Hydrogencarbonat	79,3 mg/l

2.4. Brunnen Twistetal-Twiste

Lage: TK 25 Blatt Nr. 4619 Mengeringhausen

R 34 96 88, H 56 87 76 GOK: 271 m über NN

Eigentümer: Gemeinde Twistetal (Krs. Waldeck-Frankenberg)

Bohrung: als Untersuchungsbohrung auf Kupferschiefer in den Jahren 1940/41 erstellt; Gesamttiefe 277,5 m; bis 14,9 m Meißel-, dann Kernbohrung

Profil (zusammengefaßt; HÖLTING, KULICK & RAMBOW 1974):

- 0–129,3 m Sandstein, feinkörnig, Schluffstein (Unterer Buntsandstein)
- 144,1 m Dolomit-/Kalkstein (Zechstein)
- 161,75 m Ton- und Sandstein (Zechstein)
- 183,3 m Dolomitstein, Gips (Zechstein)
- 223,5 m Anhydrit und Gips (Zechstein)
- 262,15 m Kalkstein (Zechstein)
- 277,5 m Kalkstein und Tonschiefer (Unterkarbon oder Unterdevon)

Ausbau: im Jahre 1955 wurde das offene Bohrloch bis 150 m verrohrt; der Grundwasserzulauf erfolgt unterhalb 150 m aus der gesamten Zechstein-Folge

Abdichtung: nicht bekannt; jedoch erfolgt kein Zulauf aus den Buntsandsteinschichten

Pumpversuch: bei der Bohrung stellte sich in den Jahren 1940/41 artesischer Überlauf bei der Teufe 130 m ein, der nach Abschluß der Bohrarbeiten ca. 100 m³/h (27,8 l/s) betrug; der Überlauf war bis zum Jahre 1963 auf 70 m³/h (19,5 l/s) zurückgegangen

Wasseruntersuchung (Staatl. Chem. Untersuchungsamt Kassel):

Probenahme:	10. 04. 78
T_w	12,5 °C
pH (bei Entnahme)	7,1
Gesamthärte	31,9 ° d [11,39 c(eq)mmol/l]
Carbonathärte	16,4 ° d [5,86 c(eq)mmol/l]
Sauerstoff	3,0 mg/l

Alkalien (berechnet als Natrium)		6,7 mg/l	
„Freie“ Kohlensäure		42,9 mg/l	
Ammonium	n.n.	Calcium	75,7 mg/l
Magnesium	92,2 mg/l	Mangan	n.n.
Eisen ²⁺	1,0 mg/l		
Chlorid	9,9 mg/l	Sulfat	267,1 mg/l
Nitrat	n.n.	Hydrogencarbonat	357,5 mg/l

Anmerkung: Nach der Bestimmung durch das ¹⁴C- und ³H-Laboratorium des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (Prof. Dr. GEYH; Hannover) hatte eine am 29. 6. 77 entnommene Probe folgende Werte ergeben: ¹³C=6,4‰; ³H 1,8 TU; tatsächliches Alter 8600 Jahre.

2.5. Wasserwerk Wohratal bei Kirchhain, Brunnen W 4

Lage: TK 25 Blatt Nr. 5119 Kirchhain

R 34 93 84, H 56 33 93

Eigentümer: Wasserverband Mittelhessische Wasserwerke, Gießen

Bohrung: November 1964; Rotary-Saugbohrung; 700 mm

Profil (zusammengefaßt):

0–82 m vorwiegend Sandstein, untergeordnet Schluffstein (Mittlerer Buntsandstein; Hardegsen Folge)

Ausbau: 0–25 m Aufsatzrohr (DN 450); –35 m Filterrohr (DN 450);
 –40 m Aufsatzrohr (DN 450); –40,5 m Übergangsrohr (DN 450/350);
 –43 m Filterrohr (DN 350); –53 m Aufsatzrohr (DN 350);
 –79,5 m Filterrohr (DN 350); –80,5 m Sumpfrohr

Abdichtung: 0–12,65 m Abdichtung aus Bentonit und Zement

Pumpversuch: Herbst 1965, Ruhespiegel 8,6 m unter Gel.; Wasserspiegel bei 350 m³/h (97,2 l/s) auf 14,1 m unter Gel. abgesenkt; L_q = 17,67 l/s · m

Wasseruntersuchung (Laboratorium Mittelhessische Wasserwerke):

Probenahme:	26. 10. 75		
T _w	10,3 °C		
pH (bei Entnahme)	6,78		
Gesamthärte	7,00 °d[2,5 e(eq)mmol/l]		
Carbonathärte	5,6 °d[2,0 c(eq)mmol/l]		
Sauerstoff	8,7 mg/l	„Freie Kohlensäure“	39,0 mg/l
Natrium, Kalium	n.b. berechnet (als Na): 8,9 mg/l		
Calcium	31,3 mg/l	Magnesium	12,0 mg/l
Eisen	0,01 mg/l	Mangan	n.n.
Ammonium	n.n.		
Chlorid	15 mg/l	Sulfat	14 mg/l
Nitrat	14,8 mg/l	Hydrogencarbonat	122 mg/l

2.6. Brunnen 146 der OVAG bei Gedern

Lage: TK 25 Blatt Nr. 5221 Gedern

R 35 13 11, H 55 86 26 GOK: 284 m über NN

Eigentümer: Zweckverband Oberhessische Versorgungsbetriebe AG, Friedberg/Hessen

Bohrung: April/Juli 1972; Rotary-Saugbohrung; 1800/540 mm

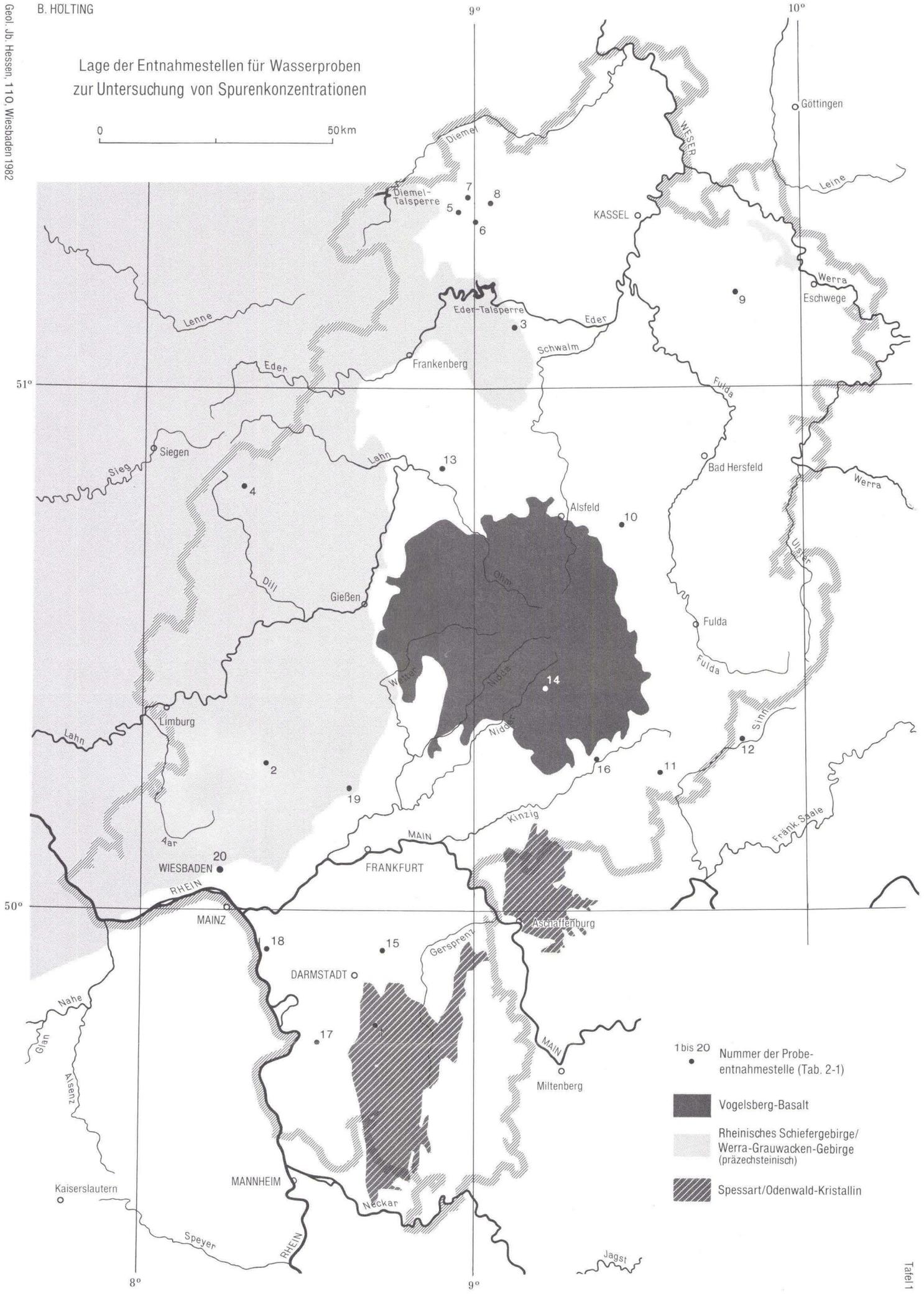
Profil: (zusammengefaßt):

0–195 m Basalt, untergeordnet Tuff (Basaltische Tertiär)
 –208 m Ton (Vorbasaltisches Tertiär)

Ausbau: 0–30 m Aufsatzrohr (DN 800)
 30–75 m Filterrohr (DN 800)
 73,5–197 m Verlorenes Filterrohr (DN 300)

Abdichtung: 0–44 m Zementierung

Lage der Entnahmestellen für Wasserproben zur Untersuchung von Spurenkonzentrationen



- 1 bis 20 ● Nummer der Probeentnahmestelle (Tab. 2-1)
- Vogelsberg-Basalt
- ▨ Rheinisches Schiefergebirge/ Werra-Grauwacken-Gebirge (präzechsteinisch)
- ▩ Spessart/Odenwald-Kristallin

Pumpversuch: März 1974; Ruhespiegel ca. 0 m (artesischer Überlauf); Wasserspiegel bei 213,8 m³/h (59,4 l/s) auf 33,5 m unter Gel. abgesenkt; Lq ca. 1,8 l/s · m

Wasseruntersuchung (Laboratorium Hess. Landesamt f. Bodenforschung):

Probenahme:	18. 04. 80		
T _w	10,5 °C		
pH (bei Entnahme)	7,7		
Gesamthärte	5,5 °d [2,0 c(eq)mmol/l]		
Carbonathärte	5,6 °d [2,0 c(eq)mmol/l]		
Sauerstoff	9,0 mg/l		
Natrium	6,3 mg/l	Kalium	0,8 mg/l
Ammonium	0	Calcium	19,2 mg/l
Magnesium	12,2 mg/l	Mangan	0,05 mg/l
Eisen	< 0,03 mg/l		
Chlorid	4,0 mg/l	Sulfat	4,6 mg/l
Nitrat	25,0 mg/l	Hydrogencarbonat	122,0 mg/l

2.7. Übrige Probenahmestellen

Außer den regelmäßig beprobten Stellen wurden Einzelproben (Tab. 1) aus Mineralquellen und aus einigen während der Beprobungszeit in Hessen niedergebrachten Kupferschiefer-Untersuchungsbohrungen entnommen. Einige dieser Bohrungen liefen artesisch nach Erreichen der Zechstein-Schichten über, so daß Wasserproben für geohydrochemische Untersuchungen entnommen werden konnten (HÖLTING 1981). Weiterhin wurden, um Größenordnungen der Konzentrationen der hier untersuchten Spureninhalte zu erfassen und regional vergleichen zu können, Wasserproben aus Bohrungen im Tertiär des Oberrheingraben gezogen. Schließlich wurde zu Kontrollzwecken aus zwei den regelmäßig beprobten Stellen benachbarten Brunnen (WBV Tenne, Kirchhain) je eine Probe entnommen.

3. Die Durchführung der Untersuchungen

3.1. Probenahme

Zur Probenahme wurden die Transportgefäße mit Aqua bidest und Salpetersäure suprapur gereinigt, gefüllt mit Salpetersäure einige Tage in den Trockenschrank (65 °C) gestellt, anschließend mit Aqua bidest. ausgespült und getrocknet. Die Proben wurden in den regelmäßig untersuchten Brunnen ausnahmslos nach mehreren Betriebsstunden entnommen. An den übrigen Stellen, insbesondere den artesisch überlaufenden Bohrungen, wurde eine möglichst lange Abflußzeit abgewartet. Alle Wasserproben wurden bei der Probenahme mit HNO₃ suprapur (ca. 5 ml/Liter Probe) auf pH <1 zur Vermeidung von Wandeffekten gebracht.

3.2. Laboruntersuchungen

3.2.1. Untersuchungsumfang

Bestimmt wurden die Konzentrationen folgender Elemente: Arsen (As), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber

(Hg), Lithium (Li), Nickel (Ni), Blei (Pb), Strontium (Sr), Vanadium (V), Zink (Zn) und Fluorid (F^-).

Zinn konnte nicht bestimmt werden, weil zu Beginn der Untersuchungen kein geeignetes genaues AAS-Verfahren zur Verfügung stand.

3.2.2. Probetransport

Die Proben wurden transportiert:

- a) in Polypropylen-Flaschen (nicht Glasflaschen), aus deren Inhalt alle Ionen außer Zink und Fluorid bestimmt wurden; Wandeffekte sind bei diesem Material vernachlässigbar gering (s. auch SUBRAMANJAN, CHAKRABARTI, SUEIRAS & MAINES 1978);
- b) in Teflon-Flaschen für die Bestimmung der Zink-Konzentrationen; Zink bleibt in Teflon-Flaschen deutlich länger stabil. Auch Chrom kann mit guten Ergebnissen aus den Proben dieser Flaschen bestimmt werden, jedoch auch aus Polypropylen-Flaschen;
- c) für die Fluorid-Bestimmung wurden die Proben ohne Ansäuerung in Glasflaschen transportiert.

Bei allen entnommenen Proben wurde sobald als möglich (meist 1 Tag nach Entnahme, vereinzelt noch am selben Tag) mit den analytischen Bestimmungen begonnen. Besonders wichtig ist der rasche Analysenbeginn für Quecksilber, das offensichtlich relativ schnell verdampft; bei vorübergehenden Defekten der Hg-Lampe im AAS mußte deshalb verschiedentlich auf die Hg-Bestimmung verzichtet werden.

3.2.3. Analysen-Verfahren

Cu, Cd, Pb: nach Anreicherung über getränktem Papierfilter bei pH ca. 3 im AAS (Atomabsorptionsspektrometer) mit Graphitrohrküvette bestimmt, desgleichen

Co und Ni, jedoch Anreicherung bei pH ca. 9;

die Anreicherung nach der ZnS-Methode wurde durch Bestimmung von Kupfer aus einer Lösung getestet: H_2O bidest. wurde angereichert mit 0,004 mg Cu/l, wiedergefunden: 0,0035 mg Cu/l. – Bei der Anwendung der ZnS- (und bei Zink der MnS-)Methode muß darauf geachtet werden, daß die Papierfilter mit einer Teflon-Pinzette abgehoben werden, um Verfälschungen durch Eintrag des Pinzettenmaterials (besonders Nickel) zu vermeiden. – Bei Cadmium lief die Eichkurve gelegentlich nicht wieder durch den Nullpunkt, so daß Wiederholungen der Bestimmung erforderlich wurden. Literatur: DISAM, TSCHÖPEL & TÖLY (1979).

Ba, Sr, Cr und V wurden nach der Standard-Additions-Methode von der Graphitrohrküvette im AAS gemessen; die Bestimmung im pyrolytisch (durch Methanverbrennung) beschichteten Graphitrohr ermöglicht eine höhere Empfindlichkeit der Bestimmung. Bei Anwendung der Standard-Additions-Methode (n. PERKIN-ELMER) werden Matrix-Effekte durch gegenseitige Elementbeeinflussung ausgeschlossen. Literatur: PERKIN-ELMER, Bedienungsan-

leitung Graphitrohrküvette HGA-74, Anwendung der Standard-Additions-Methode.

Zn ist in der Graphitrohrküvette nicht meßbar; die Bestimmung erfolgte nach Anreicherung in einem MnS-getränkten Membranfilter bei pH ca. 9 im Flammen-AAS.

As, Hg wurden ohne Aufschluß, also nur freies As und Hg, bestimmt, und zwar ohne Anreicherung im AAS mit Hydridsystem (wobei das zu messende Element in ein Hydrid überführt wird). Literatur: Bedienungsanleitung PERKIN-ELMER, Hydridsystem.

F: direktpotentiometrische Bestimmung mit fluoridsensitiver Elektrode. Literatur: Analytischer Methodenführer; Orion Research; 9. Ausgabe, 1979. – Methode R 4: Fluorid im Trinkwasser.

Li wurde wie Zink im Flammen-AAS, jedoch ohne Anreicherung, bestimmt.

3.2.4. Analysenverlauf

Sofern verunreinigt (Wässer aus neuen Bohrungen mit Bohrtrübe), wurden die Proben zunächst über ein unbehandeltes Membranfilter gereinigt. Dann wurden die Analysen folgendermaßen ausgeführt:

a) Bestimmung von Hg und As

b) Anreicherung der Probe

500 ml Probe mit NaOH suprapur auf pH ca. 3 eingestellt und über ein ZnS-getränktes Filter gegeben. Auflösung des Rückstandes auf Filter mit $\text{HNO}_3 + \text{HCL}$, auffüllen bis 10 ml, Bestimmung von Cu, Pb und Cd. 500 ml Probe auf pH ca. 9 eingestellt, Filterung im ZnS-Filter, Bestimmung von Co und Ni im aufgelösten Rückstand. 150 ml Probe bei pH ca. 9 über MnS-Filter, Bestimmung von Zn im aufgelösten Rückstand.

c) Bestimmung von Ba, Sr, Cr und V

d) Für die Bestimmung des Fluorids wurden die Proben im Verhältnis 1:1 mit einem TISAB-Puffer (nach der Fa. Orion/USA) gemischt und direkt potentiometrisch bestimmt.

Alle Bestimmungen wurden doppelt ausgeführt. Das AAS und die Zubehörgeräte stammen von der Firma PERKIN-ELMER (306, PE; MHS-1; 420 PE).

3.2.5. Vergleichs- und Kontrollanalysen

Zur Kontrolle wurden Synchronbestimmungen von zwei am 16. 10. 80 in Kelsterbach und Langen entnommenen Wasserproben sowohl im Laboratorium Fresenius (Tausenstein-Neuhof) als auch im Labor des Hess. Landesamtes für Bodenforschung (Frau SCHNEIDER) bestimmt:

Kelsterbach (jeweils 10^{-6} g/l)

	HLfB	Fresenius
As	1,3	1,7
Cd	< 0,04	0,4

Cu	3,0	9,0
Pb	6,0	11,0
Zn	42,4	59,0
Langen		
As	< 1,0	1,2
Cd	< 0,04	0,2
Cu	1,0	2
Pb	< 1,0	2
Zn	34,2	41,0

Danach zeigten sich zwar in den Größenordnungen Übereinstimmungen, jedoch fielen alle Werte im Labor Fresenius höher aus, ohne daß eine Erklärung gefunden werden konnte.

Änderungen der Konzentrationen, die sich durch verspätete Analysen ergeben könnten, wurden durch Wiederholungs-Bestimmungen derselben Proben untersucht. Die Folgewerte sind in der anschließenden Zusammenstellung in Prozent auf den Erstwert (jeweils mg/l) bezogen:

Strontium

Probe(Entnahme)	Bestimmung	am	Abweichung (%) vom Erstwert	
Wohratal, Br. W 4 (14. 11. 80)	0,2032	21. 11. 80	0	
	0,0944	26. 11. 80	-53	
	0,1130	03. 12. 80	-43	
	0,1219	05. 12. 80	-40	
Wohratal, Br. W 4 (01. 12. 80)	PVC-Flasche	03. 12. 80	0	
	Glasflasche	03. 12. 80	+ 5	
	PVC	05. 12. 80	- 6	
	PVC	10. 12. 80	- 8	
	PVC	12. 12. 80	+ 1	
	Gedern, Br. 146 (01. 12. 80)	PVC	03. 12. 80	0
		Glas	03. 12. 80	- 8
PVC		10. 12. 80	- 2	
PVC		12. 12. 80	- 4	

Barium

Wohratal, Br. W 4 (14. 11. 80)	0,0902	20. 11. 80	0
	0,0547	26. 11. 80	-39
	0,0185	04. 12. 80	-79

Chrom

Wohratal, Br. W 4 (14. 11. 80)	0,0038	18. 11. 80	0
	0,0057	26. 11. 80	+50
	0,0035	05. 12. 80	- 8

Vanadium

Wohratal, Br. W 4 (14. 11. 80)	0,1364	24. 11. 80	0
	0,0753	26. 11. 80	-45
	0,0952	05. 12. 80	-30

Arsen

Wohratal, Br. W 4 (14. 11. 80)	0,0029	24. 11. 80	0
	0,0008	27. 11. 80	-72

Die Beispiele lassen erkennen, daß schon unterschiedliche Lagerfristen zu Konzentrationsänderungen führen, die zwar überwiegend zu Abnahmen, vereinzelt aber auch zu Zunahmen (Analysen-Toleranzen?, Staub?, Lösung aus Flaschenwandungen?) führen. Da außerdem trotz aller Sorgfalt mit Ungenauigkeiten in den Bestimmungen gerechnet werden muß, müssen unterschiedliche Analyseergebnisse nicht nur in dieser Arbeit, sondern auch in der Praxis schlechthin stets kritisch bewertet werden.

3.2.6. Analysenergebnisse

Die ersten im Rahmen dieser Arbeit vollständig untersuchten Proben wurden am 01. 04. 1980, die letzten am 05. 03. 1981 entnommen. Aus technischen Gründen war eine zeitgleiche Probenahme aus allen Stellen nicht möglich. Alle Analysenergebnisse (einschließlich der üblichen Regelwasseruntersuchungen) wurden auf Ablochformulare und Lochkarten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (HÖLTING 1980b) gebracht.

Die Analysenergebnisse der Spurenbestimmungen sind in den Tab. 2–7 zusammengestellt. Die Nachweisgrenzen für die einzelnen untersuchten Elemente sind in den Tab. 8–12 angegeben. Soweit nicht anders angegeben, wurden die Konzentrationen in der Dimension mg/l (= ppm), bei den höher konzentrierten Mineralwässern in mg/kg angegeben.

4. Auswertung der Spurenbestimmungen

4.1. Die Spurenkonzentrationen in den periodisch beprobten Brunnen

Die Ergebnisse der Bestimmungen sind in den Tab. 8–12 nach Mittelwerten sowie den im Untersuchungszeitraum aufgetretenen Maxima und Minima zusammengefaßt. Außerdem sind jeweils die Nachweisgrenzen angegeben.

Nieder-Beerbach (Tab. 8)

Der Brunnen steht (Abschn. 2.2.) im kristallinen Grundgebirge. Die Brunnenfilter reichen zwar noch bis in die pleistozänen sandigen Block-Kiese, doch fließt der wesentliche Teil des Grundwassers aus dem Kristallin zu. Nach dem Chloridgehalt sind anthropogene Einflüsse gering. Die Umgebung ist weithin bewaldet, nur

Tab. 2. Analysenergebnisse der Proben aus dem Brunnen Nieder-Beerbach
(Alle Angaben in mg/l)

Entnahme- datum	18.04. 1980	14.05. 1980	04.06. 1980	01.07. 1980	14.08. 1980	18.09. 1980
As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ba	0,0676	0,352	0,1641	0,0175	0,1593	0,0841
Cd	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	0,00008
Co	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cr	0,0046	0,0034	0,0012	0,0025	0,0025	0,0017
Cu	<0,002	0,0039	0,0072	<0,002	0,0021	<0,002
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Li	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
Ni	<0,002	<0,002	0,0079	0,0155	0,0123	0,0099
Pb	<0,001	0,0011	0,0057	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,4564	0,3699	0,2584	0,2725	0,3135	0,2757
V	<0,02	0,346	0,0398	0,022	0,0208	0,0399
Zn	0,0094	0,0418	0,0787	0,0083	0,0197	0,0424
F	0,123	0,116	0,111	<0,1	0,145	0,163

Tab. 3. Analysenergebnisse der Proben aus dem Brunnen Dombachtal III,
WBV Tenne (Alle Angaben in mg/l)

Entnahme- datum	18.04. 1980	09.05. 1980	02.06. 1980	25.06. 1980	15.08. 1980
As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ba	± 0	0,231	0,4382	0,0272	0,2316
Cd	0,00008	<0,00004	<0,00004	<0,00004	0,00008
Co	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cr	<0,001	0,0077	0,0074	0,0022	0,0011
Cu	<0,002	0,0019	0,0077	0,0037	<0,002
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Li	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
Ni	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Pb	<0,001	0,0014	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,055	0,0856	0,0998	0,1205	0,0878
V	<0,02	0,245	0,541	0,1098	0,0611
Zn	0,0128	0,027	0,1481	0,0087	0,0192
F	0,142	0,128	0,129	0,125	0,145

07.10. 1980	11.11. 1980	11.12. 1980	15.01. 1981	10.02. 1981	05.03. 1981	Mittel- wert
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
0,0704	0,0735	0,0201	0,011	0,0176	0,0421	0,0899
0,00009	<0,00004	<0,00004	0,00005	0,00011	0,0005	0,00008
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
0,0029	0,0044	0,0028	0,0042	0,001	0,0029	0,0028
0,0019	<0,002	<0,002	0,0023	<0,002	<0,002	0,002
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
0,0024	<0,002	0,002	0,002	<0,002	<0,002	0,0048
0,001	<0,001	<0,001	0,0017	<0,001	0,0013	0,0012
0,2679	0,2701	0,2328	0,2857	0,2488	0,2561	0,2923
0,0471	0,0526	0,0162	0,0435	0,0287	0,0248	0,0336
0,0212	0,0336	0,0545	0,0396	0,0213	0,0189	0,0325
0,118	0,4635	0,4701	0,453	0,414	0,427	0,446

10.09. 1980	10.10. 1980	13.11. 1980	19.02. 1981	05.03. 1981	Mittel- wert
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
0,0172	0,0687	0,0432	0,0581	0,0508	0,1166
0,00005	<0,00004	<0,00004	0,0031	0,0009	0,0004
<0,002	<0,002	<0,002	0,0023	<0,002	<0,002
0,0016	0,0125	0,0022	0,0024	0,0026	0,0044
<0,002	<0,002	0,0034	0,0036	0,004	0,0029
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
<0,002	<0,002	0,0025	<0,002	<0,002	<0,002
<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0012	<0,001
0,1026	0,0828	0,0867	0,0663	0,0704	0,0858
0,0774	0,0839	0,1025	0,0643	0,077	0,1372
0,040	0,0492	0,0261	0,0237	0,0194	0,0374
0,170	0,143	0,508	0,414	0,402	0,231

Tab. 4. Analysenergebnisse der Proben aus dem Brunnen Twiste
(Alle Angaben in mg/l)

Entnahme- datum	01.04. 1980	09.05. 1980	16.06. 1980	07.08. 1980	26.08. 1980	04.09. 1980
As	0,017	0,0093	0,0104	0,0097	0,0196	0,0194
Ba	n.b.	0,254	0,0791	0,025	0,1009	0,0285
Cd	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Co	0,0176	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cr	<<0,001	0,0063	0,0065	0,0018	0,0042	0,0018
Cu	<0,002	0,0024	0,0024	<0,002	<0,002	<0,002
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	n.b.	n.b.
Li	<<0,1	<<0,1	<<0,1	<<0,1	<<0,1	± 0
Ni	0,0597	0,0061	0,0067	0,0024	<0,002	<0,002
Pb	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	n.b.	2,593	2,356	2,325	2,114	2,685
V	<0,02	0,313	0,0598	0,0398	0,0394	0,0369
Zn	n.b.	0,0308	0,1289	0,042	0,0389	0,0296
F	n.b.	0,158	0,146	0,133	0,130	0,141

Tab. 5. Analysenergebnisse der Proben aus dem Brunnen Wohra
(Alle Angaben in mg/l)

Entnahme- datum	01.04. 1980	21.04. 1980	09.05. 1980	02.06. 1980	16.06. 1980	07.08. 1980
As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ba	<<0,05	0,442	0,082	0,4167	0,1173	0,1844
Cd	0,00043	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Co	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cr	<<0,001	0,0076	0,0033	0,0083	0,0015	0,0019
Cu	<0,002	0,0052	0,003	0,0031	0,0059	<0,002
Hg	<0,002	0,0082	0,0081	<0,002	<0,002	<0,002
Li	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
Ni	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Pb	<0,001	0,0032	0,0019	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,119	0,1936	0,155	0,1052	0,1595	0,1485
V	<0,02	<0,02	<0,02	0,4649	0,1481	0,0991
Zn	n.b.	0,0225	0,0308	0,0462	0,2009	0,0161
F	n.b.	0,127	0,119	0,118	0,111	0,143

1) ohne erste Analyse

n.b. = nicht bestimmt

26.09. 1980	14.10. 1980	17.11. 1980	15.12. 1980	22.01. 1981	03.02. 1981	18.02. 1981	Mittelwert
0,0153	0,0191	0,0163	0,0144	0,0169	0,0184	0,0107	0,0151
0,0256	0,0246	0,032	0,0293	0,0563	0,0494	0,0557	0,0585
<0,00004	0,0002	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0024	<0,002	0,002
0,0025	0,0017	0,0042	0,0047	0,020	0,001	0,0075	0,0048
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
<<0,1	<<0,1	<<0,1	<<0,1	<<0,1	<<0,1	<<0,1	<<0,1
<0,002	0,0026	<0,002	0,002	<0,002	0,0026	<0,002	0,0068
0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0011	<0,001
1,245	2,304	1,402	1,379	1,630	2,179	1,571	1,982
0,0411	0,071	0,044	0,0435	0,0338	0,0623	0,0921	0,0681
0,0284	0,0411	0,0289	0,042	0,0312	0,0435	0,0429	0,044
0,208	0,139	0,497	0,487	0,495	0,541	0,525	0,30

n.b. = nicht bestimmt

26.09. 1980	20.10. 1980	14.11. 1980	01.12. 1980	15.12. 1980	26.01. 1981	09.02. 1981	Mittelwert
0,002	<0,002	0,0029	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
0,1949	0,1011	0,0902	0,0915	0,0461	0,1244	0,0859	0,1622 ¹⁾
<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
0,0012	0,0018	0,0038	0,0052	0,003	0,0376	0,0065	0,0079
0,008	0,002	<0,002	0,0094	<0,002	<0,002	<0,002	0,003
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
0,0051	<0,002	0,0039	0,0024	0,002	0,0022	<0,002	0,002
0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0015	<0,001	<0,001	0,001
0,1581	0,1502	0,2032	0,1326	0,1063	0,1153	0,1379	0,145
0,0901	0,0853	0,1364	0,1216	0,1302	0,1154	0,0791	0,115
0,0201	0,0568	0,0229	0,0269	0,023	0,0283	0,0285	0,0436
0,194	0,109	0,4734	0,487	0,4668	0,281	0,235	0,239

Tab. 6. Analyseergebnisse der Proben aus dem Brunnen Gedern
(Alle Angaben in mg/l)

Entnahme- datum	18.04. 1980	09.05. 1980	02.06. 1980	25.06. 1980	21.08. 1980
As	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Ba	± 0	0,190	0,3306	0,049	0,0072
Cd	0,00012	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Co	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cr	0,0055	0,005	0,0082	0,0019	0,0044
Cu	<0,002	<0,002	0,009	0,002	<0,002
Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	n.b.
Li	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
Ni	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Pb	0,0021	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Sr	0,1533	0,1513	0,2513	0,1484	0,153
V	<0,02	0,191	0,3237	0,0643	0,0276
Zn	0,0128	0,0278	0,0522	0,0166	0,0139
F	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,114

in unmittelbarer Nähe liegen Wiesen. Der Fassungsbereich um den Brunnen ist eingezäunt. Der in der Probe vom 18. 04. 80 ermittelte, leicht erhöhte Nitratgehalt (28,5 mg/l) findet sich in den Regel-Trinkwasseruntersuchungen nicht wieder, sondern wechselt zwischen 16 und 19 mg/l.

In den 12 auf Spurenkonzentrationen untersuchten Wasserproben blieben im Mittel die Gehalte an Arsen, Cobalt und Quecksilber unter der Nachweisgrenze, Lithium fehlte in allen Proben. Bei Barium, Strontium und Zink erreichten die Minima nicht die Nachweisgrenze, bei Arsen und Quecksilber auch nicht die Maxima. Relativ hoch im Verhältnis zu anderen untersuchten Spuren sind die Mittel von Strontium, Fluorid, Barium, Vanadium und Zink.

WBV Tenne, Brunnen Dombachtal III (Tab. 9)

Das Grundwasser fließt aus unterdevonischen Tonschiefern dem Brunnen zu. Zuflüsse aus der pleistozänen Überdeckung und den obersten Tonschiefern sind durch die Abdichtung abgesperrt. Die Umgebung ist weithin bewaldet, der Fassungsbereich eingezäunt. Der in der Probe vom 18. 04. 81 bestimmte Wert des Nitratgehaltes findet sich in den üblichen Trinkwasseruntersuchungen nicht wieder (überwiegend: nicht nachweisbar).

In den 10 untersuchten Proben blieben die Mittel von Arsen, Cobalt, Quecksilber, Nickel und Blei unter der Nachweisgrenze; Lithium fehlte in allen Proben. Bei den Minima erreichten Arsen, Barium, Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Lithium, Nickel, Blei und Vanadium, bei den Maxima auch Arsen, Quecksilber und Lithium nicht die Nachweisgrenze. Relativ (etwas) höhere

n.b. = nicht bestimmt

17.09. 1980	23.10. 1980	01.12. 1980	26.01. 1981	03.02. 1981	05.03. 1981	Mittel- wert
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
0,0561	0,0558	0,0765	0,0278	0,0394	0,0807	0,0647
<0,00004	<0,00004	<0,00004	0,0002	0,0001	<0,00004	0,00005
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0018	0,002	<0,002
0,0037	0,0025	0,0071	0,0362	0,0015	0,0039	0,0073
<0,002	0,0015	0,0019	<0,002	<0,002	<0,002	0,002
<0,002	n.b.	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
0,001	0,0012	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
0,1143	0,1301	0,1258	0,1232	0,1166	0,1278	0,1344
0,0447	0,0431	0,1924	0,0293	0,0647	0,066	0,0803
0,0454	0,0431	0,0232	0,0209	0,0475	0,0362	0,0309
0,134	<0,1	0,5008	0,466	0,402	0,427	0,231

Konzentrationen erreichten die Mittel von Fluorid, Vanadium, Barium, Strontium und Zink.

Twistetal-Twiste (Tab. 10)

Das Grundwasser fließt aus der gesamten Zechstein-Schichtenfolge zu, der Brunnen läuft artesisch über. Die rd. 129 m mächtige Überdeckung durch Sand- und Schluffsteine des Unteren Buntsandsteins sperrt oberflächennahe Zuflüsse völlig ab. Geohydrochemisch handelt es sich um ein typisches Zechsteinwasser. Nitrate sind in dem anaeroben Milieu reduziert und fehlen.

Unter der Nachweisgrenze blieben bei 13 Analysen die Mittel von Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Blei; Lithium wurde vereinzelt andeutungsweise nachgewiesen. Bei den Minima erreichten Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Lithium, Nickel und Blei, bei den Maxima Cadmium, Quecksilber und Lithium nicht die Nachweisgrenze. Relativ höhere Konzentrationen erreichten nur die Mittel für Strontium und Fluorid.

Wasserwerk Wohratal bei Kirchhain, Brunnen W 4 (Tab. 11)

Grundwasserleitend sind Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins. Oberflächennahe Zuflüsse sind durch die rd. 13 m mächtige Abdichtung abgesperrt. Das nördlich anschließende Einzugsgebiet ist weitgehend bewaldet.

Im Mittel der 13 Analysen blieben Arsen, Cadmium, Cobalt und Quecksilber unter der Nachweisgrenze; Lithium fehlte in allen Proben. Bei den Minima lagen

Tab. 7. Analysenergebnisse von Einzelproben (alle Angaben in mg/l)

n.b. = nicht bestimmt

Probe		WBV Tenne (Br.Dottenbach)	Bad Wildungen (Helenenquelle) Bl. 482o	Steinperf Bl. 5116	Ober-Waroldern	Arolsen- Trappenberg Bl. 4619
Datum		10.09.80	25.06.80	21.04.80	26.09.80	14.05.80
Arsen	As	<0,002	<0,002	<0,002	0,0055	0,0036
Barium	Ba	0,0395	0,7729	± 0	0,1641	n.b.
Cadmium	Cd	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobalt	Co	<0,002	0,0045	<0,002	<0,002	<0,002
Chrom	Cr	0,0025	0,0036	0,0172	0,0031	0,0135
Cupfer	Cu	0,0018	0,0067	<0,002	<0,002	<0,002
Quecksilber	Hg	<0,002	<0,002	0,0182	<0,002	n.b.
Lithium	Li	≪0,1	0,6643	± 0	<0,1	± 0
Nickel	Ni	<0,002	0,0214	<0,002	<0,002	<0,002
Blei	Pb	<0,001	<0,001	<0,001	0,0019	<0,001
Strontium	Sr	0,1496	2,741	0,0873	1,270	2,474
Vanadium	V	0,1076	0,1206	<0,020	0,1039	0,457
Zink	Zn	0,0363	0,029	<0,006	0,016	0,1464
Fluorid	F ⁻	0,153	0,108	0,185	2,698	1,586

Probe		Wohra (Br. W 10)	Grube Messel 1	Grube Messel 2	Grube Messel 4	Grube Messel 5
Datum		26.09.80	15.09.80	26.11.80	09.10.80	30.10.80
Arsen	As	<0,002	0,0038	<0,002	0,0029	0,0013
Barium	Ba	0,1546	0,1651	0,0252	0,3310	0,1223
Cadmium	Cd	<0,00004	0,00011	<0,00004	<0,00004	<0,00004
Cobalt	Co	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Chrom	Cr	0,0026	0,0054	0,0016	0,0342	0,0016
Cupfer	Cu	<0,002	0,0027	<0,002	0,0082	<0,002
Quecksilber	Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Lithium	Li	<0,1	0,200	0,210	0,190	0,3762
Nickel	Ni	0,007	0,004	<0,002	0,0024	<0,002
Blei	Pb	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001
Strontium	Sr	0,0556	0,9789	0,9674	0,8070	1,8524
Vanadium	V	0,1131	0,0865	0,0097	0,1129	0,5093
Zink	Zn	0,017	0,7065	0,363	0,410	0,489
Fluorid	F ⁻	0,146	1,940	5,08	1,636	1,509

Probe		Arolsen-Braunsen	Küchen	Waltersdorf	Marjöß	Brückenaue
Datum		20.10.80	18.02.81	16.04.80	15.09.80	26.02.81
Arsen	As	0,0029	0,1471	0,062	0,0021	0,0491
Barium	Ba	0,1720	0,0617	2,023	0,5817	14,630
Cadmium	Cd	<0,00004	0,00004	<0,00004	0,00019	0,0009
Cobalt	Co	0,0028	0,080	<0,002	<0,002	0,0049
Chrom	Cr	0,005	0,0151	0,0195	0,0074	0,0047
Cupfer	Cu	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,102
Quecksilber	Hg	0,0025	<0,002	<0,002	<0,002	0,0047
Lithium	Li	<<0,1	<<0,1	0,100	<<0,1	0,1627
Nickel	Ni	0,003	<0,002	<0,002	0,006	0,016
Blei	Pb	0,0017	<0,001	0,003	0,0031	0,012
Strontium	Sr	4,7799	1,776	9,603	0,2229	4,616
Vanadium	V	0,0524	0,1195	<0,020	0,1465	0,0318
Zink	Zn	0,0365	0,0547	0,0086	16,1466	0,056
Fluorid	F ⁻	2,591	0,317	1,467	1,70	2,730

Probe		Bad Soden/Salm. (König-Heinrich- Sprudel) Bl.5722	Bohrung Hähnlein Bl. 6217	Astheim Bl. 6016	Bad Honburg v.d.H. (Ludwigsbrunnen) Bl. 5717	Wiesbaden (Kochbrunnen) Bl. 5915	Wiesbaden (Faulbrunnen) Bl. 5915
Datum		01.07.80	28.05.80	30.06.80	15.08.80	05.08.80	05.08.80
Arsen	As	0,6844	<0,002	0,002	0,0137	0,0765	0,0436
Barium	Ba	0,2163	33,90	6,34	4,010	1,049	0,1175
Cadmium	Cd	<0,00004	<0,00004	<0,00004	<0,00004	0,00009	<0,00004
Cobalt	Co	<0,002	<0,002	0,0278	0,0042	0,002	<0,002
Chrom	Cr	0,0052	0,007	0,0023	0,0018	0,0024	0,001
Cupfer	Cu	<0,002	<0,002	<0,002	0,0387	0,0235	<0,002
Quecksilber	Hg	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Lithium	Li	10,580	9,01	0,750	2,414	3,2782	2,846
Nickel	Ni	<0,002	<0,002	0,0691	0,021	0,0096	0,0039
Blei	Pb	0,0018	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Strontium	Sr	30,205	51,19	11,045	3,135	18,965	10,745
Vanadium	V	0,1025	0,6129	0,1018	0,0521	0,0899	0,0402
Zink	Zn	0,0391	0,1227	0,0195	0,0348	0,0523	0,0408
Fluorid	F ⁻	0,162	1,539	0,113	1,659	0,850	0,850

Tab. 8. Mittel- und Grenzwerte der Analysenreihe des Brunnens Nieder-Beerbach
(Konzentration in mg/l, Analysenzahl: 12)

Element		Mittel	Maximum	Minimum	Nachweisgrenze
Arsen	(As)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Barium	(Ba)	0,0899	0,352	0,011	<0,05
Cadmium	(Cd)	0,00008	0,00009	<0,00004	<0,00004
Cobalt	(Co)	<0,002	0,002	<0,002	<0,002
Chrom	(Cr)	0,0028	0,0046	<0,002	<0,002
Kupfer	(Cu)	0,002	0,0072	<0,002	<0,002
Quecksilber	(Hg)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Lithium	(Li)	± 0	± 0	± 0	± 0
Nickel	(Ni)	0,0048	0,0155	<0,002	<0,002
Blei	(Pb)	0,0012	0,0057	<0,001	<0,001
Strontium	(Sr)	0,2923	0,4564	0,2328	<0,02
Vanadium	(V)	0,0336	0,346	<0,002	<0,002
Zink	(Zn)	0,0325	0,0787	0,0082	<0,006
Fluorid	(F)	0,446 ¹⁾	0,4701	(<0,1)	<0,1

¹⁾ Mittel November 80 bis März 81

Tab. 9. Mittel- und Grenzwerte der Analysenreihe des Brunnens WBV Tenne
(Konzentration in mg/l, Analysenzahl: 10)

Element		Mittel	Maximum	Minimum	Nachweisgrenze
Arsen	(As)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Barium	(Ba)	0,1166	0,4382	± 0	<0,05
Cadmium	(Cd)	0,0004	0,0031	<0,00004	<0,00004
Kobalt	(Co)	<0,002	0,0023	<0,002	<0,002
Chrom	(Cr)	0,0044	0,0125	<0,002	<0,002
Kupfer	(Cu)	0,0029	0,0077	<0,002	<0,002
Quecksilber	(Hg)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Lithium	(Li)	± 0	± 0	± 0	± 0
Nickel	(Ni)	<0,002	0,0025	<0,002	<0,002
Blei	(Pb)	<0,001	0,0014	<0,001	<0,001
Strontium	(Sr)	0,0858	0,1205	0,055	<0,002
Vanadium	(V)	0,1372	0,541	<0,02	<0,02
Zink	(Zn)	0,0374	0,1481	0,0087	<0,006
Fluorid	(F)	0,441 ¹⁾	0,508	(0,125)	<0,1

¹⁾ Mittel November 80 bis März 81

Tab. 10. Mittel- und Grenzwerte der Analysenreihe des Brunnens Twiste
(Konzentration in mg/l, Analysenzahl: 13)

Element		Mittel	Maximum	Minimum	Nachweisgrenze
Arsen	(As)	0,0151	0,0191	0,0093	<0,002
Barium	(Ba)	0,0585	0,254	0,0246	<0,05
Cadmium	(Cd)	<0,00004	<0,0002	<0,00004	<0,00004
Cobalt	(Co)	0,002	0,0176	<0,00004	<0,002
Chrom	(Cr)	0,0048	0,02	<0,002	<0,002
Kupfer	(Cu)	<0,002	0,002	<0,002	<0,002
Quecksilber	(Hg)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Lithium	(Li)	≪0,1	≪0,1	≪0,1	± 0
Nickel	(Ni)	0,0068	0,0597	<0,002	<0,002
Blei	(Pb)	<0,001	0,0011	<0,001	<0,001
Strontium	(Sr)	1,982	2,685	1,245	<0,02
Vanadium	(V)	0,0681	0,313	0,0369	<0,02
Zink	(Zn)	0,044	0,1289	0,0284	<0,006
Fluorid	(F)	0,509 ¹⁾	0,541	(0,13)	<0,1

¹⁾ Mittel November 80 bis März 81

Tab. 11. Mittel- und Grenzwerte der Analysenreihe des Brunnens Wohra
(Konzentration in mg/l, Analysenzahl: 13)

Element		Mittel	Maximum	Minimum	Nachweisgrenze
Arsen	(As)	<0,002	0,0029	<0,002	<0,002
Barium	(Ba)	0,1622	0,1949	0,0461	<0,05
Cadmium	(Cd)	<0,00004	0,000043	<0,00004	<0,00004
Cobalt	(Co)	<0,002	0,002	<0,002	<0,002
Chrom	(Cr)	0,0079	0,0376	<0,002	<0,002
Kupfer	(Cu)	0,003	0,0094	<0,002	<0,002
Quecksilber	(Hg)	<0,002	0,0082	<0,002	<0,002
Lithium	(Li)	± 0	± 0	± 0	± 0
Nickel	(Ni)	0,002	0,0051	<0,002	<0,002
Blei	(Pb)	0,001	0,0032	<0,001	<0,001
Strontium	(Sr)	0,115	0,2032	0,1052	<0,02
Vanadium	(V)	0,073	0,4649	<0,02	<0,02
Zink	(Zn)	0,0436	0,2009	0,0161	<0,006
Fluorid	(F)	0,389 ¹⁾	0,487	(0,109)	<0,1

¹⁾ Mittel November 80 bis März 81

Arsen, Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Lithium, Nickel, Blei und Vanadium, also die meisten untersuchten Spurenmetalle, unter der Nachweisgrenze. Dagegen überschritten bei den Maxima die Gehalte aller untersuchten Elemente mit Ausnahme von Lithium die Nachweisgrenze, was sonst in keiner der beprobten Stellen festzustellen war. Relativ ergaben sich jedoch niedrige mittlere Konzentrationen, leicht erhöht waren Fluorid, Barium, Strontium und Vanadium.

Brunnen 146 der OVAG bei Gedern (Tab. 12)

Grundwasserleitend sind tertiäre Basalte. Die 44 m mächtige Zementierung sperrt oberflächennahe Zuflüsse ab. Im Mittel der 11 untersuchten Wasserproben blieben Arsen, Cobalt, Quecksilber, Nickel und Blei unter der Nachweisgrenze, desgleichen die Minima mit Ausnahme von Strontium und Zink. Lithium fehlte in allen Proben. Auch die Maxima von Arsen, Cobalt und Nickel erreichten die Nachweisgrenze nicht. Im ganzen waren auch die mittleren Konzentrationen relativ niedrig. Etwas erhöht waren lediglich Fluorid und Strontium.

4.2. Konzentrationsganglinien der untersuchten Spurenstoffe in den periodisch beprobten Brunnen

Die Konzentrationsganglinien, d. h. die zeitbezogenen Änderungen der Konzentrationen können in zwei verschiedenen Ebenen betrachtet werden:

Tab. 12. Mittel- und Grenzwerte der Analysenreihe des Brunnens Gedern
(Konzentration in mg/l, Analysenzahl: 11)

Element		Mittel	Maximum	Minimum	Nachweisgrenze
Arsen	(As)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Barium	(Ba)	0,0647	0,3306	<0,05	<0,05
Cadmium	(Cd)	0,00005	0,0002	<0,00004	<0,00004
Cobalt	(Co)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Chrom	(Cr)	0,0073	0,0362	<0,002	<0,002
Kupfer	(Cu)	0,002	0,009	<0,002	<0,002
Quecksilber	(Hg)	<0,002	0,002	<0,002	<0,002
Lithium	(Li)	± 0	± 0	± 0	± 0
Nickel	(Ni)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Blei	(Pb)	<0,001	0,0021	<0,001	<0,001
Strontium	(Sr)	0,1344	0,1531	0,1143	<0,02
Vanadium	(V)	0,0803	0,3237	<0,2	<0,02
Zink	(Zn)	0,0309	0,0522	0,0128	<0,006
Fluorid	(F)	0,449 ¹⁾	0,5008	(<0,1)	<0,1

¹⁾ Mittel November 80 bis März 81

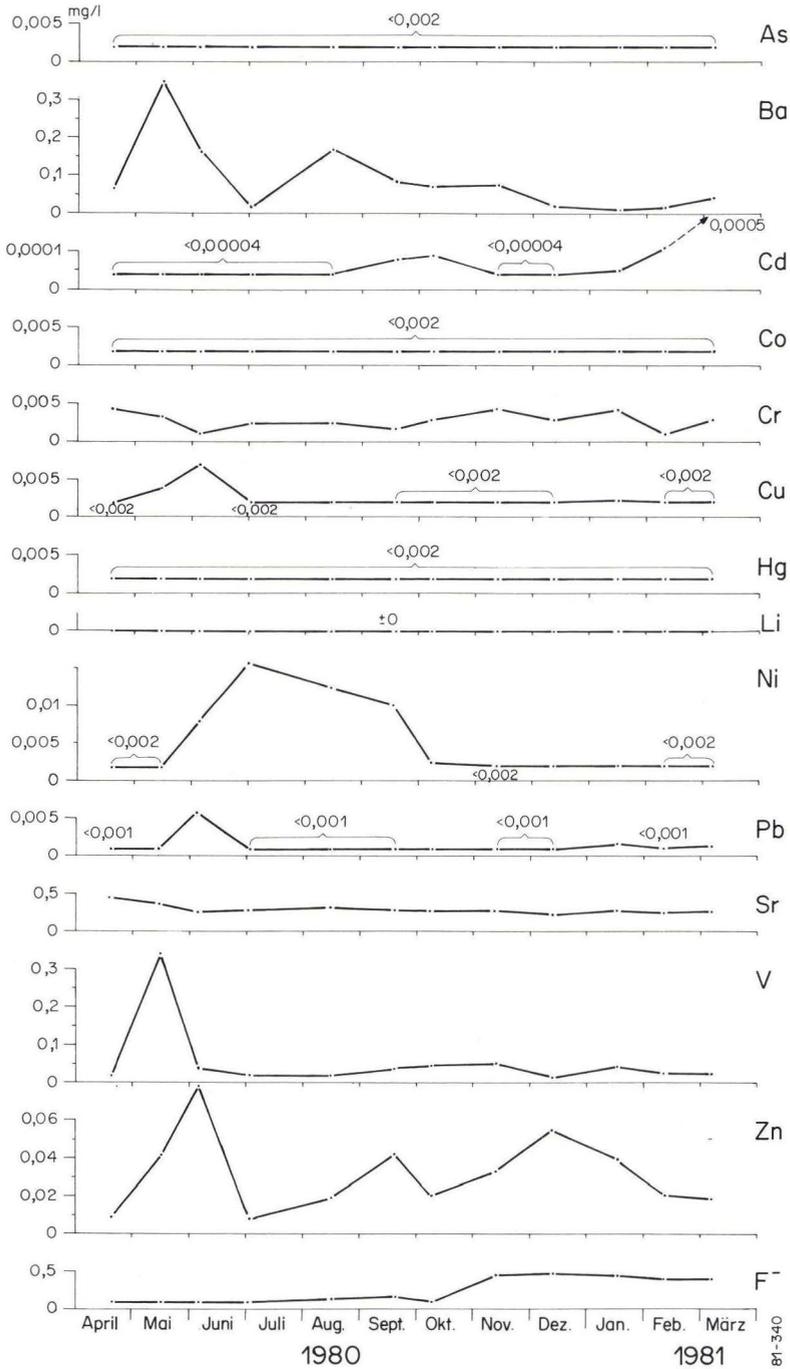


Abb. 1. Konzentrations-Ganglinien in Nieder-Beerbach.

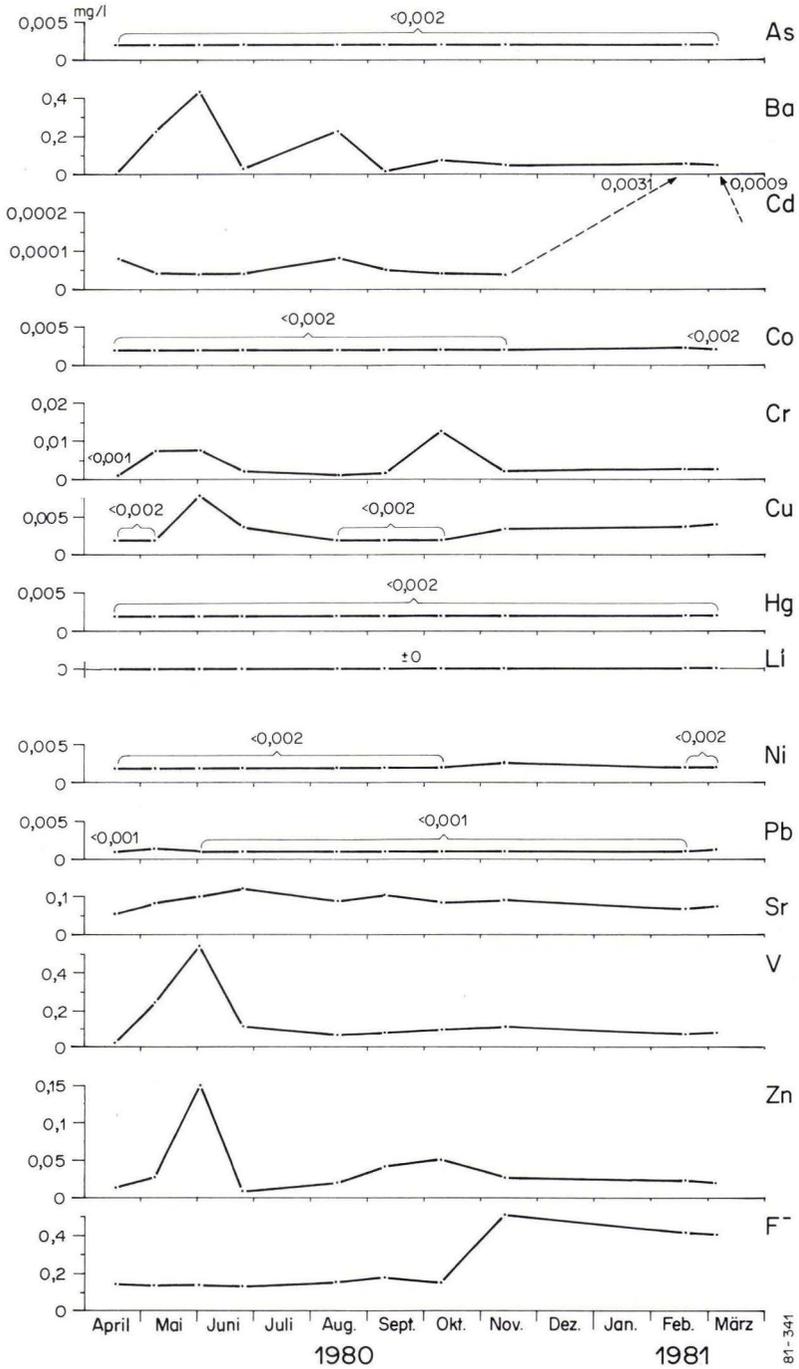


Abb. 2. Konzentrations-Ganglinien in Tenne.

81-341

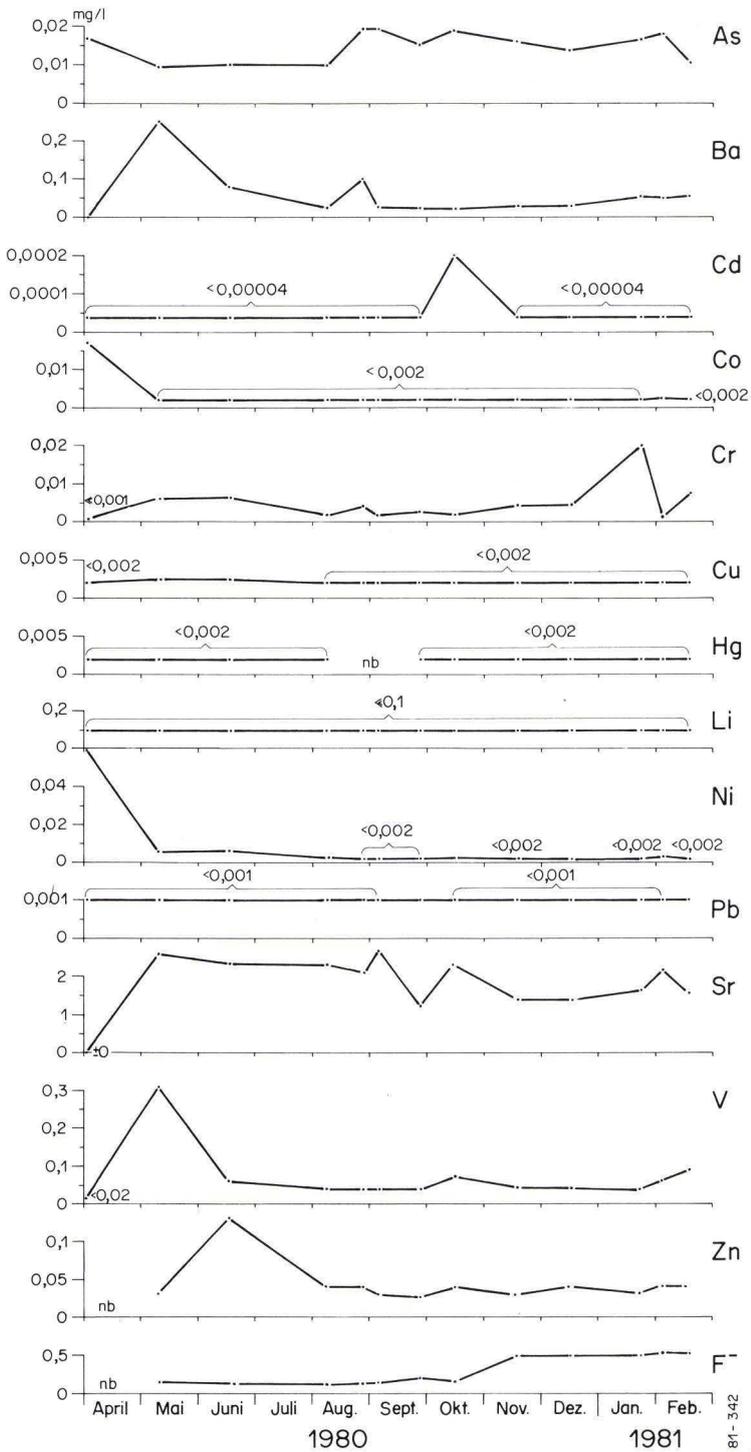


Abb. 3. Konzentrations-Ganglinien in Twiste.

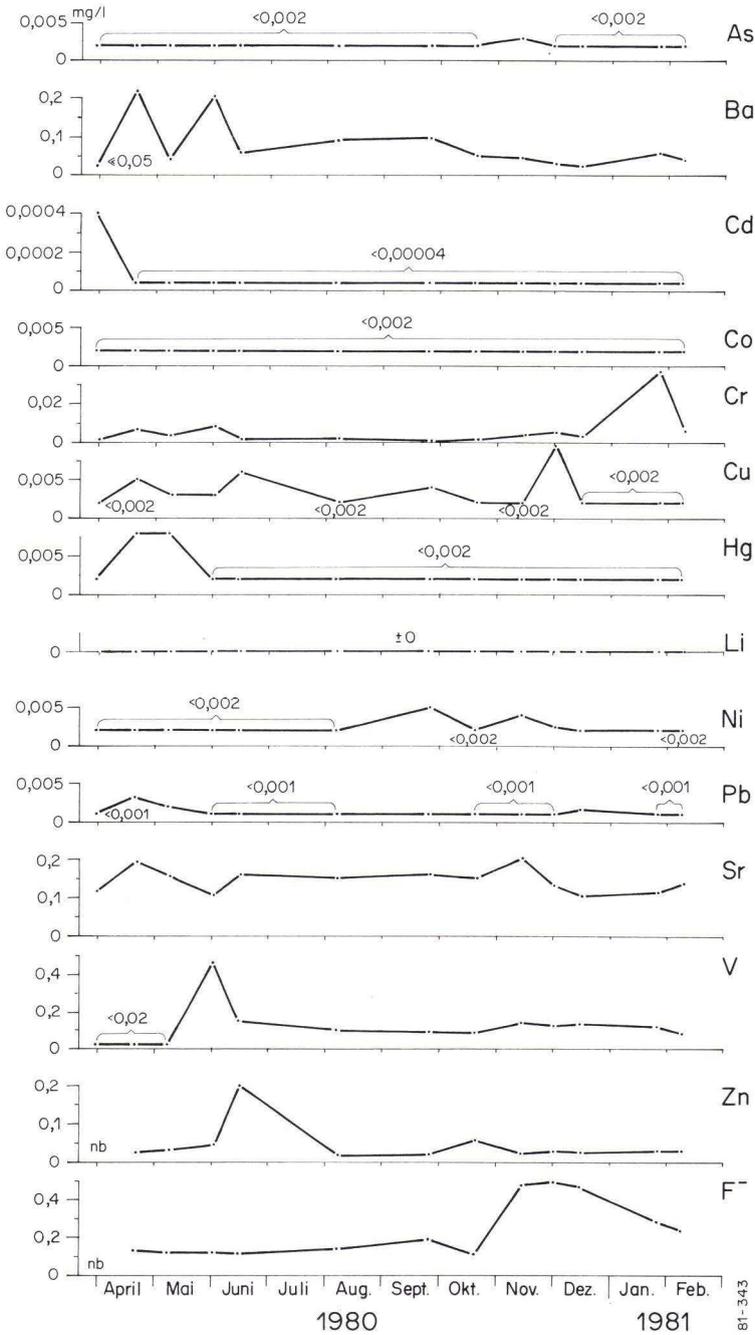


Abb. 4. Konzentrations-Ganglinien in Wohra.

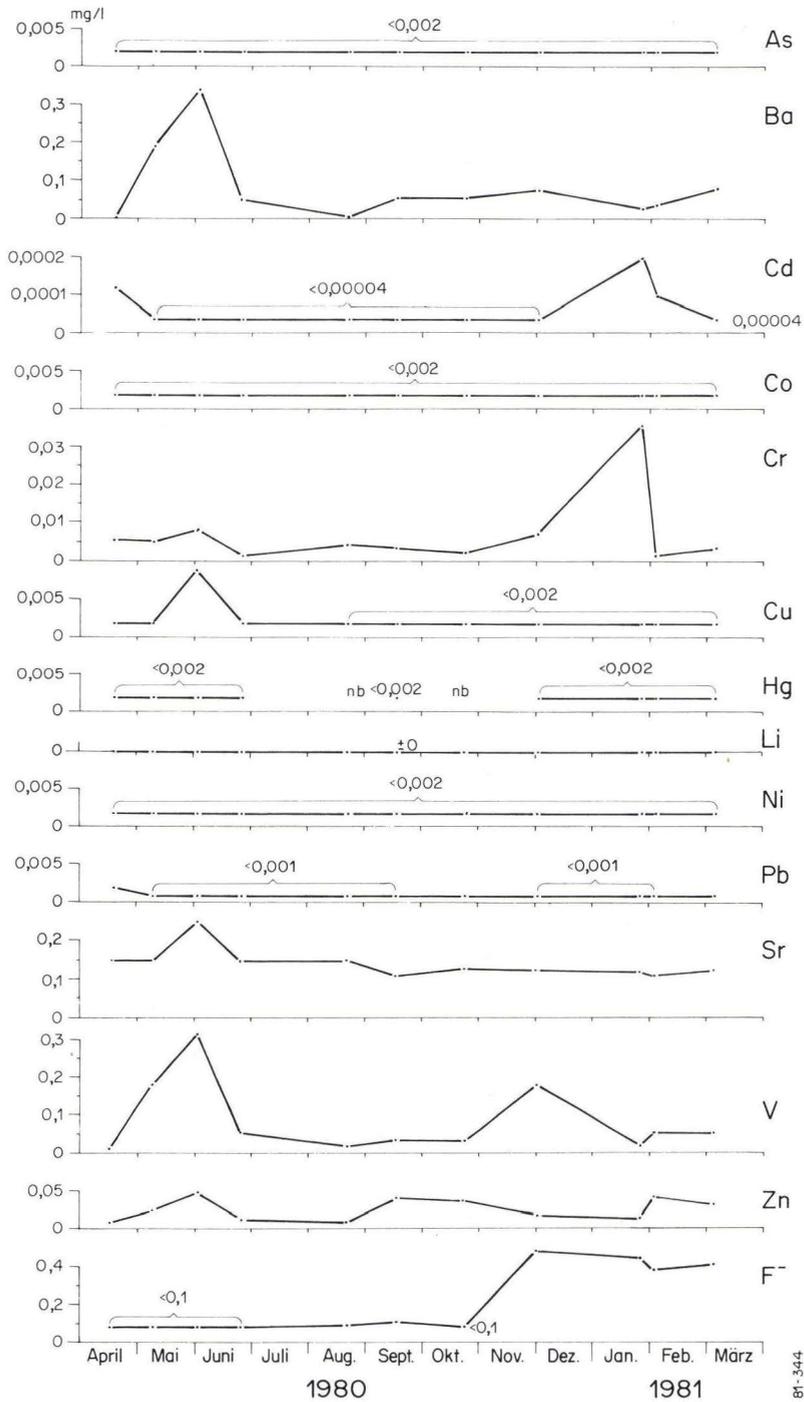


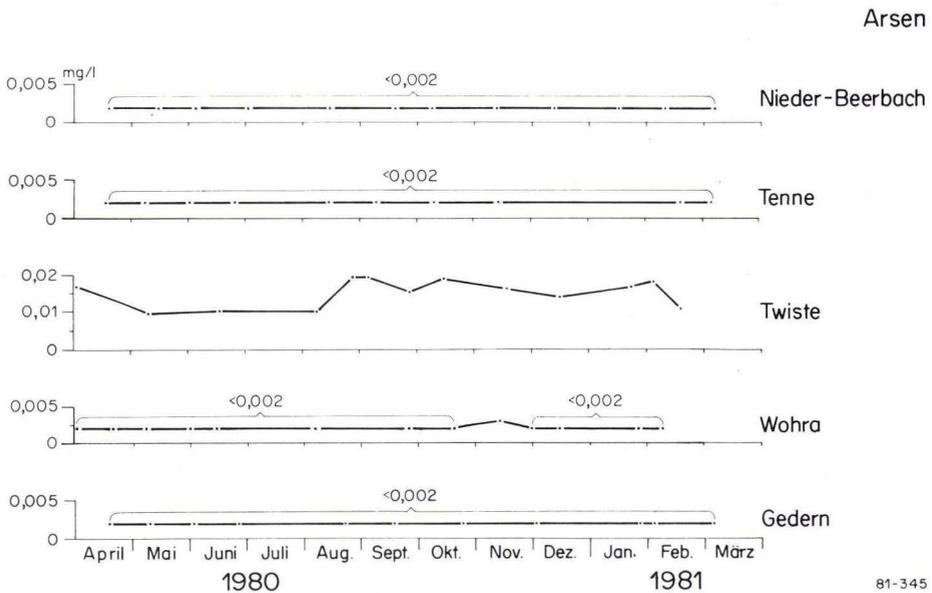
Abb. 5. Konzentrations-Ganglinien in Gedern.

- für jede der fünf Beprobungsstellen eine Graphik aller untersuchten Spuren (Abb. 1–5);
- für jedes untersuchte Element eine Graphik mit den Konzentrationsganglinien der fünf Beprobungsstellen (Abb. 6–19).

Der elementweisen Auswertung der Konzentrationsganglinien wurde nachfolgend aus Übersichtlichkeitsgründen der Vorzug gegeben. Wie bereits (Abschn. 3.2.6) ausgeführt, war es nicht möglich, die fünf zur Untersuchung ausgewählten Brunnen gleichzeitig zu beproben. In den Abb. 1–19 ist jedoch das jeweilige Entnahmedatum positionsgerecht in die Zeit-Koordinate eingetragen. Infolge der unterschiedlichen Zeiten geben die Ganglinien den Konzentrationsverlauf nur angenähert wieder, so daß nicht zwangsläufig eine für den Entnahmetag gerade festgestellte Konzentration auch für den übrigen Zeitraum zwischen zwei Probenahmen repräsentativ sein muß. Der generelle Trend dürfte in der Untersuchungszeit jedoch erfaßt sein.

Arsen (Abb. 6)

In Nieder-Beerbach, Tenne/Dombachtal III (nachfolgend: Tenne) und Brunnen 146 der OVAG bei Gedern (nachfolgend: Gedern) blieben die Arsengehalte unter der Nachweisgrenze, weitgehend auch im Brunnen W 4 des Wasserwerks Wohratal bei Kirchhain (nachfolgend: Wohra). Nur im Brunnen Twistetal-Twiste (nachfolgend: Twiste) ergaben sich deutliche Arsengehalte mit Konzentrationen zwischen



81-345

Abb. 6. Konzentrations-Ganglinien von Arsen.

0,01 und 0,02 mg/l mit höheren Werten von Mitte August 1980 bis Anfang Februar 1981. Die maximale Schwankungsbreite (Twiste) liegt zwischen $>0,002$ (Nachweisgrenze) und 0,019 mg/l.

Barium (Abb. 7)

Die Konzentrationsganglinien für Barium sind in den beprobten 5 Brunnen deutlich ausgeprägt und zeigen alle einen ähnlichen Verlauf, unabhängig von den stratigraphischen und petrographischen Verhältnissen. In den ersten Monaten, von April bis Anfang Juni, 1980 waren die Bariumgehalte erhöht und blieben in der übrigen Zeit niedriger. Bei den einzelnen Brunnen jedoch zeitlich wechselnd sind erneute geringe Konzentrationsanstiege in den Herbst- bis Wintermonaten 1980/81 unverkennbar. Die maximale Schwankungsbreite (Tenne) liegt zwischen $<0,05$ (Nachweisgrenze) und 0,44 mg/l.

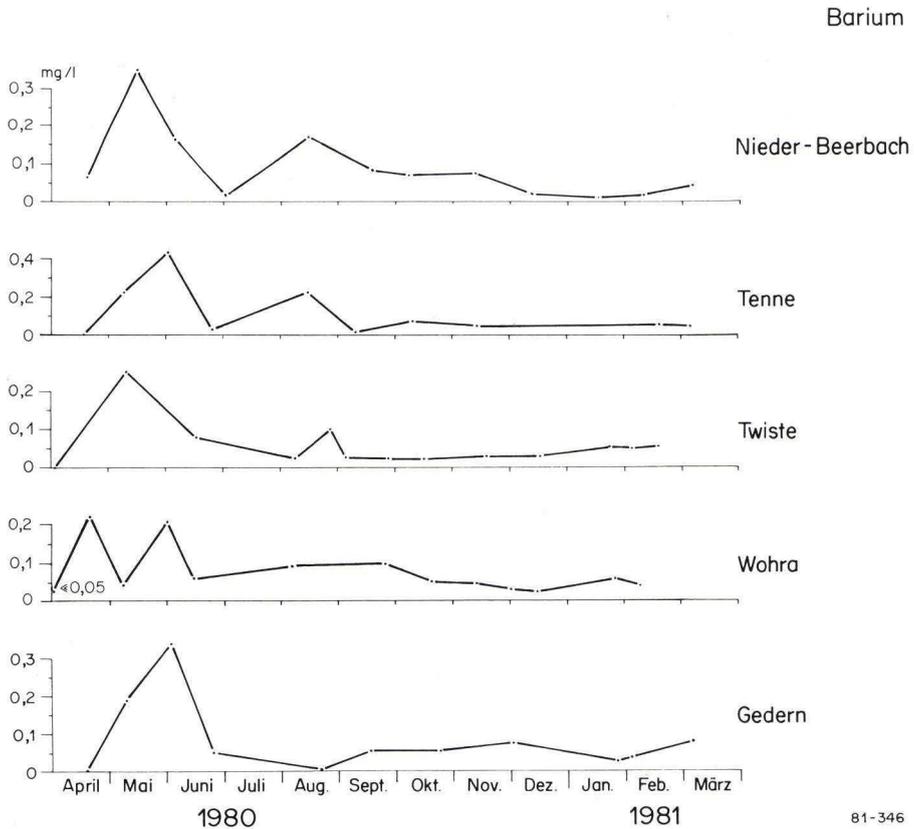


Abb. 7. Konzentrations-Ganglinien von Barium.

Cadmium (Abb. 8)

Cadmium verhielt sich in den beprobten Stellen unterschiedlich. Nach anfänglich etwas höheren Konzentrationen (Tenne, Wohra und Gedern) blieben die Gehalte niedrig. Mit Ausnahme von Wohra stiegen sie jedoch später wieder an, in Twiste im Oktober, in Nieder-Beerbach, Tenne und Gedern in den Monaten Februar/März 1981. Die maximale Schwankungsbreite stellte sich im Brunnen Tenne mit Werten zwischen $<0,00004$ und $0,003$ mg/l ein.

Cobalt (Abb. 9)

Die Cobalt-Gehalte lagen in den meisten Proben unter der Nachweisgrenze ($<0,002$ mg/l). Nur in Twiste zeigte sich Anfang April 1980 eine geringfügig höhere Konzentration ($0,0176$ mg/l).

Chrom (Abb. 10)

Die Ganglinien der Chrom-Konzentrationen lassen in allen beprobten Brunnen wechselnde Gehalte erkennen, am niedrigsten in Nieder-Beerbach. Der Ganglinienverlauf zeigt ähnliche Tendenzen wie bei Cadmium. Nach etwas höheren

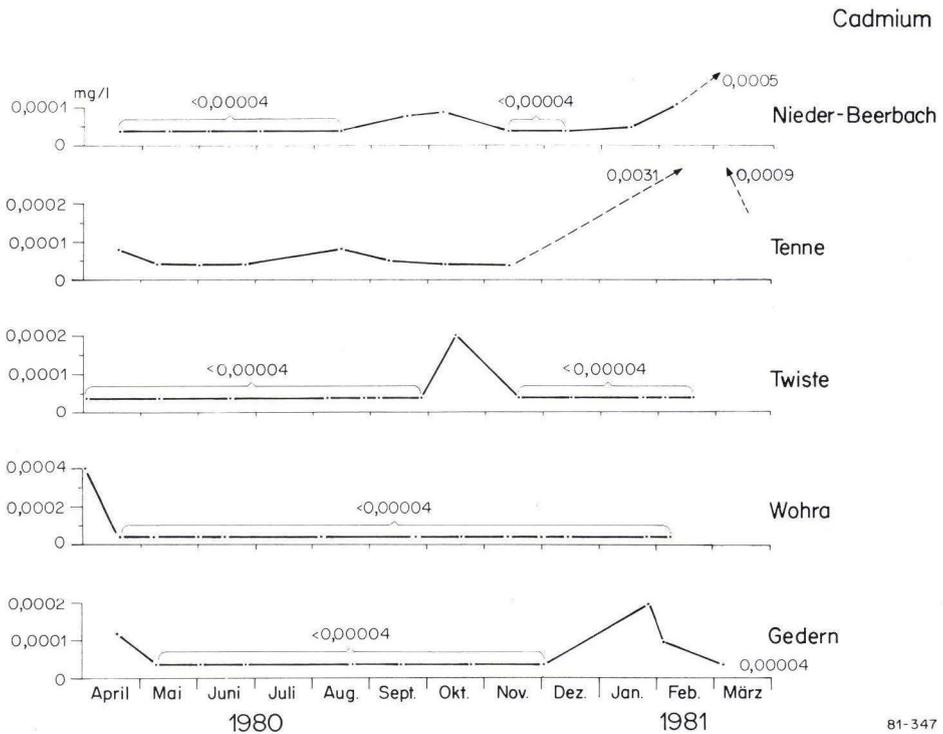


Abb. 8 . Konzentrations-Ganglinien von Cadmium.

Anfangsgehalten (April, Mai 1980) stellten sich nach sommerlichen Konzentrationstiefs im Herbst bis Winter (mit Ausnahme von Tenne) mit Höchstgehalten im Januar 1981 ausgesprochene Maxima ein; in Tenne blieb der Konzentrationsanstieg auf Oktober 1980 beschränkt. Die größte Schwankungsbreite ergab sich in Gedern mit $<0,002$ – $0,36$ mg/l.

Kupfer (Abb. 11)

Die Konzentrationsganglinien von Kupfer zeigten zwar ähnliche Tendenzen wie die der meisten anderen untersuchten Elemente, jedoch mit durchweg niedrigeren Schwankungsbreiten. Nach anfänglich (April in Wohra, Mai/Juni in den übrigen Brunnen) etwas erhöhten Konzentrationen blieben die Gehalte in Nieder-Beerbach, Twiste und Gedern unter der Nachweisgrenze. Die geringen Zunahmen zeigten sich deutlich im Brunnen Tenne (Mitte November 1980 bis Anfang März 1981) und im Brunnen Wohra (September und Anfang Dezember 1980). Bemerkenswert ist der ausgesprochen niedrige Gehalt von Kupfer im Brunnen Twiste, der seinen Grundwasserzulauf aus Zechstein-Schichten mit Kupferschiefern erhält, sowie der offensichtliche Kupfergehalt in den Buntsandstein-Folgen (Brunnen Wohra). Die höchste Schwankungsbreite stellte sich im Brunnen Wohra zwischen $<0,002$ und $0,0094$ mg/l ein.

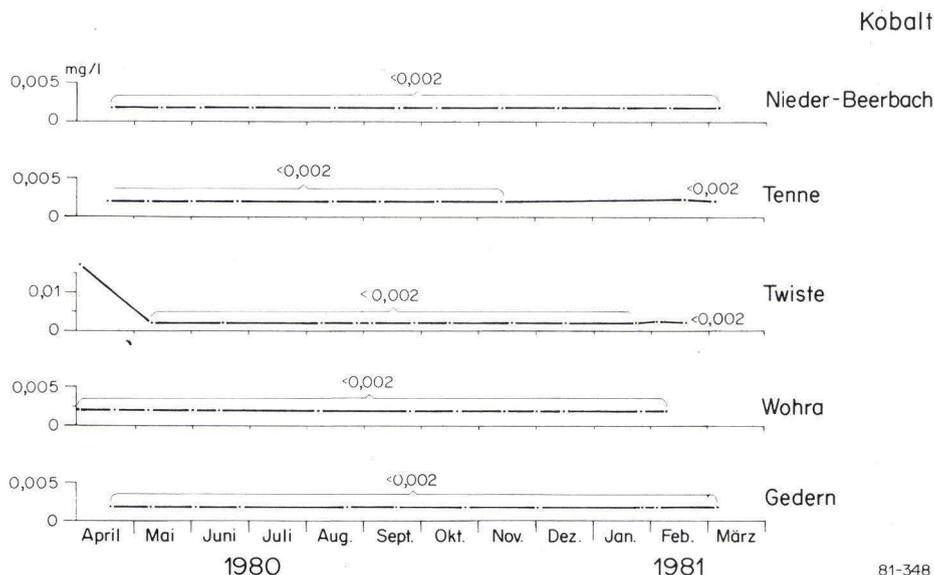


Abb. 9. Konzentrations-Ganglinien von Cobalt.

Quecksilber (Abb. 12)

Die Konzentrationen des Quecksilbers lagen weitgehend unter der Nachweisgrenze ($<0,002$ mg/l). Lediglich in Wohra wurden bei zwei aufeinander folgenden, in den Monaten April/Mai 1980 entnommenen Proben geringfügig höhere Gehalte ermittelt. Hier zeigte sich daher auch die höchste Schwankungsbreite, die zwischen $<0,002$ und $0,008$ mg/l lag.

Lithium (Abb. 13)

In allen Proben der Reihenuntersuchungen konnten keine Lithiumgehalte ermittelt werden. Lediglich in Tenne und Wohra zeigten sich gelegentlich im Flammen-AAS Reaktionen, die auf Spurengehalte nahe der Nachweisgrenze (± 0 mg/l) schließen ließen. Ursache für den durchweg fehlenden Lithium-Nachweis könnte sein, daß die Laboranalyse ohne Anreicherung erfolgte.

Nickel (Abb. 14)

Konzentrationschwankungen ergaben sich in den Brunnen Nieder-Beerbach, Twiste und Wohra, nur unwesentlich in Tenne, und gar nicht in Gedern. In Twiste lagen die Gehalte lediglich in den ersten Monaten (April bis Juni) über der

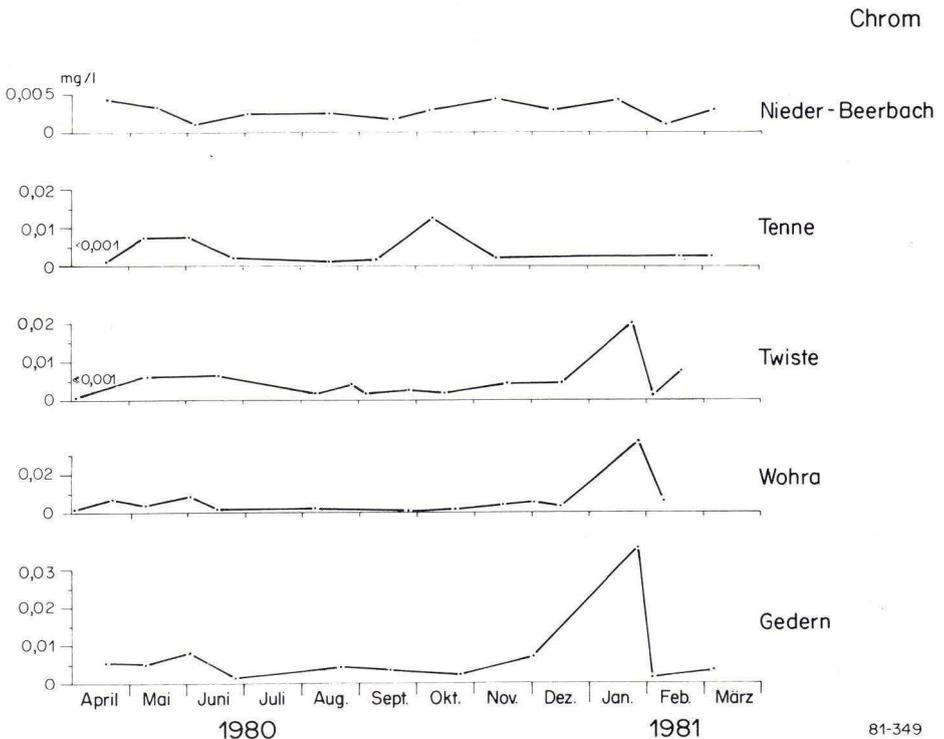
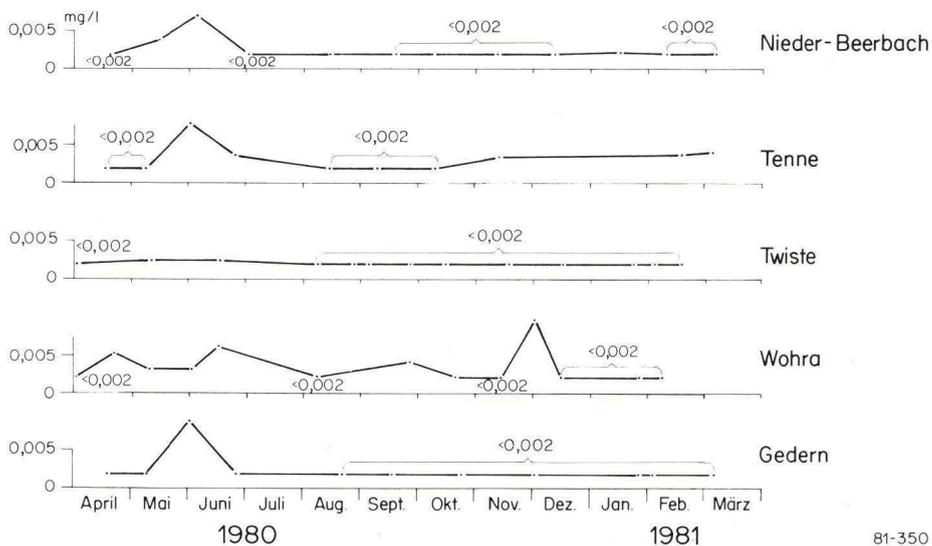


Abb. 10. Konzentrations-Ganglinien von Chrom.

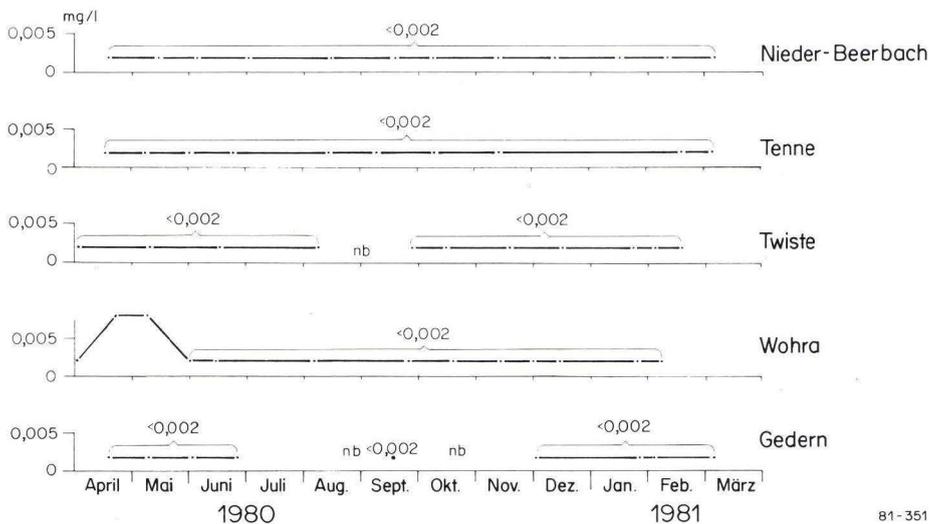
Kupfer



81-350

Abb. 11. Konzentrations-Ganglinien von Kupfer.

Quecksilber



81-351

Abb. 12. Konzentrations-Ganglinien von Quecksilber.

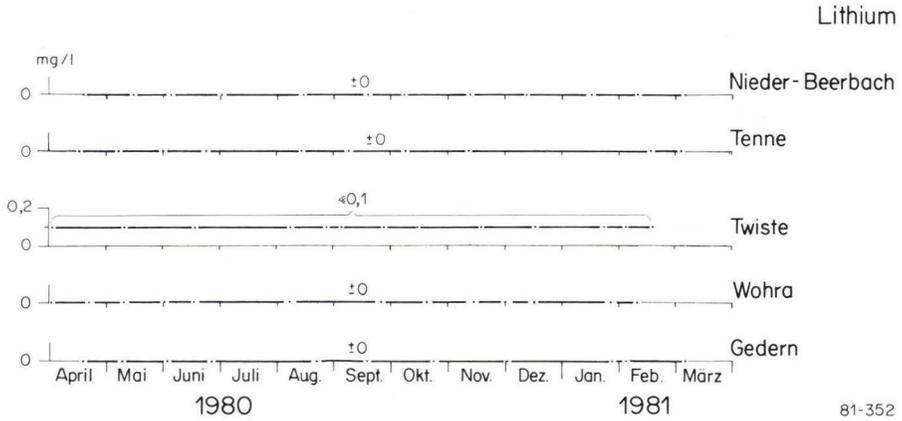


Abb. 13. Konzentrations-Ganglinien von Lithium.

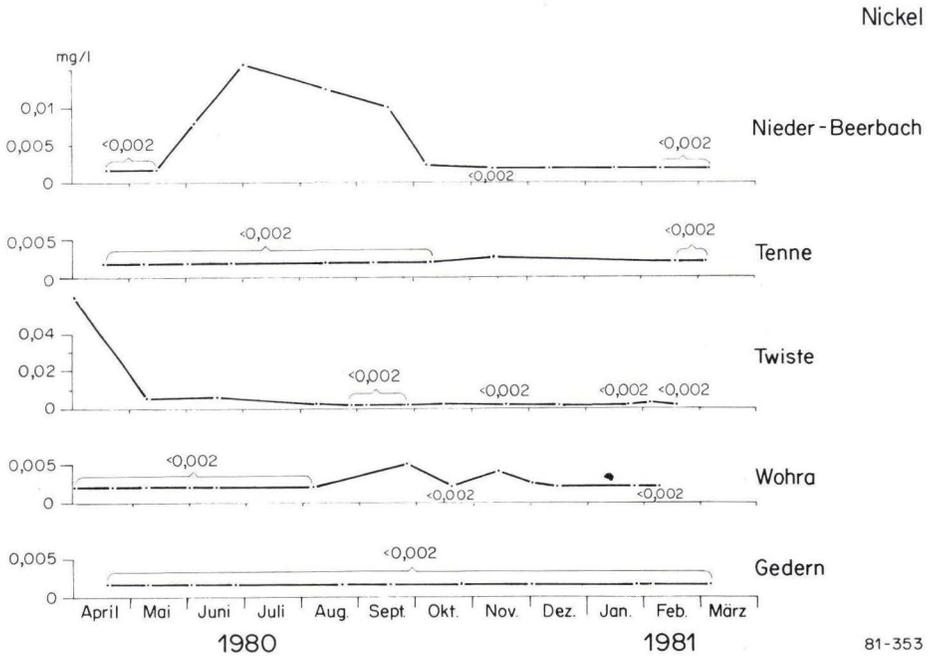


Abb. 14. Konzentrations-Ganglinien von Nickel.

Nachweisgrenze ($<0,002$ mg/l), in Wohra nur im September und November 1980. Stärker wechselten die Gehalte allein in Nieder-Beerbach. Die höchste Schwankungsbreite lag hier zwischen $<0,002$ und $0,0155$ mg/l.

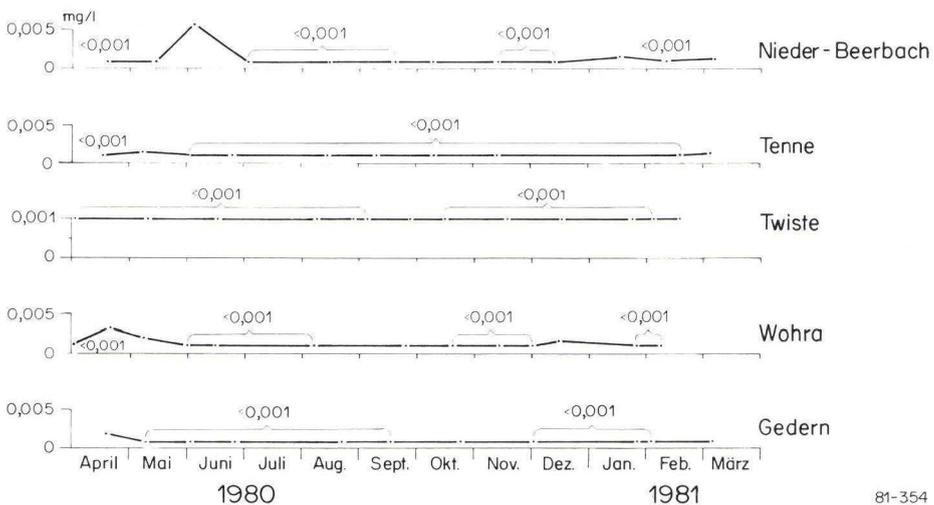
Blei (Abb. 15)

Im Konzentrationsverlauf von Blei zeigen sich gewisse Parallelen zu dem des Kupfers; nach BRAEUNING (1979: 76) korrelieren Blei und Kupfer gemeinsam mit Nickel und Zink in Sediment(-gesteinen). In Twiste blieben alle Gehalte unter der Nachweisgrenze, ebenfalls in Tenne, Wohra und Gedern nach anfänglich (April/Anfang Mai 1980) erhöhten Gehalten. Etwas größere Schwankungen ergaben sich dagegen in Nieder-Beerbach, wo die Konzentrationen Anfang Juni 1980 und im Januar 1981 leicht angestiegen waren. Die größte Schwankungsbreite lag hier zwischen $<0,001$ und $0,0057$ mg/l.

Strontium (Abb. 16)

In allen Proben lagen die Gehalte deutlich über der Nachweisgrenze ($<0,002$ mg/l). Die Tendenz ist ähnlich wie bei den anderen, etwas höher konzentrierten Elementen: nach anfänglich höheren Gehalten, jedoch hier von unterschiedlicher Dauer in den Monaten April/Juni 1980, ist mit Ausnahme von Twiste und angenähert auch Wohra ein Rückgang mit wieder leichten Zunahmen in den Monaten Oktober 1980 bis Januar 1981 festzustellen gewesen. Ausgesprochen erhöhte Strontiumgehalte mit Schwankungsbreiten zwischen $1,245$ und $2,685$ mg/l stellten sich im Brunnen Twiste ein, der den Grundwasserzulauf aus

Blei



81-354

Abb. 15. Konzentrations-Ganglinien von Blei.

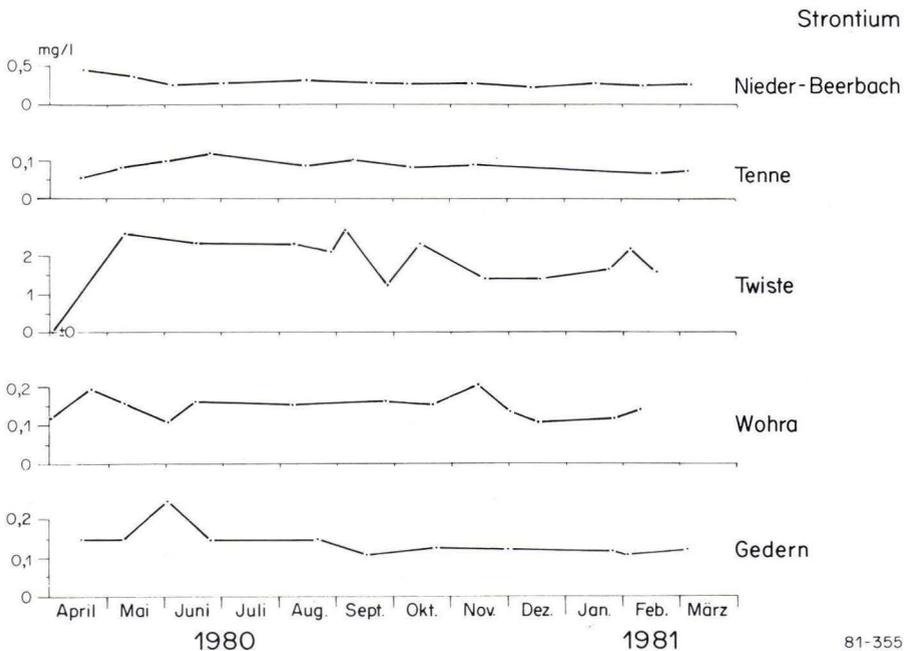
Zechstein-Schichten erhält. In diesem Zusammenhang ist auf das 6 km NW des Brunnens gelegene Coelestin-Vorkommen von Gembeck hinzuweisen, das im Zechstein-Dolomit um eine Aufragung unterkarbonischer Grauwacken lagert. Nach BEHREND & STAESCHE (1936: 34) entstand dieses Vorkommen diagenetisch durch längs der Unterkarbondgrenze aufsteigende Lösungen, die sich in Hohlräumen der Dolomite niederschlugen.

Vanadium (Abb. 17)

Einen recht ausgeprägten, dem Barium ähnelnden Konzentrationsverlauf nahmen die Vanadium-Gehalte. In allen beprobten Stellen stiegen die entsprechenden Konzentrationen in den Monaten Mai/Juni 1980 relativ stark an und fielen dann wieder ab. In den Herbst- und Wintermonaten stellten sich allgemein geringfügige, in Gedern (Anfang Dezember 1980) nochmals wieder etwas höhere Konzentrationen ein. Die größte Schwankungsbreite ergab sich im Brunnen Tenne zwischen $<0,02$ und $0,541$ mg/l.

Zink (Abb. 18)

Auch die Konzentrationsganglinien von Zink weisen Ähnlichkeiten mit den Konzentrationsganglinien anderer Spurenelemente auf, und zwar mit denen von Vanadium und Barium. Den höheren Konzentrationen in den Monaten Mai/Juni



81-355

Abb. 16. Konzentrations-Ganglinien von Strontium.

1980 folgten zunächst weitgehend niedrigere Gehalte in den anschließenden Monaten und wieder leichte Zunahmen in den Monaten September/Oktober 1980. Eine Ausnahme bildet jedoch Nieder-Beerbach, wo sich Konzentrationszunahmen außer im September 1980 auch noch in den Monaten Dezember 1980/Januar 1981 einstellten. Die größte Schwankungsbreite ergab sich in Wohra zwischen 0,0161 und 0,2009 mg/l.

Fluorid (Abb. 19)

Die Kurven der Ganglinienkonzentrationen für Fluorid weisen auf einen von den übrigen untersuchten Spuren abweichenden Verlauf insofern auf, als von Beginn der Beprobung bis Oktober 1980 niedrige Gehalte mit geringen Schwankungen, ab November jedoch höhere Gehalte vorgelegen zu haben scheinen. Ebenfalls ab November 1980 wurde bei den Laborbestimmungen des Fluorids

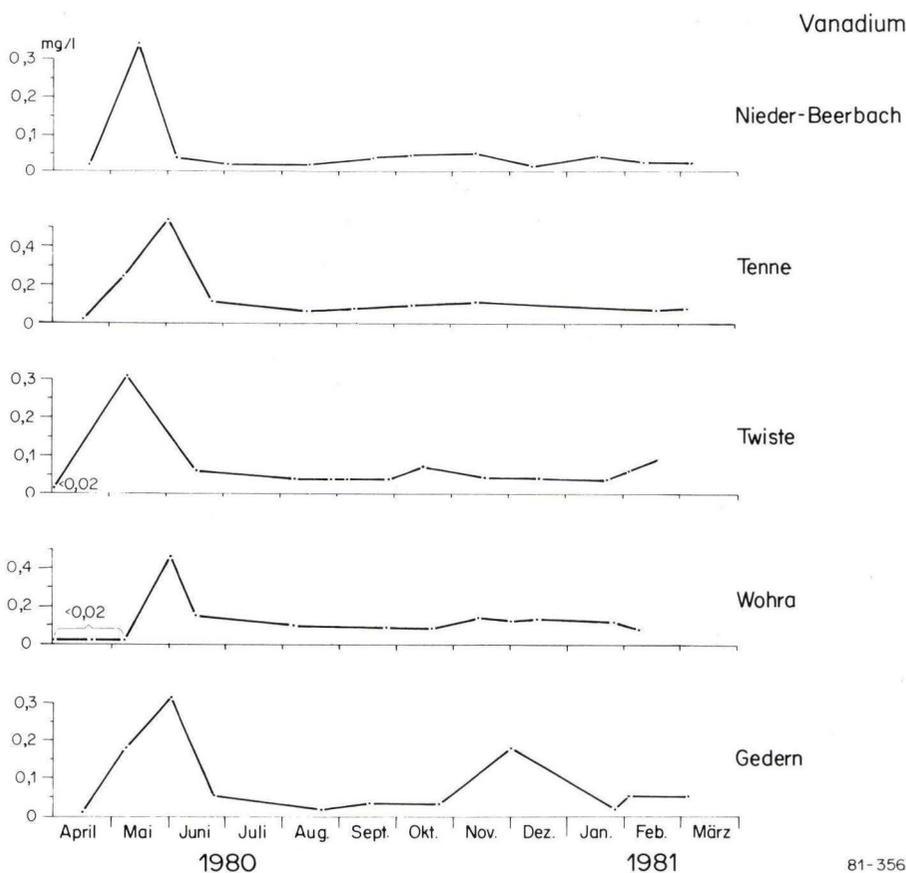


Abb. 17. Konzentrations-Ganglinien von Vanadium.

(Abschn. 3.2.4.) ein neuer Puffer verwandt. Dieser Puffer soll die Bindung des Fluors an andere Ionen im Wasser verhindern, da das Fluor sonst durch die ionensensitive Sonde nur unvollständig erfaßt wird. Wahrscheinlich ist der vor November 1980 verwandte Puffer schon überaltert gewesen, so daß die Wirksamkeit der Abpufferung bzw. Verhinderung der Einbindung von Fluor-Ionen in Komplexe anderer Kationen nicht voll erreicht wurde. Insofern können nur die Bestimmungen ab November 1980 ausgewertet werden. Die in den Tab. 8–12 angegebene Minima sind deshalb mit Einschränkungen zu werten.

Nach November 1980 sind wie bei den anderen untersuchten Elementen erhöhte Fluorid-Konzentrationen in den Monaten November/Dezember 1980 erkennbar, die in der Folgezeit mit Ausnahme von Twiste später wieder zurückgegangen sind. In der Zeit November 1980 bis März 1981 stellte sich die größte Schwankungsbreite in Wohra mit Werten zwischen 0,235 und 0,487 mg/l ein. Die höchste Konzentration hatte sich jedoch in Twiste (Mittel 0,509 mg/l) ergeben.

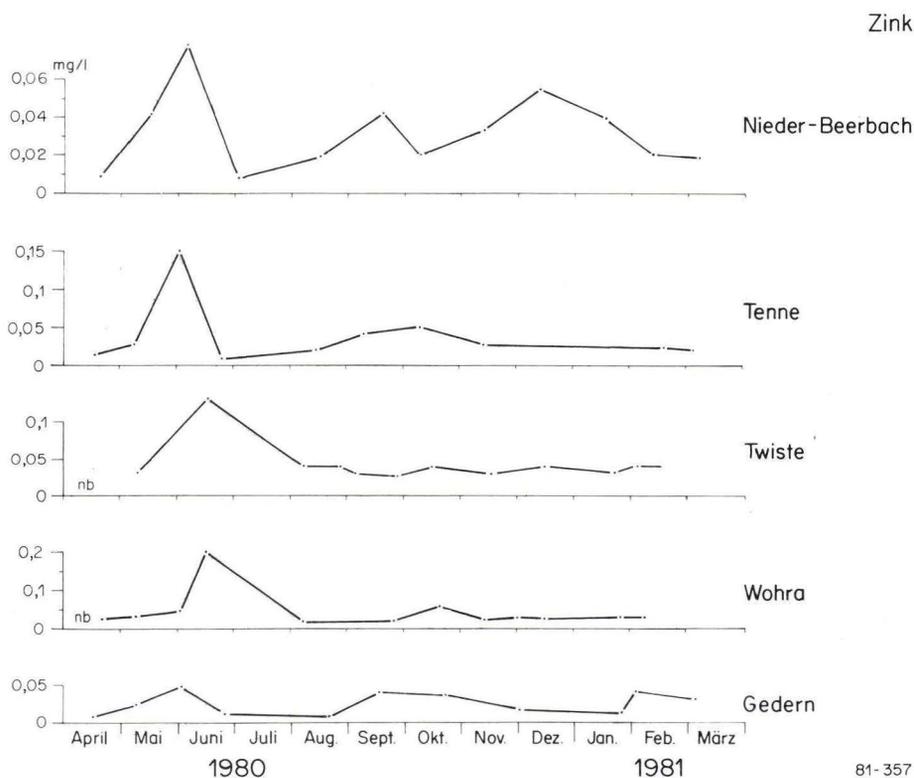
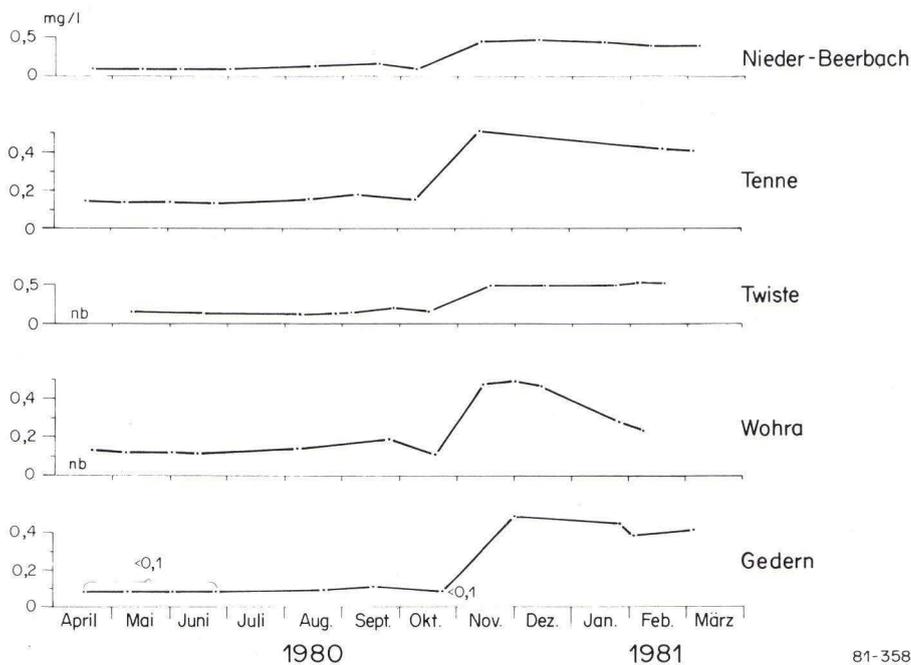


Abb. 18. Konzentrations-Ganglinien von Zink.

Fluor



81-358

Abb. 19. Konzentrations-Ganglinien von Fluorid.

4.3. Ursachen der Konzentrationsschwankungen

Die elementweise vorgenommene Auswertung der Spurenkonzentrationen hatte hinsichtlich der Konzentrationsschwankungen folgendes ergeben:

- a) (nahezu) ohne Konzentrationsschwankungen:
 - Cobalt
 - Quecksilber
 - Lithium
- b) geringe Konzentrationsschwankungen (in Klammern Brunnen, in dem sich geringfügige Schwankungen einstellten):
 - Arsen (Twiste, Wohra)
 - Blei (Nieder-Beerbach, Wohra)
- c) mäßige Konzentrationsschwankungen in allen Brunnen:
 - Cadmium
 - Chrom
 - Kupfer
 - Nickel

d) stärkere Konzentrationsschwankungen in allen Brunnen:

Barium
Strontium
Vanadium
Zink
Fluor

Sofern Schwankungen festzustellen waren, ergab sich für alle davon betroffenen Elemente (Gruppen c und d) ein annähernd ähnlicher Konzentrationsganglinien-Verlauf mit deutlich ausgeprägten Maxima in den Monaten April/Mai (z. T. auch Juni) 1980 sowie September/Oktober, z. T. auch November/Dezember 1980. Eine auffallende Parallelität der Konzentrationsganglinien aller regelmäßig beprobten Brunnen zeigte sich für die Elemente Barium, Vanadium und Zink, bei denen die Maxima in der Zeit April/Mai/Juni lagen. Außerdem erfolgten geringere Konzentrationszunahmen in den Monaten September/Oktober bei Barium bzw. November/Dezember 1980 bei Vanadium und Zink. Von allen übrigen Elementen wich Fluor ab, dessen Gehalte zunächst gering, ab November/Dezember 1980 jedoch höher waren, vermutlich jedoch – wie ausgeführt – eine Folge zunächst ungenauer Analysen.

Als Ursachen unterschiedlicher Ionen-Konzentrationen kommen zunächst deren unterschiedliche Gehalte in den grundwasserleitenden Gesteinen und ferner die durch örtlich wechselnde physikalisch-chemische Zustände im Grundwasserleiter bedingten veränderlichen Löslichkeitsverhältnisse in Frage. Dazu gehören insbesondere (MATTHESS 1973: 59 ff.; FÖRSTNER & MÜLLER 1974: 141 ff.): Löslichkeitsprodukt der Elemente und ihrer Verbindungen (Salze), Wassertemperatur, pH/Eh-Bedingungen (einschließlich der Bildung von Komplex-Ionen der Schwermetalle im stärker alkalischen Milieu), Sorptionsprozesse (einschließlich Ionenaustausch), Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht, wechselnde Gesamtkonzentrationen und die damit einhergehenden Änderungen der Ionenaktivitäten.

Keinen Einfluß auf die unterschiedlichen Konzentrationen der hier untersuchten Wässer kann die Wassertemperatur haben, da diese in allen beprobten Grundwasserleitern annähernd gleich war. Ferner lassen sich, soweit erkennbar, auch von unterschiedlichen pH-Werten und Redoxpotentialen keine Einflüsse ableiten. So reagierten (s. Abschn. 2.2–2.6) die Wässer aus den beprobten fünf Brunnen teils schwach sauer (in Nieder-Beerbach, Tenne und Wohra $\text{pH} < 7,0$), teils aber auch schwach basisch (in Twiste und Gedern $\text{pH} > 7,0$), ohne daß sich wesentliche Konzentrationsunterschiede ergaben. Nach dem Gehalt an freiem Sauerstoff waren die Wässer aus den Brunnen Nieder-Beerbach, Tenne und Twiste reduziert, nicht jedoch die aus den Brunnen Wohra und Gedern. Trotzdem liegen keine Konzentrationszunahmen der dafür besonders empfindlichen Schwermetalle Kupfer und Vanadium (höhere Konzentrationen im reduzierten Milieu) vor. Kupfer war z. B. in Twiste nur in Spuren nachweisbar, obwohl das Brunnenwasser eindeutig reduziert ist und obwohl in den Kernproben der in den Jahren 1940/41 niedergebrachten Bohrung aus rd. 262 m Tiefe schwache Belege von Kupferkies auf Dolomiten zu erkennen waren. Dagegen fanden sich die relativ höchsten Kupfergehalte im Brunnen Wohra, der in Sandsteinen des Mittleren Buntsand-

steins steht und dessen Wasser nicht reduziert ist. Elemente wie Vanadium, Zink und Nickel, die in Tonschiefern besonders angereichert sind (TUREKIAN & WEDEPOHL 1961) und deshalb in den Wässern der Brunnen Tenne und Twiste höhere Konzentrationen erreichen müßten, unterschieden sich nicht von den Spurenkonzentrationen der anderen untersuchten Elemente. Es ist deshalb wahrscheinlich, daß die jeweiligen Konzentrationen in den grundwasserleitenden Gesteinen so niedrig sind, weil das Lösungsvermögen der durchfließenden Grundwässer zwar vorhanden und entsprechend den differenzierten physikalisch-chemischen Eigenschaften auch unterschiedlich, jedoch mangels entsprechender Gehalte (z. B. Vererzungen) in den Gesteinen nicht (annähernd) auszunutzen ist. Mit anderen Worten: nach den Ergebnissen der Beprobungen ergaben sich keine Hinweise auf lagerstättenwirtschaftlich interessante Metallgehalte in den Gesteinsfolgen, aus denen die Brunnen ihren Grundwasserzulauf erhalten.

Ferner zeigten die Spurengehalte, die während der Beprobungszeit relativ stärkeren Schwankungen unterlagen, besonders Barium, Strontium, Vanadium und Zink, alle einen offensichtlich von physikalisch-chemischen Verhältnissen unabhängigen Konzentrationsganglinien-Verlauf: die Maxima lagen im Frühjahr (vor allem April/Mai 1980) und im Herbst bis Anfang Winter (vor allem September/Okttober 1980), die Minima in den Zwischenzeiten. Da alle Beprobungsstellen gleichermaßen von diesem Trend betroffen waren, muß es dafür eine gemeinsame Ursache geben. Die Überlegungen für mögliche Ursachen zielen auf Zusammenhänge, die aus regelmäßigen Messungen der Schüttungen und Lösungsinhalte in Mineralquellen bekannt sind. Hier zeigt sich nämlich, daß den nach stärkeren Niederschlägen höheren Grundwasserständen mit unterschiedlicher Zeitverschiebung auch höhere Schüttungen und Lösungsinhalte der Mineralquellen folgen und umgekehrt. Zur Erläuterung des Niederschlagstrends vor und während der Beprobungszeit sind in der Abb. 20 die Monats-Niederschlagshöhen der annähernd in der Mitte Hessens gelegenen Klimastation Kirchhain/Krs. Marburg-Biedenkopf aufgetragen². Vor Beginn der Beprobungen (April 1980) waren die Monate November/Dezember 1979 besonders niederschlagsreich, während dieser Zeit die Monate Juni/Juli 1980. Die in den Wasserproben der fünf untersuchten Brunnen festgestellten Maxima folgten den Niederschlagsmaxima im Frühjahr 1980 mit fünfmonatiger, im Herbst mit 2-3monatiger Verspätung. Wenn auch eine Beziehung Niederschlagshöhe – Spurenkonzentration (wahrscheinlich auch Konzentrationen der Hauptinhalte) nach den vorliegenden Daten eher nur vermutet werden kann, so ist doch wegen der gleichartigen Erscheinungen bei Mineralwässern ein solcher Zusammenhang als recht wahrscheinlich anzunehmen. Ferner ist zu vermuten, daß die Einwirkung der höheren Niederschläge über die (stoßweise) episodische Grundwasserneubildung auf die (Spuren-)Konzentrationen der Grundwässer mehr in einer hydromechanischen Mobilisierung von Lösungsinhalten zu sehen ist und nicht in Änderungen der physikalisch-chemischen Bedingungen. Diese Vermutung gründet darauf, daß trotz unterschiedlicher

² Das Jahr 1979 war in Kirchhain gegenüber dem langjährigen Mittel etwas feuchter, das Jahr 1980 entsprach dem Mittel.

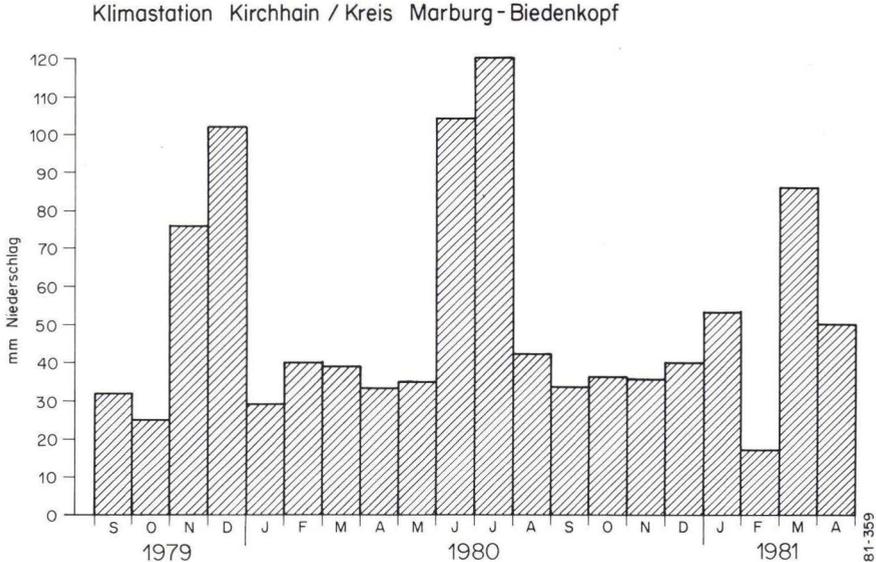


Abb. 20. Monatliche Niederschlagshöhen der Klimastation Kirchhain/Krs. Marburg-Biedenkopf (IX. 1979 bis IV. 1981).

Milieubedingungen in den verschiedenen beprobten Grundwasserleitern in allen Stellen gleichartig harmonisch verlaufende, nicht jedoch differenzierte Konzentrationsganglinien festgestellt wurden.

Der Vorgang dieser vermuteten hydrochemischen Mobilisierung ist in der Weise denkbar, daß infolge höherer Niederschläge und dadurch initiiert größerer Versickerungen/Grundwasserneubildungen ein hydraulischer Druck auf den Grundwasserkörper bzw. das in den Klüften der Festgesteine (wie sie in den untersuchten Grundwasserleitern vorliegen) enthaltene Grundwasser ausgeübt wird. Zusammen mit dem durch Grundwasserförderung (ständig) erzeugten hydraulischen „Unterdruck“ im Entnahmbereich eines Brunnens und dem so entstehenden verstärkten Druckgefälle zu Zeiten höherer Grundwasserneubildung kommt es zu einer Mobilisierung und zu einem quantitativ verstärkten Grundwasserabfluß auf die Brunnen hin. In der Zeit fehlender Niederschlagsversickerungen bzw. unterirdischer Abflüsse ist dagegen die Verweildauer des Grundwassers in den vom Brunnen entfernter gelegenen Teilen seines Einzugsgebietes größer, es bleibt mehr Zeit für die Lösungsvorgänge. Das derart in der Periode verminderten Grundwasserabflusses mit Lösungsinhalten relativ angereicherte Grundwasser wird dann während oder nach Niederschlagszeiten durch den höheren unterirdischen Abfluß mobilisiert und in Richtung des Druckgefälles, also zu den Grundwasseraustrittsstellen (Brunnen, vermutlich auch Quellen) intensiver verfrachtet. Eine solche Erklärung hätte folgende Konsequenzen:

- 1) Die Grundwasserbewegung erfolgt diskontinuierlich, Lösungsinhalte (und damit auch Kontaminationen) werden mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten verfrachtet; dementsprechend ist auch die Verweildauer uneinheitlich.
- 2) Von den Schwankungen der Lösungsinhalte sind nur solche Elemente und Stoffe betroffen, die in den Gesteinen der Grundwasserleiter enthalten sind. Von mehr untergeordneter Bedeutung scheinen dagegen die Löslichkeitsverhältnisse, d. h. die physikalisch-chemischen Bindungen im Grundwasserleiter zu sein, da die Löslichkeit der jeweiligen Elemente und Stoffe im Grundwasser immer noch so groß sein scheint, daß ihre Spuren durch die subtilen Analysemethoden erfaßt werden, somit also auch in Zeiten verminderten Grundwasserabflusses offensichtlich genügend Zeit für Lösungsvorgänge verbleibt. Nur so wird verständlich, daß die Schwankungen der Konzentrationen der hier untersuchten Elemente unbeschadet ihrer differenzierten Löslichkeiten gleichartig harmonisch verliefen. Inwieweit diese Vermutungen in Grundwasserleitern mit reicheren Vererzungen oder mit Haliten zutreffen, müßte noch untersucht werden.
- 3) Sofern die Konzentrationen natürlichen Schwankungen unterliegen, ist bei Einzelproben unsicher, ob maximale, mittlere oder minimale Gehalte zur Zeit der Probenahme vorlagen. Bestätigt sich der vermutete Zusammenhang mit den Niederschlägen, so kann aus dem Niederschlagsgang einer bestimmten Periode auf die Konzentrations-Situation zur Zeit der Probenahme rückgeschlossen werden.

5. Vergleichende Auswertungen von Spurenkonzentrationen in Grund-(Mineral-)Wässern

5.1. Das Daten-Material

Außer aus den regelmäßig beprobten Brunnen wurden weitere Einzelproben aus Mineralwasservorkommen sowie aus einigen während der Untersuchungszeit gerade in Hessen laufenden Tiefbohrungen mit artesischem Überlauf entnommen; die Ansatzpunkte der Bohrungen sind in der Taf. 1 angegeben, ihre Tiefen und die geologische Stellung der Grundwasserleiter in der Tab. 1 zusammengefaßt. Die Ergebnisse der Spurenanalysen gibt die Tab. 13 wieder; in der nachfolgenden Auswertung werden diese Ergebnisse unter „Analysen 1980/81“ zusammengefaßt. Für Analysen einiger Spurenelemente wurden weiterhin die Häufigkeitsverteilungen (Häufigkeitsauszählungen) über die EDV aufgestellt (Abb. 21–26), soweit die vorliegenden Daten statistisch auswertbar waren. Bei einigen Häufigkeitsverteilungen wurden die Extremwerte ausgelassen, um den Graph der Verteilung zu spreizen. Die Werte sind in der statistischen Auswertung in mmol/kg angegeben und müssen für die vergleichende Auswertung auf mg/kg bzw. l umgerechnet werden. Ferner wurden zum Vergleich Daten aus Mineralwassernalyse Hessens (Tab. 14) herausgezogen und die arithmetischen Mittel der Spurenkonzentrationen nach geologischen Systemen geordnet errechnet (Tab. 15); ausge-

Tab. 13. Vergleichstabelle aller Analysenergebnisse (elementweise geordnet,
alle Angaben in mg/l)

Lfd.Nr.	Entnahme-Ort	Arsen	Barium	Cadmium	Cobalt	Chrom
1	Nieder-Beerbach (Mittel von 12 Analysen)	<0,002	0,0899	0,00008	<0,002	0,0026
2	WBV Tenne, Br.Dombachtal III (Mittel aus 10 Analysen) Br. Gottenbach	<0,002	0,1166	0,0004	<0,002	0,0044
3	Bad Wildungen (Helenequelle)	<0,002	0,0395	<0,00004	<0,002	0,0025
4	Steffenberg-Steinperf	<0,002	0,7729	<0,00004	0,0045	0,0036
5	Twistetal-Twiste (Mittel aus 13 Analysen)	0,0151	n.b.	<0,00004	<0,002	0,0172
6	Ober-Waroldern	0,0055	0,0585	<0,00004	0,002	0,0046
7	Arolsen-Trappenberg	0,0036	0,1641	<0,00004	<0,002	0,0031
8	Arolsen-Braunsen	0,0029	n.b.	<0,00004	<0,002	0,0135
9	Hess. Lichtenau-Küchen	0,1471	0,172	<0,00004	0,0028	0,005
10	Wallersdorf	0,062	0,0617	0,00004	0,08	0,0151
11	Marjöß	0,0021	2,023	<0,00004	<0,002	0,0195
12	Brückenaue	0,0021	0,5817	0,00019	<0,002	0,0074
13	Wasserwerk Wohratal, Br.W 4 (Mittel v.13 Analysen) Br.W 10	0,0491	14,63	0,0009	0,0049	0,0047
14	Brunnen 146 der OVAG bei Gedern (Mittel v. 11 Analysen)	<0,002	0,1622	<0,00004	<0,002	0,0079
15	Messel (Udenwald) Bohrung 1 Bohrung 2 Bohrung 4 Bohrung 5	<0,002	0,1546	<0,00004	<0,002	0,0026
16	Bad Soden-Salmünster (König-Heinrich-Sprudel)	<0,002	0,0647	0,00005	<0,002	0,0073
17	Hähnlein	0,0038	0,1651	0,00011	<0,002	0,0054
18	Astheim	<0,002	0,0252	<0,00004	<0,002	0,0016
19	Bad Homburg v.d.H. (Ludwigsbrunnen)	0,0029	0,331	<0,00004	<0,002	0,0342
20	Wiesbaden, Kochbrunnen Faulbrunnen	0,0013	0,1223	<0,00004	<0,002	0,0016
		0,6844	0,2163	<0,00004	<0,002	0,0052
		<0,002	33,9	<0,00004	<0,002	0,007
		0,002	6,34	<0,00004	0,0273	0,0023
		0,0137	4,01	<0,00004	0,0042	0,0018
		0,0765	1,049	0,00009	0,002	0,0024
		0,0436	0,1175	<0,00004	<0,002	0,001

wertet werden nachfolgend die Mittel. Schließlich werden die Konzentrationsbereiche aufgeführt, die BRAEUNING (1979: 9 ff.; Tab. 2-1) für die jeweiligen Elemente nach den vorhandenen Mineral- und Thermalwassersanalysen der Bundesrepublik Deutschland ermittelte. Bei Auswertung der den Mineralwassersanalysen Hessens und der Bundesrepublik Deutschland entnommenen Daten ist jedoch zu bedenken, daß viele (insbesondere ältere) Analysen naßchemisch nach Anreiche-

Kupfer	Quecksilber	Lithium	Nickel	Blei	Strontium	Vanadium	Zink	Fluorid
0,002	<0,002	± 0	0,0048	0,0012	0,2923	0,0336	0,0325	0,446
0,0029	<0,002	± 0	<0,002	<0,001	0,0858	0,1372	0,0374	0,441
0,0018	<0,002	<<0,1	<0,002	<0,001	0,1496	0,1076	0,0363	(0,153)
0,0067	<0,002	0,6643	0,0214	<0,001	2,741	0,1206	0,029	(0,106)
<0,002	0,0182	± 0	<0,002	<0,001	0,0873	<0,020	<0,006	(0,185)
<0,002	<0,002	<<0,1	0,0068	<0,001	1,982	0,0681	0,044	0,509
<0,002	<0,002	<0,1	<0,002	0,0019	1,2700	0,1039	0,016	(2,696)
<0,002	n.b.	± 0	<0,002	<0,001	2,4740	0,457	0,1464	(1,586)
<0,002	0,0025	<<0,1	0,003	0,0017	4,7799	0,0524	0,0365	(2,591)
<0,002	<0,002	<<0,1	<0,002	<0,001	1,7760	0,1195	0,0547	0,317
<0,002	<0,002	0,1	<0,002	0,003	8,6030	<0,020	0,0086	(1,467)
<0,002	<0,002	<<0,1	0,006	0,0031	0,2229	0,1485	16,1466	(1,700)
0,102	0,0047	0,1627	0,016	0,012	4,6160	0,0318	0,056	2,730
0,003	<0,002	± 0	0,002	0,001	0,145	0,115	0,0436	0,389
<0,002	<0,002	<<0,1	0,007	<0,001	0,0556	0,1131	0,017	(0,146)
0,002	<0,002	± 0	<0,002	<0,001	0,1344	0,0803	0,0309	0,449
0,0027	<0,002	0,2	0,004	<0,001	0,9789	0,0865	0,7065	(1,940)
<0,002	<0,002	0,21	<0,002	<0,001	0,9674	0,0097	0,363	5,080
0,0082	<0,002	0,19	0,0024	<0,001	0,8070	0,1129	0,410	(1,636)
<0,002	<0,002	0,3762	<0,002	<0,001	1,8524	0,5093	0,489	(1,509)
<0,002	<0,002	10,58	<0,002	0,0018	30,2050	0,1025	0,0391	(0,162)
<0,002	<0,002	9,01	<0,002	<0,001	51,1900	0,6129	0,1227	(1,539)
<0,002	<0,002	0,75	0,0691	<0,001	11,0450	0,1018	0,0195	(0,113)
0,0387	<0,002	2,414	0,021	<0,001	3,1350	0,0521	0,0348	(1,659)
0,0235	<0,002	3,2782	0,0096	<0,001	18,9650	0,0899	0,0523	(0,850)
<0,002	<0,002	2,846	0,0039	<0,001	10,7450	0,0402	0,0408	(0,850)

zung durchgeführt wurden und somit Vergleiche mit den aus AAS-Bestimmungen ermittelten Daten nicht ganz unproblematisch sind. Außerdem sind auch bei subtilen Untersuchungen mit AAS-Geräten Streuungen der Ergebnisse nicht zu vermeiden, wie die eigenen Analysen ergeben haben (Abschn. 3.2.5).

Zur Erläuterung des geohygienischen Aspektes sind in Tab. 16 die für Trinkwasser zulässigen Grenzwerte der Konzentrationen aufgeführt.

Tab. 14. Konzentration von Spurenelementen in Mineralwässern Hessens
(nach Fremdanalysen)

		<u>Arsen</u>		
Buntsandstein	Arolsen	1972	0,0106	mg/kg
Zechstein	Kassel-Wilhelmshöhe	1979	0,602	"
	Emstal (Kreis Kassel)	1976	0,003	"
	Herbstein	1977	0,075	"
	Bad Hersfeld (Neubohrung 1965)	1967	0,0046	"
		<u>Barium</u>		
sedimentäres Tertiär	Heppenheim (Odenwaldquelle)	1958	0,064	mg/kg
	Bad Homburg (Auguste-Victoria- Brunnen)	1959	0,004	"
	Bad Homburg (Elisabethen Brunnen)	1947	0,195	"
	Bad Homburg (Landgrafenquelle)	1959	0,067	"
	Bad Homburg (Louisenbrunnen)	1959	0,015	"
	Wiesbaden (Adler Quelle)	1959	0,3	"
	Wiesbaden (Drei-Lilien-Quelle)	1936	0,479	"
	Wiesbaden (Faulbrunnen)	1948	0,09	"
Wiesbaden (Kochbrunnen)	1941	0,67	"	
Keuper	Großenlüder	1958	0,001	"
Buntsandstein	Bad Salzschlirf (Bitterquelle)	1958	0,001	"
	Bad Salzschlirf (Bonifatiusbrunnen)	1946	0,091	"
	Bad Salzschlirf (Kinderbrunnen)	1956	< 0,001	"
	Bad Salzschlirf (Sprudel)	1956	0,001	"
	Volkmarshen (Sauerbrunnen)	1929	0,06	"
Zechstein	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1896	0,027	"
	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1951	-	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1906	0,615	"
Rotliegendes/ Zechstein	Wetter/Krs. Marburg	1975	0,019	"
Rotliegendes	Offenbach (Kaiser-Friedrich-Quelle)	1953	0,028	"
	Bad Vilbel (Friedrich-Karl-Quelle)	1954	0,026	"
	Bad Vilbel (Gronaris-Sprudel)	1948	0,296	"

Fortsetzung Tab. 14

Karbon	Bad Wildungen (Georg-Viktor-Quelle)	1892	0,009	mg/kg
	Bad Wildungen (Georg-Viktor-Quelle)	1936	0,083	"
	Bad Wildungen (Georg-Viktor-Quelle)	1959	0,1759	"
	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1859	0,398	"
	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1909	0,359	"
	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1936	0,524	"
	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1957	0,481	"
Devon, einschließlich devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Aßmannshausen (Graf-Adolf-Quelle)	1940	0,689	"
	Biskirchen/Lahn	1940	0,0277	"
	Biskirchen/Lahn	1950	0,22	"
	Biskirchen/Lahn	1956	0,04	"
	Lindenholzhausen	1896	0,2	"
	Löhnberg/Selters	1896	0,13	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1956	0,824	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1956	0,938	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1956	0,726	"
	Niederselters	1931	0,66	"
	Niederselters	1950	0,12	"
	Obershausen-Nenderoth	?	0,03	"
	Selters/Lahn (Carl-Gustav-Quelle)	1957	0	"
	Selters/Lahn (Carl-Ludwig-Quelle)	1952	0,90	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1950	0,220	"
	Bad Wildungen (Reinhardtquelle)	1962	0,06	"

Cadmium

Zechstein	Spangenberg-Moershausen	1979	0,00016	mg/kg
-----------	-------------------------	------	---------	-------

Cobalt

sedimentäres Tertiär	Bad Homburg (Auguste-Victoria-Brunnen)	1959	0,015	mg/kg
Buntsandstein	Arolsen	1972	0,005	"
	Malsfeld (Mineralbrunnen)	1962	0	"

Fortsetzung Tab. 14

Zechstein	Herbstein	1977	0,001	mg/kg
Devon, einschließlich devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Selters/Lahn (Carl-Ludwig-Quelle)	1952	< 0,0002	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1950	< 0,0002	"
<u>Chrom</u>				
Zechstein	Spangenberg-Moershausen	1979	0,0038	mg/kg
<u>Kupfer</u>				
sedimentäres Tertiär	Heppenheim (Odenwaldquelle)	1958	0,012	mg/kg
	Bad Homburg (Auguste-Victoria-Brunnen)	1959	0,062	"
	Bad Homburg (Elisabethen Brunnen)	1947	0,032	"
	Bad Homburg (Landgrafenquelle)	1959	0,13	"
	Bad Homburg (Louisenbrunnen)	1959	0,13	"
	Wiesbaden (Adler Quelle)	1959	0,02	"
Keuper	Großenlüder	1958	0,15	"
Buntsandstein	Arolsen	1972	0,002	"
	Malsfeld (Mineralbrunnen)	1962	0	"
	Bad Salzschlirf (Bitterquelle)	1958	0,15	"
	Bad Salzschlirf (Bonifatiusbrunnen)	1946	1,539	"
	Bad Salzschlirf (Kinderbrunnen)	1956	0	"
	Bad Salzschlirf (Sprudel)	1956	0,05	"
Zechstein	Herbstein	1977	0,002	"
	Bad Hersfeld (Neubohrung 1965)	1967	0,0058	"
	Bad Hersfeld (Vitalisbrunnen)	1950	0,007	"
	Spangenberg-Moershausen	1979	0,0026	"
	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1951	0,046	"
	Bad Orb (Martinsquelle)	1951	0,058	"
	Bad Orb (Phillipsquelle)	1951	0,093	"
Rotliegendes	Bad Vilbel (Gronaris-Sprudel)	1948	0,024	"

Fortsetzung Tab. 14

Karbon	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1957	0,0062	mg/kg
Devon, einschließlich devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Biskirchen/Lahn	1956	0,049	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1956	0,030	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1956	0,025	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1956	0,252	"
	Selters/Lahn (Carl-Gustav-Quelle)	1957	0,02	"
	Selters/Lahn (Carl-Ludwig-Quelle)	1952	0,009	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1950	0,00016	"
	Bad Wildungen (Reinhardsquelle)	1962	0,01	"

Quecksilber

Buntsandstein	Malsfeld (Mineralbrunnen)	1962	0	mg/kg
---------------	---------------------------	------	---	-------

Lithium

sedimentäres Tertiär	Heppenheim (Odenwaldquelle)	1958	0,94	mg/kg
	Bad Homburg (Auguste-Victoria Brunnen)	1959	0,17	"
	Bad Homburg (Elisabethen Brunnen)	1947	2,164	"
	Bad Homburg (Landgrafenquelle)	1959	0,12	"
	Bad Homburg (Louisenbrunnen)	1959	0,10	"
	Kiedrich	1950	4,0	"
	Ober-Rosbach (Brunnen Nr. 1)	1930	0,1262	"
	Bad Salzhausen (Lithium Quelle)	1931	5,8	"
	Schwalheim (Brunnen)	1905	1,46	"
	Schwalheim (Germania-Brunnen)	1938	0,29	"
	Schwalheim (Löwenquelle)	1905	1,1	"
	Bad Weilbach (Natron-Lithion-Quelle)	1955	1,16	"
	Wiesbaden (Adler Quelle)	1959	3,1	"
	Wiesbaden (Drei-Lilien-Quelle)	1936	3,477	"
	Wiesbaden (Faulbrunnen)	1948	2,6	"
Wiesbaden (Kochbrunnen)	1941	3,48	"	

Fortsetzung Tab. 14

Keuper	Großenlüder	1879	0,524	mg/kg
	Großenlüder	1928	0,818	"
	Großenlüder	1958	4,42	"
Muschelkalk	Weyhers	1936	0,3	"
Buntsandstein	Bad Hersfeld (Lingg-Brunnen)	1941	0,124	"
	Bad Hersfeld	1950	0,124	"
	Bad Hersfeld	1960	0,124	"
	Malsfeld (Mineralbrunnen)	1962	0,126	"
	Bad Salzschlirf (Bitterquelle)	1958	4,42	"
	Bad Salzschlirf (Bonifatiusbrunnen)	1946	3,172	"
	Bad Salzschlirf (Bonifatiusbrunnen)	1956	3,05	"
	Bad Salzschlirf (Kinderbrunnen)	1956	0,63	"
	Bad Salzschlirf (Sprudel)	1956	6,35	"
	Volkmarsen (Sauerbrunnen)	1929	0,11	"
Zechstein	Kassel-Wilhelmshöhe	1979	2,33	"
	Edertal-Bergheim	1977	0,01	"
	Emstal (Kreis Kassel)	1976	0,211	"
	Herbstein	1977	0,36	"
	Bad Hersfeld (Lullusbrunnen)	1905	0,246	"
	Bad Hersfeld (Neubohrung 1965)	1967	0,318	"
	Bad Hersfeld (Vitalisbrunnen)	1950	0,5	"
	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1896	1,482	"
	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1951	2,17	"
	Bad Orb (Martinusquelle)	1906	2,4	"
	Bad Orb (Martinusquelle)	1951	2,10	"
	Bad Orb (Phillipsquelle)	1892	2,10	"
	Bad Orb (Phillipsquelle)	1951	2,62	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1906	2,162	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1948	1,916	"
Zechstein/ Rotliegendes	Wetter/Krs. Marburg-Biedenkopf	1975	1,87	"
	Bad Soden/Salmünster (Karl-Roth-Quelle)	1930	2,7	"

Fortsetzung Tab. 14

Rotliegendes	Offenbach (Kaiser-Friedrich-Quelle)	1953	2,443	mg/kg
	Bad Vilbel (Friedrich-Karl-Quelle)	1954	1,50	"
	Bad Vilbel (Gronaris-Sprudel)	1948	0,377	"
Karbon	Bad Wildungen (Georg-Viktor-Quelle)	1892	0,092	"
	Bad Wildungen (Georg-Viktor-Quelle)	1936	0,182	"
	Bad Wildungen (Georg-Viktor-Quelle)	1962	43,33	"
	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1936	0,493	"
	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1957	0,56	"
	Bad Wildungen (Königsquelle)	1895	0,527	"
	Bad Wildungen (Schloßquelle)	1899	0,08	"
Devon, einschl. devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Aßmannshausen (Graf-Adolf-Quelle)	1940	3,3	"
	Biskirchen/Lahn	1940	1,435	"
	Biskirchen/Lahn	1950	1,84	"
	Biskirchen/Lahn	1956	0,81	"
	Lindenholzhausen	1896	1,6	"
	Löhnberg/Selters	1896	1,73	"
	Bad Nauheim (Karlsbrunnen)	1930	3,2	"
	Bad Nauheim (Kurbrunnen)	1930	3,3	"
	Bad Nauheim (Ludwigsbrunnen)	1930	0,007	"
	Bad Nauheim (Siedehausquelle)	1925	1,9	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1929	7,9	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1956	2,20	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1907	8,7	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1956	2,19	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1930	1,3	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1956	2,16	"
	Niederselters	1931	1,26	"
	Niederselters	1950	0,59	"
	Obershausen-Nenderoth	?	0,62	"
	Rückershausen	1906	0,3	"
Selters/Lahn (Carl-Gustav-Quelle)	1957	0,40	"	
Selters/Lahn (Carl-Ludwig-Quelle)	1952	0,38	"	
Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1950	1,84	"	
Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1965	1,62	"	
Selters/Lahn (Klosterbrunnen)	1896	0,8	"	

Fortsetzung Tab. 14

Devon, einschl. devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Schlangenbad	1940	0,46	mg/kg
	Bad Schwalbach (Stahlbrunnen, linker Ablauf)	1934	0,025	"
	Bad Schwalbach (Stahlbrunnen, rechter Ablauf)	1934	0,029	"
	Bad Wildungen (Reinhardsquelle)	1894	0,075	"
	Bad Wildungen (Reinhardsquelle)	1962	0,004	"

Nickel

sedimentäres Tertiär	Heppenheim (Odenwaldquelle)	1958	0,0016	mg/kg
	Bad Homburg (Auguste-Victoria- Brunnen)	1959	0,015	"
	Bad Homburg (Elisabethen Brunnen)	1947	0,014	"
	Bad Homburg (Landgrafenquelle)	1959	0,005	"
	Bad Homburg (Louisenbrunnen)	1959	0,003	"
Buntsandstein	Arolsen	1972	0,009	"
Zechstein	Herbstein	1977	0,002	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1906	-	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1948	0,004	"
Zechstein/ Rotliegendes	Wetter/Krs. Marburg-Biedenkopf	1975	0,005	"
Devon, einschl. devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1956	0,022	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1956	0,023	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1956	0,034	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian- Quelle)	1965	0,0024	"
	Bad Wildungen (Reinhardsquelle)	1962	0,0007	"

Blei

sedimentäres Tertiär	Schwalheim (Brunnen)	1905	0	mg/kg
	Schwalheim (Löwenquelle)	1905	0	"

Fortsetzung Tab. 14

Keuper	Großenlüder	1958	0,12	mg/kg
Buntsandstein	Arolsen	1972	0,013	"
	Malsfeld (Brunnen)	1962	0,04	"
	Bad Salzschlirf (Bitterquelle)	1958	0,12	"
Zechstein	Herbstein	1977	0,003	"
Zechstein/ Rotliegendes	Wetter/Krs. Marburg-Biedenkopf	1975	0,0058	"
	Spangenberg-Moershausen	1979	0,08	"
Devon, einschl. devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Biskirchen/Lahn	1950	0,05	"
	Bad Nauheim (Karlsbrunnen)	1930	0	"
	Bad Nauheim (Kurbrunnen)	1930	0	"
	Bad Nauheim (Ludwigsbrunnen)	1930	0	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1956	0,208	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1956	0,114	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1956	0,102	"
	Selters/Lahn (Carl-Gustav-Quelle)	1957	0	"
	Selters/Lahn (Carl-Ludwig-Quelle)	1952	0,08	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1950	0,054	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1965	0,0015	"

Strontium

sedimentäres Tertiär	Heppenheim (Odenwaldquelle)	1958	2,11	mg/kg
	Bad Homburg (Auguste-Victoria-Brunnen)	1959	2,22	"
	Bad Homburg (Elisabethen Brunnen)	1947	7,954	"
	Bad Homburg (Landgrafenquelle)	1959	6,47	"
	Bad Homburg (Louisenbrunnen)	1959	0,60	"
	Schwalheim (Brunnen)	1905	0,6	"
	Schwalheim (Germania-Brunnen)	1938	1,84	"
	Schwalheim (Löwenquelle)	1905	0,2	"
	Wiesbaden (Adler Quelle)	1959	12,7	"
	Wiesbaden (Drei-Lilien-Quelle)	1936	19,76	"
	Wiesbaden (Faulbrunnen)	1948	8,2	"
	Wiesbaden (Kochbrunnen)	1941	12,28	"

Fortsetzung Tab. 14

Keuper	Großenlüder	1879	0,721	mg/kg
	Großenlüder	1928	0,696	"
	Großenlüder	1958	15,05	"
Buntsandstein	Arolsen	1972	6,0	"
	Bad Hersfeld (Lingg-Brunnen)	1941	4,217	"
	Bad Hersfeld (Lingg-Brunnen)	1950	4,217	"
	Bad Hersfeld (Lingg-Brunnen)	1960	4,217	"
	Malsfeld (Mineralbrunnen)	1962	7,182	"
	Bad Salzschlirf (Bitterquelle)	1958	15,05	"
	Bad Salzschlirf (Bonifatiusbrunnen)	1946	5,544	"
	Bad Salzschlirf (Kinderbrunnen)	1956	0,901	"
	Bad Salzschlirf (Sprudel)	1956	13,82	"
	Volkmarzen (Sauerbrunnen)	1929	0,76	"
Zechstein	Kassel-Wilhelmshöhe	1979	20,7	"
	Edertal-Bergheim	1977	11,05	"
	Emstal (Kreis Kassel)	1976	12,73	"
	Bad Hersfeld (Lullusbrunnen)	1905	6,501	"
	Bad Hersfeld (Neubohrung 1965)	1967	10,96	"
	Bad Hersfeld (Vitalisbrunnen)	1950	10,9	"
	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1896	0,295	"
	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1951	11,24	"
	Bad Orb (Martinusquelle)	1906	7,4	"
	Bad Orb (Martinusquelle)	1951	9,91	"
	Bad Orb (Phillipsquelle)	1951	14,23	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1906	20,58	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1948	8,467	"
	Zechstein/ Rotliegendes	Wetter/Krs. Marburg-Biedenkopf	1975	2,07
Rotliegendes	Offenbach (Kaiser-Friedrich-Quelle)	1953	0,087	"
	Bad Vilbel (Friedrich-Karl-Quelle)	?	2,17	"
	Bad Vilbel (Friedrich-Karl-Quelle)	1954	0,014	"
	Bad Vilbel (Gronaris-Sprudel)	1948	2,301	"
Karbon	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1936	1,408	"
	Bad Wildungen (Helenen Quelle)	1957	1,18	"

Fortsetzung Tab. 14

Devon, einschl. devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Abmannshausen (Graf-Adolf-Quelle)	1940	1,173	mg/kg
	Biskirchen/Lahn	1940	0,2659	"
	Biskirchen/Lahn	1950	0,44	"
	Biskirchen/Lahn	1956	1,48	"
	Lindenholzhausen	1896	2,6	"
	Löhnberg/Selters	1896	2,77	"
	Bad Nauheim (Gasquelle)	1957	3,0	"
	Bad Nauheim (Karlsbrunnen)	1930	10,2	"
	Bad Nauheim (Karlsbrunnen)	1956	10,83	"
	Bad Nauheim (Kurbrunnen)	1930	8,7	"
	Bad Nauheim (Kurbrunnen)	1955	11,63	"
	Bad Nauheim (Ludwigsbrunnen)	1930	1,7	"
	Bad Nauheim (Ludwigsbrunnen)	1954	1,80	"
	Bad Nauheim (Siedehausquelle)	1925	21,9	"
	Bad Nauheim (Siedehausquelle)	1955	8,55	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1929	12,3	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1956	39,58	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1907	31,0	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1956	48,05	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1930	25,1	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1956	47,88	"
	Niederselters	1931	2,34	"
	Niederselters	1950	1,30	"
	Obershausen-Nenderoth	?	0,58	"
	Rückershausen	1906	0,8	"
	Selters/Lahn (Carl-Gustav-Quelle)	1957	1,36	"
	Selters/Lahn (Carl-Ludwig-Quelle)	1952	1,05	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1950	0,436	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1965	1,54	"
	Schlangenbad	1940	0,19	"
	Bad Schwalbach (Stahlbrunnen, linker Ablauf)	1934	0,164	"
	Bad Schwalbach (Stahlbrunnen, rechter Ablauf)	1934	0,142	"
	Bad Wildungen (Reinhardsquelle)	1962	0,38	"

Fortsetzung Tab. 14

Zink

sedimentäres Tertiär	Heppenheim (Odenwaldquelle)	1958	0,13	mg/kg
	Bad Homburg (Auguste-Victoria- Brunnen)	1959	0,052	"
	Bad Homburg (Elisabethen Brunnen)	1947	0,042	"
	Bad Homburg (Landgrafenquelle)	1959	0,027	"
	Bad Homburg (Louisenbrunnen)	1959	0,015	"
	Schwalheim (Brunnen)	1905	0	"
	Schwalheim (Germania-Brunnen)	1938	0,18	"
	Schwalheim (Löwenquelle)	1905	0	"
	Wiesbaden (Faulbrunnen)	1948	0,03	"
Keuper	Großenlüder	1958	0,01	"
Buntsandstein	Arolsen	1972	0,029	"
	Malsfeld (Mineralbrunnen)	1962	0,14	"
	Bad Salzschlirf (Bitterquelle)	1958	0,01	"
	Bad Salzschlirf (Bonifatiusbrunnen)	1946	0,158	"
	Bad Salzschlirf (Kinderbrunnen)	1956	< 0,001	"
	Bad Salzschlirf (Sprudel)	1956	0,15	"
Zechstein	Edertal-Bergheim	1977	0,05	"
	Herbstein	1977	0,018	"
	Bad Hersfeld (Lullusbrunnen)	1905	4,303	"
	Spangenberg-Moershausen	1979	0,132	"
	Bad Orb (Ludwigsquelle)	1951	0,20	"
	Bad Orb (Martinusquelle)	1951	0,075	"
	Bad Orb (Phillipsquelle)	1951	0,33	"
	Bad Selters bei Ortenberg (Benediktus-Sprudel)	1948	0,348	"
Zechstein/ Rotliegendes	Wetter/Krs. Marburg-Biedenkopf	1975	0,0024	"
Rotliegendes	Bad Vilbel (Gronaris-Sprudel)	1948	0,115	"
Devon, einschl. devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Biskirchen/Lahn	1950	0,04	"
	Biskirchen/Lahn	1956	0,047	"
	Bad Nauheim (Karlsbrunnen)	1930	2,6	"
	Bad Nauheim (Kurbrunnen)	1930	2,5	"

Fortsetzung Tab. 14

Devon, einschl. devonischer Vulkanite, z.B. Diabas	Bad Nauheim (Ludwigsbrunnen)	1930	0,7	mg/kg
	Bad Nauheim (Ludwigsbrunnen)	1954	0,20	"
	Bad Nauheim (Siedehausquelle)	1925	1,5	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1929	2,2	"
	Bad Nauheim (Sprudel VII)	1956	3,25	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1907	3,9	"
	Bad Nauheim (Sprudel XII)	1956	4,41	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1930	4,1	"
	Bad Nauheim (Sprudel XIV)	1956	4,02	"
	Selters/Lahn (Carl-Gustav-Quelle)	1957	0,043	"
	Selters/Lahn (Carl-Ludwig-Quelle)	1952	0,013	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1950	0,042	"
	Selters/Lahn (Friedrich-Christian-Quelle)	1965	0,0052	"
	Bad Wildungen (Reinhardsquelle)	1962	0,029	"

Fluor

Buntsandstein	Arolsen	1972	1,5	mg/kg
Zechstein	Kassel-Wilhelmshöhe	1979	0,15	"
	Edertal-Bergheim	1977	1,5	"
	Herbstein	1977	2,4	"
Zechstein/ Rotliegendes	Wetter/Krs. Marburg-Biedenkopf	1975	1,31	"

Tab. 15. Mittelwerte der Element-Konzentrationen (aus Tab. 14), geordnet nach geologischen Systemen (in Klammern: Zahl der Analysen)

<u>As</u>	mg/kg	<u>Ni</u>	mg/kg
Buntsandstein (1)	0,0106	Tertiär, sediment. (5)	0,0077
Zechstein (4)	0,171	Buntsandstein (1)	0,009
		Zechstein (2)	0,003
<u>Ba</u>		Zechstein/Rotliegend (1)	0,005
Tertiär, sediment. (9)	0,209	Devon, incl. Diabas (5)	0,016
Keuper (1)	0,001		
Buntsandstein (5)	0,031	<u>Pb</u>	
Zechstein (2)	0,321	Tertiär, sediment. (2)	0
Zechstein/Rotliegend (1)	0,019	Keuper (1)	0,12
Rotliegend (3)	0,117	Buntsandstein (3)	0,058
Karbon (7)	0,290	Zechstein (1)	0,003
Devon inclusive Diabas (15)	0,306	Zechstein/Rotliegend (2)	0,043
		Devon, incl. Diabas (11)	0,045 (0 - 0,208)
<u>Cd</u>		<u>Sr</u>	
Zechstein (1)	0,00016	Tertiär, sediment. (12)	6,245
		Keuper (3)	5,489
<u>Co</u>		Buntsandstein (10)	6,191
Tertiär, sediment. (1)	0,015	Zechstein (13)	11,151
Buntsandstein (2)	0,003	Zechstein/Rotliegend (1)	2,07
Zechstein (1)	0,001	Rotliegend (4)	1,143
Devon incl. Diabas (2)	0,0002	Karbon (2)	1,294
		Devon, incl. Diabas (33)	9,128 (0,142 - 48,05)
<u>Cr</u>		<u>Zn</u>	
Zechstein (1)	0,0038	Tertiär, sediment. (9)	0,053
		Keuper (1)	0,010
<u>Cu</u>		Buntsandstein (6)	0,081
Tertiär, sediment. (6)	0,064	Zechstein (8)	0,674
Keuper (1)	0,15	Zechstein/Rotliegend (1)	0,0024
Zechstein (7)	0,031	Rotliegend (1)	0,115
Rotliegend (1)	0,024	Devon, incl. Diabas (8)	1,651
Karbon (1)	0,062		
Devon incl. Diabas (8)	0,050		
		<u>F</u>	
<u>Hg</u>		Buntsandstein (1)	1,5
Buntsandstein (1)	0	Zechstein (3)	1,35
		Zechstein/Rotliegend (1)	1,31
<u>Li</u>			
Tertiär, sediment. (16)	1,883		
Keuper (3)	1,921		
Muschelkalk (1)	0,3		
Buntsandstein (10)	1,823		
Zechstein (15)	1,395		
Zechstein/Rotliegend (1)	1,87		
Rotliegend (4)	1,755		
Karbon (6)	0,322		
Devon incl. Diabas (30)	1,733		

Tab. 16. Zulässige Konzentrationen (in mg/l) im Trinkwasser nach Standards der World Health Organisation, European Standards und U.S.Public Health Service (aus HABERER & NORMAN 1971) sowie nach der deutschen Trinkwasserverordnung 1975 (TVO)

<u>Element</u>	<u>Standards</u>	<u>TVO</u>
Arsen (As)	0,05	0,04
Barium (Ba)	1,0	-)1
Cadmium (Cd)	0,01	0,006
Cobalt (Co)	ohne Angabe (UDSSR-St.: 1,0)	-
Chrom (Cr) VI	0,05	0,05
Kupfer (Cu)	1,0 - 1,5	-
Quecksilber (Hg)	ohne Angabe (UDSSR-St.: 0,005)	0,004
Lithium (Li)	ohne Angabe	-
Nickel (Ni)	ohne Angabe (UDSSR-St.: 0,1)	-
Blei (Pb)	0,05 - 0,1	0,04
Strontium (Sr)	ohne Angabe	-
Vanadium (V)	ohne Angabe (UDSSR-St.: 0,1)	-
Zink (Zn)	1,5 - 5,0	2,0
Fluor (F)	ohne Angabe	1,5

)1 - (ohne Angabe)

5.2. Arsen (As)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,0004–24,5 mg/kg HAsO_4 (entsprechend $2 \cdot 10^{-4}$ – 13,1 mg/kg As).

Mineralwässer Hessens: Nach den wenigen vorliegenden Analysen sind höhere Arsengehalte (0,141 mg/kg) im Zechstein zu erwarten.

Analysen 1980/81: Höhere Konzentrationen zeigen sich durchweg in den Zechsteinwässern, die höchsten im Mineralwasser des König-Heinrich-Sprudels von Bad Soden-Salmünster. In den untersuchten Wässern aus tertiären Schichten im Oberrheingraben sowie in der Grube Messel und Sandsteinen, Diabasen sowie Tonschiefern waren die Arsengehalte durchweg niedrig. Die Häufigkeitsauszählung (Abb. 21) der 79 Analysenwerte ergab bei einem Mittel von 0,09 mmol/l (= 0,0068 mg/l) und einer Standardabweichung von 0,19 ein Vorherrschen der Konzentrationen <0,04 mmol/l (= 0,003 mg/l), nämlich 73,4%. Dieser Wert liegt deutlich unter dem nach der Trinkwasserverordnung (TVO) für Trinkwässer zulässigen Grenzwert (0,04 mg/l).

Im nordwestlichen Hessen (Krs. Waldeck-Frankenberg) wurden in einigen tieferen Brunnen sowohl in Zechstein- als auch in Unterkarbonschichten Arsengehalte von amtlichen Untersuchungsstellen ermittelt, die von eigenen Untersu-

fuer:	Geochemie	Nr	Klasse	n	%
Variable:	As (ohne 2 Extremwerte)	1	0.00 - < 0.05	58	73.42
Zahl der Probanden =	79	2	0.05 - < 0.10	2	2.53
Mittelwert =	0.09	3	0.10 - < 0.15	4	5.06
Standardabweichung =	0.19	4	0.15 - < 0.20	2	2.53
Kleinster Wert =	0.00	5	0.20 - < 0.25	5	6.33
Variationsbreite =	1.02	6	0.25 - < 0.30	3	3.80
Groesster Wert =	1.02	7	0.30 - < 0.35	0	0.00
[Alle Angaben in %]		8	0.35 - < 0.40	0	0.00
		9	0.40 - < 0.45	0	0.00
		10	0.45 - < 0.50	1	1.27
		11	0.50 - < 0.55	0	0.00
		12	0.55 - < 0.60	1	1.27
		13	0.60 - < 0.65	0	0.00
		14	0.65 - < 0.70	1	1.27
		15	0.70 - < 0.75	0	0.00
		16	0.75 - < 0.80	0	0.00
		17	0.80 - < 0.85	1	1.27
		18	0.85 - < 0.90	0	0.00
		19	0.90 - < 0.95	0	0.00
		20	0.95 - < 1.00	0	0.00
		21	1.00 - < 1.05	1	1.27

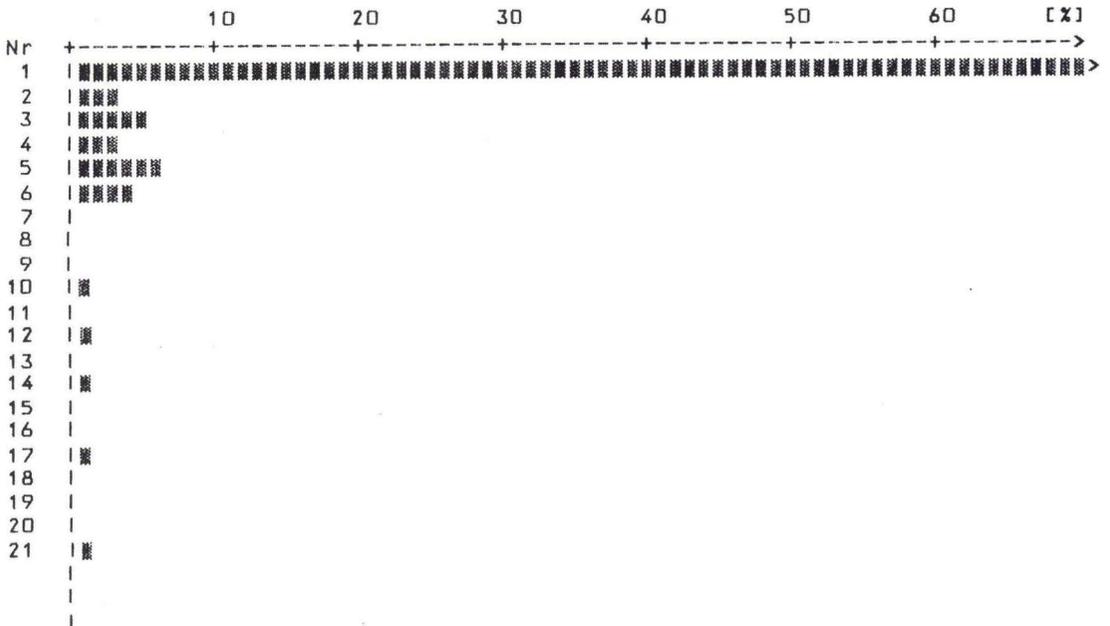


Abb. 21. Häufigkeitsauszählung der Arsenkonzentrationen.

chungsergebnissen abwichen. Z. B. wurde am 08. 01. 1977 eine Probe aus dem Brunnen Twiste entnommen. In dem Befund wird das Ergebnis mit 0,021 mg/l As angegeben, also ein höherer Wert als das Maximum (0,0191 mg/l) der hier vorgelegten Untersuchungsreihe 1980/81. Nach dem Befund-Bericht handelt es sich um „As“ und nicht um das Arsen(III)oxid (As_2O_3), in dessen Form das Arsen häufig (z. B. in Mineralwasseranalysen) angegeben wird. In einer früheren Analyse (ohne Datum) wird für Twiste sogar ein Wert von 0,069 mg/l angegeben. In diesen Zahlen zeigen sich gewissen Unsicherheiten in den Analysenergebnissen, denn es wäre schon ein ziemlicher Zufall, wenn sich in der mit optimaler Sorgfalt und Vorsicht ausgeführten, zeitlich verdichteten Analysenreihe 1980/81 durchweg niedrigere Gehalte eingestellt haben sollten als in früheren Zeiten. Schlußfolgerungen hinsichtlich qualitativer Bewertungen von Spurenanalysen sind deshalb vorsichtig zu wichten, ehe weitreichendere geohygienische Schlüsse, insbesondere hinsichtlich eines Nutzungsverbot, gezogen werden. Solche kritische Bewertungen müssen Probenahme, Probetransport, Analysenmethode und -durchführung und schließlich auch Art der Konzentrationsangabe (als Ion oder Oxid) einschließen. In diesem Zusammenhang ist für Hessen auf die Richtlinie zur „Bestimmung von Schwermetallen in Wasserproben und Eluaten mittels Atomabsorptionsspektrometrie – SM 1/78–“ (StAnz. Hessen 6/1981: 370) zu verweisen. – In den obengenannten Untersuchungsergebnissen früherer Jahre wurden auch für andere Wassergewinnungsanlagen des Kreises Waldeck-Frankenberg höhere Arsen-Gehalte angegeben, die Werte bis 0,175 mg/l ergaben. Erhöhte, jedoch unter dem TVO-Grenzwert (0,04 mg/l As) bleibende Gehalte ergaben sich in Wässern aus Brunnen, die sowohl in Unterkarbon- als auch in Zechstein-Schichten stehen. Aus lagerstättenkundlicher Sicht wären solche erhöhten Gehalte verständlich, da arsenhaltige Vererzungen in diesen Schichten häufiger vorkommen.

5.3. Barium (Ba)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,001 (BRAEUNING 1979: Tab. 2–1) bis 50,6 mg/kg; Maximalwert für Grundwässer 0,05–2 mg/l.

Mineralwässer Hessens: Die Zahl der vorhandenen Analysen ist recht unterschiedlich; niedrigere Gehalte scheinen Wässer aus der Trias (Keuper, Buntsandstein) zu haben, die höchsten Werte ergaben sich für Zechstein und Devon (um 0,3 mg/kg).

Analysen 1980/81: Es zeigt sich eine ähnliche Verteilung wie bei den Mineralwässern, im Buntsandstein (sowie im Kristallin und Basalt) wurden die geringsten Gehalte, höhere dagegen besonders im Zechstein (bis 14,6 mg/l in Brückenau), aber auch im Tertiär (Oberrheingraben 33,9 mg/kg) gefunden. Die Häufigkeitsauszählung (Abb. 22) von 78 Bestimmungen ergab bei einem Mittel von 7,51 mmol/l (= 1,03 mg/l) und der relativ hohen Standardabweichung von 31,67 weitgehend Gehalte <19,99 mmol/l (= 2,7 mg/l), nämlich 93,6%. Das Verteilungsbild der mittleren Konzentrationen dürfte jedoch mit dem errechneten Mittelwert recht verzerrt wiedergegeben werden, da die wenigen höheren Konzen-

fuer:	Geohydrochemie	Nr	Klasse	n	%
Variable: Ba		1	0.00 - < 20.00	73	93.59
Zahl der Probanden =	78	2	20.00 - < 40.00	1	1.28
Mittelwert =	7.51	3	40.00 - < 60.00	1	1.28
Standardabweichung =	31.67	4	60.00 - < 80.00	1	1.28
Kleinster Wert =	0.00	5	80.00 - < 100.00	0	0.00
Variationsbreite =	247.00	6	100.00 - < 120.00	1	1.28
Groesster Wert =	247.00	7	120.00 - < 140.00	0	0.00
[Alle Angaben in %]		8	140.00 - < 160.00	0	0.00
		9	160.00 - < 180.00	0	0.00
		10	180.00 - < 200.00	0	0.00
		11	200.00 - < 220.00	0	0.00
		12	220.00 - < 240.00	0	0.00
		13	240.00 - < 260.00	1	1.28

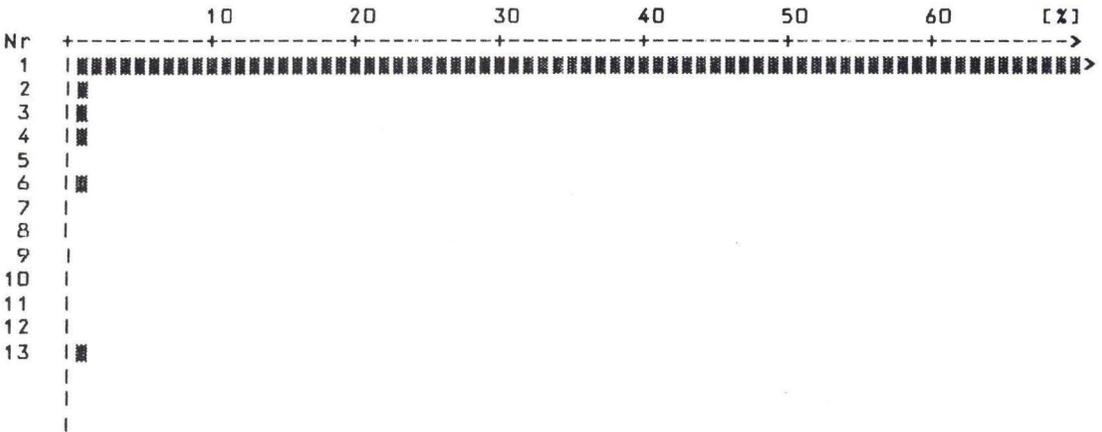


Abb. 22. Häufigkeitsauszählung der Bariumkonzentrationen.

trationen den Mittelwert unverhältnismäßig erhöhen. In den untersuchten Trinkwässern lagen die Werte deutlich unter 1,0 mg/l. In der TVO wurde kein Grenzwert für Barium festgelegt. Die US-Standards geben 1,0 mg/l an.

5.4. Cadmium (Cd)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: Keine Angaben für den Konzentrationsbereich, da nur 2 Werte vorlagen; Maximalgehalt 8 mg/kg. PLOTNER & PUCHTA (1971, zit. BRAEUNING 1979: 20) untersuchten Mineralwässer der Deutschen Demokratischen Republik auf Cadmium und Zink; dort liegt der Cd-Gehalt zwischen 0,0001 und 0,045 mg/kg, bei Zinkgehalten zwischen 0,04 und 21,842 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Es liegt nur eine Analyse aus dem Zechstein vor (0,00016 mg/kg).

Analysen 1980/81: Die Werte blieben weitgehend unter der Nachweisgrenze (0,00004 mg/l), so daß eine statistische Auswertung nicht möglich war. Relativ höhere Werte fanden sich in einigen Wasserproben aus paläozoischen Schichten. Die höchsten Gehalte stellten sich in der Tiefbohrung Brückenau (0,0009 mg/l) und im Mittel des Brunnens Dombachtal III/WBV Tenne (0,0004 mg/l) ein. Der Grenzwert nach der TVO liegt bei 0,006 mg/l, wurde aber nirgends, auch nicht in den Wässern der Tiefbohrungen erreicht.

5.5. Cobalt (Co)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,0007–0,103 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Es liegen nur wenige Bestimmungen vor, die Gehalte liegen zwischen 0,0002 (Devon) und 0,015 mg/kg (Tertiär).

Analysen 1980/81: Die meisten Werte blieben unter der Nachweisgrenze (0,002 mg/l). Höhere Gehalte fanden sich in tiefen Zechstein-Bohrungen (0,003–0,005 mg/l), der höchste im Tertiär des Oberrheingrabens (0,028 mg/l). Eine statistische Auswertung entfiel, da 88,3% der 77 Bestimmungen unter oder im Bereich der Nachweisgrenze lagen. – Ein Grenzwert für Trinkwasser findet sich nur in den UdSSR-Standards: 0,1 mg/l. Dieser Wert wird auch in Mineralwässern Hessens nicht annähernd erreicht.

5.6. Chrom (Cr)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,0001–0,09 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Es liegt nur eine Bestimmung aus dem Zechstein vor (0,0038 mg/kg).

Analysen 1980/81: Die meisten Wässer enthielten Chrom, höhere Werte im Zechstein (0,015–0,02 mg/l), der höchste jedoch im Tertiär von Messel (0,0342 mg/l). Die meisten Werte liegen unter 0,01 mg/l, sogar in tieferen Zechstein-Bohrungen (Twiste, Ober-Waroldern, Arolsen-Braunsen, Marjoß, Brückenau usw.). Aus 79 Bestimmungen errechnete sich (Abb. 23) ein Mittel von 0,12 mmol/l (= 0,006 mg/l) bei einer Standardabweichung von 0,14. Die Mehrzahl der Gehalte (36,7%) war niedriger als 0,04 mmol/l (= 0,003 mg/l). Der Grenzwert nach der TVO liegt bei 0,05 mg/l. Selbst die höchste festgestellte Konzentration (Brg. Messel 4) erreichte mit 0,0342 mg/l diesen Grenzwert nicht, erst recht nicht die tieferen Zechstein-Bohrungen.

5.7. Kupfer (Cu)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,00016–3,2 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Höhere Konzentrationen fanden sich in einigen Mineralwässern aus paläozoischen Schichten (0,03–0,06 mg/kg). Auch der für sedimentäres Tertiär in der Tab. 15 aufgeführte Wert (0,064 mg/kg) ist wohl mehr

fuer:	Geochemie	Nr	Klasse	n	%
Variable: Cr		1	0.00 - < 0.05	29	36.71
Zahl der Probanden =	79	2	0.05 - < 0.10	23	29.11
Mittelwert =	0.12	3	0.10 - < 0.15	14	17.72
Standardabweichung =	0.14	4	0.15 - < 0.20	3	3.80
Kleinster Wert =	0.00	5	0.20 - < 0.25	1	1.27
Variationsbreite =	0.72	6	0.25 - < 0.30	3	3.80
Groesster Wert =	0.72	7	0.30 - < 0.35	1	1.27
[Alle Angaben in %]		8	0.35 - < 0.40	2	2.53
		9	0.40 - < 0.45	0	0.00
		10	0.45 - < 0.50	0	0.00
		11	0.50 - < 0.55	0	0.00
		12	0.55 - < 0.60	0	0.00
		13	0.60 - < 0.65	0	0.00
		14	0.65 - < 0.70	2	2.53
		15	0.70 - < 0.75	1	1.27

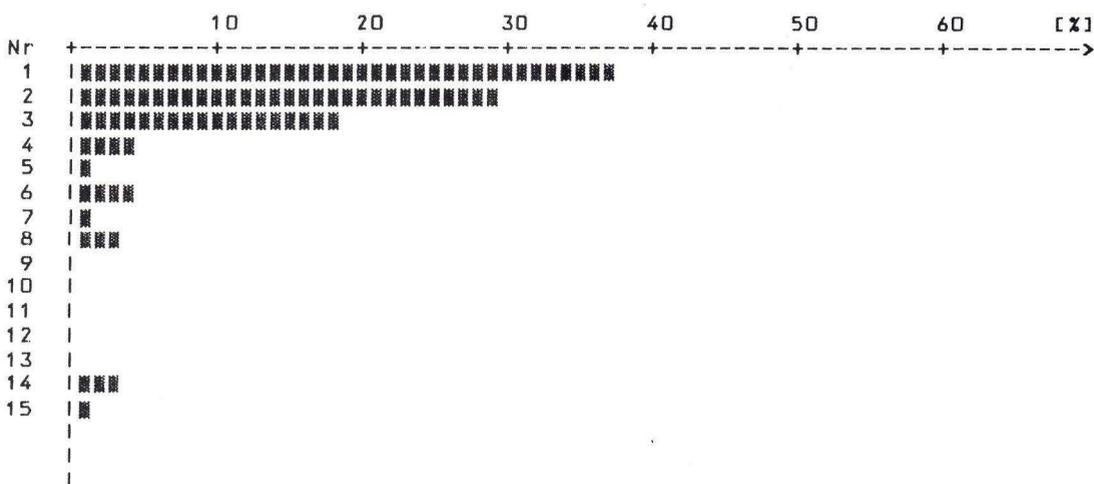


Abb. 23. Häufigkeitsauszählung der Chromkonzentrationen.

auf Einflüsse paläozoischer Schichten zurückzuführen, da es sich hier um Brunnen in Bad Homburg v.d.H. handelt, deren Heilwässer aus devonischen Schichten aufsteigen, die Konzentrationen nehmen dort bis 0,13 mg/kg zu. Die höchste Konzentration ergab eine Analyse der in Keuper-Schichten austretenden Mineralquelle Großenlüder, angefertigt im Jahre 1958, mit 0,15 mg/kg, tatsächlich dürfte das Mineralwasser jedoch aus Zechstein-Schichten aufsteigen.

Analysen 1980/81: Die meisten ermittelten Konzentrationen blieben unter der Nachweisgrenze (0,002 mg/l); dazu gehört auch die Mehrzahl der Wässer aus tieferen Zechstein-Bohrungen. Der höchste Wert stellte sich in Brückenau mit

0,102 mg/l ein. Geringfügig erhöht waren auch noch Kupfergehalte von zwei Mineralwasserproben aus Bad Homburg v.d.H. (Ludwigsbrunnen, 0,0387 mg/kg) und Wiesbaden (Kochbrunnen, 0,0235 mg/kg). – Die TVO sieht keinen Grenzwert vor, die US-Standards 1,0–1,5 mg/l. Solche Gehalte werden in Hessen nicht annähernd erreicht.

5.8. Quecksilber (Hg)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,001–0,005 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Eine Analyse, jedoch ohne Hg-Gehalt.

Analysen 1980/81: Quecksilber fehlte weitgehend in den Grundwässern bzw. deren Gehalte blieben unter der Nachweisgrenze (0,002 mg/l). Der höchste Gehalt (0,0182 mg/l) fand sich im Wasser des Brunnens von Steffenberg-Steinperf, der im Diabas steht. Möglicherweise liegt hier jedoch ein anthropogener Einfluß als Folge der Verwendung von Hg-haltigen Pestiziden im Einzugsgebiet vor. Überhaupt ist bei Nachweis von Quecksilber im Grundwasser zunächst an Belastungen durch Pestizide zu denken, ehe geogene Quecksilbergehalte vermutet werden. Geogene Quecksilbergehalte sind im Grundwasser verhältnismäßig selten, wie auch SCHÖTLER (1980: 39) schon feststellte. Leicht erhöhte, offensichtlich jedoch geogene Quecksilbergehalte wurden in den Tiefbohrungen Arolsen-Braunsen (0,0025 mg/l) und Brückenau (0,0047 mg/l) gefunden, beide im Zechstein. Eine statistische Auswertung erübrigt sich mangels Daten. Der TVO-Grenzwert liegt bei 0,004 mg/l.

5.9. Lithium (Li)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,004–163 mg/kg. Höhere Werte treten gelegentlich in Thermalwässern und Solen auf, ferner in Wässern von Erdöllagerstätten.

Mineralwässer Hessens: Mit 86 Daten liegen zwar verhältnismäßig viele Bestimmungen vor, doch schwanken die aus den Analysen errechneten Mittel für die geologischen Systeme in verhältnismäßig engen Grenzen, nämlich zwischen 1,4 und 1,9 mg/kg. Den niedrigsten Gehalt hatte ein Mineralwasser aus dem Muschelkalk (0,3 mg/kg), dessen einzige Analyse aber statistisch nicht repräsentativ ist.

Analysen 1980/81: Wie bereits die Auswertung der regelmäßig beprobten Brunnen (Abschn. 4) ergab, fehlten in deren Wässern durchweg Lithium-Gehalte. Bemerkenswerterweise konnte Lithium auch in den Zechstein-Tiefbohrungen nicht nachgewiesen werden; alle diese Bohrungen lagen jedoch nicht im Bereich des Steinsalz-Salinars. Der höchste Gehalt ergab sich in Bad Soden-Salmünster (König-Heinrich-Sprudel) mit 10,58 mg/kg, wo höher konzentrierte Salzwässer in Zechstein-Schichten erschlossen wurden. Ferner fanden sich erhöhte Li-Gehalte in den stärker konzentrierten Salzwässern des Oberrheingraben (Hähnlein: 9,01 mg/kg), in Bad Homburg v.d.H und Wiesbaden (2,4–3,3 mg/kg). Anscheinend geht die Li-Konzentration mit höheren NaCl-Konzentrationen einher. – Eine

statistische Auswertung wurde nicht durchgeführt, da ein Großteil der untersuchten Proben keine feststellbaren Lithium-Gehalte aufwies. – Für Lithium wird in keinem Standard ein Grenzwert angegeben.

5.10. Nickel (Ni)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland 0,0002–0,06 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Ohne deutliche Tendenzen schwanken die Gehalte zwischen 0,003 und 0,016 mg/kg. Möglicherweise sind die Konzentrationen in Zechstein-Schichten niedriger.

Analysen 1980/81: Nickel fand sich in 14 von 26 beprobten Stellen. Die höchsten Gehalte wurden im Oberrheingraben ermittelt (0,02–0,07 mg/l). Ebenfalls leicht erhöht waren noch die Gehalte in Bad Wildungen/Helenenquelle (Unterkarbon: 0,0214 mg/kg) und Brückenau (Zechstein, 0,016 mg/l), während die übrigen zwischen der Nachweisgrenze (0,002 mg/l) und 0,01 mg/l blieben. – Aus den 81 Bestimmungen ergab sich (Abb. 24) ein Mittel von 0,08 mmol/l (= 0,005 mg/l) bei einer Standardabweichung von 0,23. 82,7% der Werte blieben unter 0,09 mmol/l (0,0053 mg/l). – Weder in der TVO noch in den US-Standards wird für Nickel ein Grenzwert angegeben; der UdSSR-Standard liegt bei 0,1 mg/l. Diese Konzentration wird aber weder in Mineralwässern noch in Wässern der Analysen 1980/81 erreicht.

5.11. Blei (Pb)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,003–1,60, vereinzelt bis 34 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Der höchste Wert fand sich in einigen Mineralquellen von Bad Nauheim (Devon; bis 0,208 mg/kg) sowie nach einer Analyse aus dem Jahre 1958 im Mineralwasser von Großenlüder (0,12 mg/kg), die zwar im Keuper steht, ihren Zulauf jedoch aus Zechstein-Schichten erhält. In den wenigen Bestimmungen wechseln sonst die Gehalte zwischen 0,003 und 0,058 mg/kg.

Analysen 1980/81: In den meisten, nämlich in 18 der 26 beprobten Stellen war kein Gehalt über der Nachweisgrenze (0,001 mg/l) festzustellen. Der höchste Gehalt wurde im Wasser der Zechstein-Bohrung Brückenau (0,012 mg/kg) ermittelt, während er in den übrigen beprobten Stellen zwischen 0,002 und 0,003 mg/l wechselte. Mangels ausreichenden Datenmaterials erübrigte sich eine statistische Auswertung. Der Grenzwert für Blei liegt noch nach der TVO bei 0,04 mg/l, wurde also auch in dem relativ höchstkonzentrierten Wasser (Brückenau) nicht erreicht.

5.12. Strontium (Sr)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,008–2200 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Strontium ist in den meisten Mineralwässern enthalten, offensichtlich mit ähnlichen, von den Salzgehalten abhängenden Kon-

fuer:	Geochemie	Nr	Klasse	n	%
Variable: Ni		1	0.00 - < 0.10	67	82.72
Zahl der Probanden =	81	2	0.10 - < 0.20	6	7.41
Mittelwert =	0.08	3	0.20 - < 0.30	3	3.70
Standardabweichung =	0.23	4	0.30 - < 0.40	2	2.47
Kleinster Wert =	0.00	5	0.40 - < 0.50	0	0.00
Variationsbreite =	1.35	6	0.50 - < 0.60	0	0.00
Groesster Wert =	1.35	7	0.60 - < 0.70	0	0.00
[Alle Angaben in %]		8	0.70 - < 0.80	0	0.00
		9	0.80 - < 0.90	0	0.00
		10	0.90 - < 1.00	0	0.00
		11	1.00 - < 1.10	1	1.23
		12	1.10 - < 1.20	1	1.23
		13	1.20 - < 1.30	0	0.00
		14	1.30 - < 1.40	1	1.23

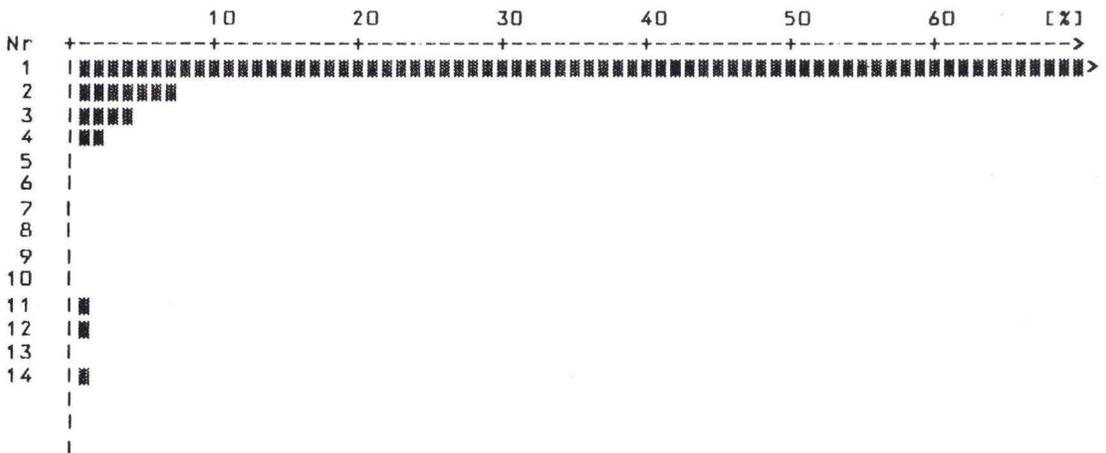


Abb. 24. Häufigkeitsauszählung der Nickelkonzentrationen.

zentrationen wie Lithium. Die höchsten Gehalte bis 48,05 mg/kg) fanden sich in Bad Nauheim. Die in der Tab. 15 aufgeführten Mittelwerte geben die mittleren Verhältnisse nur sehr näherungsweise wieder, da die Konzentrationen in weiten Grenzen wechseln.

Analysen 1980/81: Auch in diesen Analysen schwankten die Werte in weiteren Grenzen. Der höchste Gehalt ergab sich im Wasser der 450 m tiefen Brg. Hähnlein in Tertiärschichten des Oberrheingrabens mit 51,19 mg/kg. Ferner fanden sich höhere Gehalte in Mineralquellen wie Bad Soden-Salmünster (30,2 mg/kg) und Wiesbaden/Kochbrunnen (18,97 mg/kg). Niedrige Konzentrationen hatten Wässer aus Tonschiefern des Devons (WBV Tenne 0,0858–0,15 mg/l),

fuer:	Geohydrochemie	Nr	Klasse	n	%
Variable: Sr		1	0.00 - < 50.00	71	88.75
Zahl der Probanden =	80	2	50.00 - < 100.00	2	2.50
Mittelwert =	31.92	3	100.00 - < 150.00	3	3.75
Standardabweichung =	90.02	4	150.00 - < 200.00	0	0.00
Kleinster Wert =	0.63	5	200.00 - < 250.00	1	1.25
Variationsbreite =	583.37	6	250.00 - < 300.00	0	0.00
Groesster Wert =	584.00	7	300.00 - < 350.00	1	1.25
[Alle Angaben in %]		8	350.00 - < 400.00	1	1.25
		9	400.00 - < 450.00	0	0.00
		10	450.00 - < 500.00	0	0.00
		11	500.00 - < 550.00	0	0.00
		12	550.00 - < 600.00	1	1.25

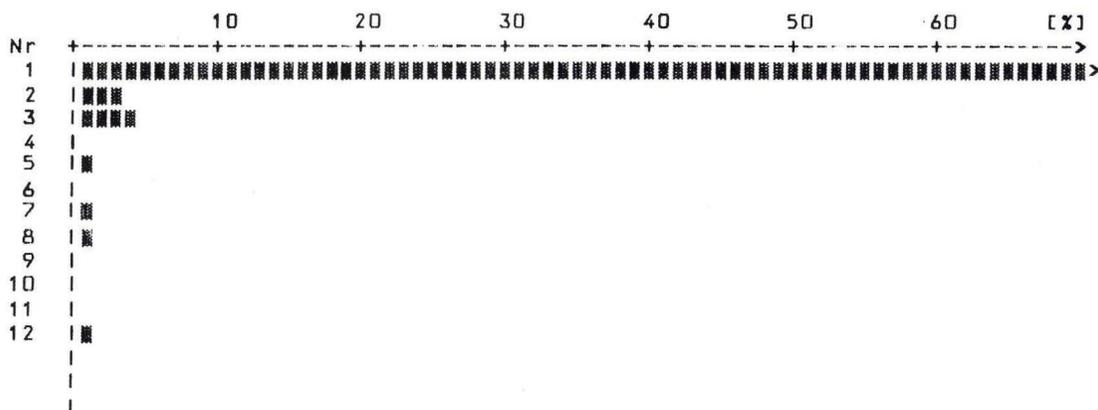


Abb. 25. Häufigkeitsauszählung der Strontiumkonzentrationen.

aus Diabas (0,08 mg/l) bzw. Basalt (0,13 mg/l) und aus Sandsteinen des Buntsandsteins (0,056–0,15 mg/l). Aus 80 Werten errechnete sich ein Mittel (Abb. 25) von 31,92 mmol/l (= 2,8 mg/l) bei einer Standardabweichung von 90,02. 88,75% der Werte lag unter 49,99 mmol/l (= 4,4 mg/l). – Für Trinkwässer wird kein Grenzwert angegeben.

5.13. Vanadium (V)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,005–1,9 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Daten fehlen.

Analysen 1980/81: Vanadium fand sich in den Wässern fast aller (außer Steffenberg-Steinperf und Wallersdorf) beprobten Stellen. Dabei zeichnet sich

fuer:	Geohydrochemie	Nr	Klasse	n	%
Variable: V		1	0.00 - <	32	40.00
Zahl der Probanden =	80	2	1.00 - <	21	26.25
Mittelwert =	1.96	3	2.00 - <	17	21.25
Standardabweichung =	2.36	4	3.00 - <	2	2.50
Kleinster Wert =	0.00	5	4.00 - <	1	1.25
Variationsbreite =	12.00	6	5.00 - <	0	0.00
Groesster Wert =	12.00	7	6.00 - <	3	3.75
[Alle Angaben in %]		8	7.00 - <	0	0.00
		9	8.00 - <	1	1.25
		10	9.00 - <	1	1.25
		11	10.00 - <	1	1.25
		12	11.00 - <	0	0.00
		13	12.00 - <	1	1.25

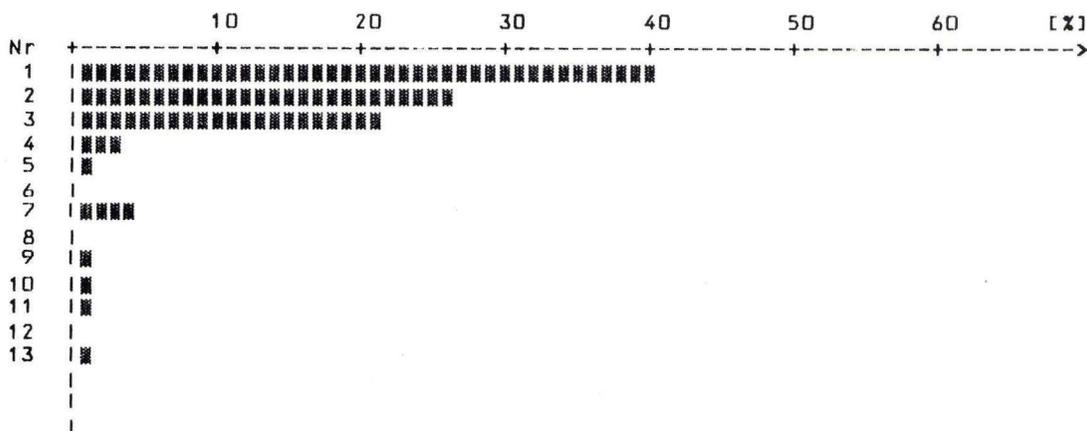


Abb. 26. Häufigkeitsauszählung der Vanadiumkonzentrationen.

offensichtlich die Tendenz ab, daß Wässer aus reduzierten Schichten (z. B. Tonschiefer, Gesteine mit organogenen Sedimenten) höhere Vanadium-Gehalte (bis 0,6129 mg/kg in Hähnlein) aufweisen. 14 der 26 beprobten Stellen hatten Gehalte >0,1 mg/l bzw. kg, 9 zwischen 0,01 und 0,1 mg/l, 3 <0,01 mg/l. Aus 80 Bestimmungen errechnet sich (Abb. 26) der Mittelwert zu 1,96 mmol/l (= 0,1 mg/l) bei einer Standardabweichung von 2,36. 40% der Werte lagen unter 0,99 mmol/l (= 0,05 mg/l), 26,25% zwischen 1,00 und 1,99 mmol/l (= 0,05 und 0,1 mg/l). – In der TVO wie auch in den US-Standards wird kein Grenzwert angegeben, in den UDSSR-Standards 0,1 mg/l. Dieser Wert wurde in 33,75% der untersuchten Proben überschritten.

5.14. Zink (Zn)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,001–120 mg/kg. Nach MATTHESS (1973) wird der Zinkgehalt selten durch die Löslichkeit, sondern eher durch seine Verfügbarkeit im Untergrund bestimmt.

Mineralwässer Hessens: Für Zink liegen zahlreiche (44) Analysen vor. Durchweg hohe Gehalte haben die in devonischen Schichten aufsteigenden Mineralwässer von Bad Nauheim (bis 4,4 mg/kg), ferner der Lullusbrunnen in Bad Hersfeld (Zechstein; 4,3 mg/kg). Die in der Tab. 15 wiedergegebenen Mittelwerte dürften der tatsächlichen mittleren Verteilung der Zink-Konzentration ziemlich nahekommen. Diese Mittelwerte liegen bei 0,0674 mg/l (Zechstein) und darunter.

Analysen 1980/81: In der Probe aus der Brg. Marjoß (Zechstein) wurde ein relativ hoher Zinkgehalt von 16,1466 mg/l bestimmt. Es handelt sich um eine Kupferschiefer-Untersuchungsbohrung, die zunächst bis 328 m (Plattendolomit und Staßfurt-Anhydrit des Zechsteins) niedergebracht und verrohrt, dann bis 511 m (Endteufe) im Zechstein vertieft wurde. Die Probe für die Spurenbestimmung wurde nach Abschluß der Bohrung am 15. 09. 1981 entnommen, als bereits ein Teil der Verrohrung wieder gezogen war, jedoch nach wie vor artesischer Überlauf (Wasserspiegel ca. 0,5 m über Gelände) bestand; der Überlauf hatte während der Bohrarbeiten bei einer Teufe von 370 m eingesetzt. Die Wassertemperatur betrug bei Probenahme 12,5 °C, der Gehalt an freier Kohlensäure 43 mg/l, freier Sauerstoff konnte nicht festgestellt werden; die elektrische Leitfähigkeit wurde mit $2150 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$, der pH-Wert mit 6,9 gemessen. Wenn auch nicht mit letzter Sicherheit auszuschließen ist, daß der relativ hohe Zinkgehalt durch Lösung aus der Rohrtour verursacht wurde, so besteht doch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, daß die in der Probe analysierte Zink-Konzentration auf entsprechende Gehalte in den Gesteinen der Zechstein-Folge zurückzuführen ist, weil das Wasser ständig überlief, so daß keine längere Verweildauer des in der Rohrtour aufsteigenden Wassers entstehen konnte. Die Herkunft des Wassers aus größerer Tiefe ist durch Temperatur und Höhe des Lösungsinhaltes belegt.

Höhere Zinkgehalte fanden sich ferner in den Wässern aus den Bohrungen der Grube Messel (Tertiär und Rotliegenden) und sind wahrscheinlich auf die tertiären Ölschiefer zurückzuführen. Ebenso könnte der mit 0,1227 mg/kg deutlich erhöhte Zinkgehalt im Wasser der Brg. Hähnlein, die in tertiären Sanden des Oberrheingrabens steht, mit Einflüssen organogener Sedimente zu erklären sein. Die Gehalte der übrigen Proben lagen niedriger. – Eine Errechnung des Mittelwertes wird nur sinnvoll sein, wenn der relativ hohe Wert des Wassers aus der Brg. Marjoß unberücksichtigt bleibt. Ohne diesen Extremwert errechnet sich aus 79 Analysen das arithmetische Mittel zu 0,115 mg/l. Nach der TVO liegt der Grenzwert für Zink bei 1,5 mg/l. Abgesehen von Marjoß wurde dieser Wert in keiner Probe erreicht.

5.15. Fluorid (F⁻)

Mineralwässer der Bundesrepublik Deutschland: 0,001–20 mg/kg.

Mineralwässer Hessens: Die wenigen vorliegenden Analysen ergaben Gehalte zwischen 1,31 und 1,5 mg/kg.

Analysen 1980/81: Wegen der vermutlich ungenauen Fluoridbestimmungen vor November 1980 infolge Verwendung eines überalteten Puffers (Abschn. 4.2.) sind von den in Tab. 13 aufgeführten Fluoridbestimmungen nur die Mittelwerte (aus den Monaten November 1980 bis März 1981) der regelmäßig beprobten Stellen sowie die Bestimmungen Messel 2, Hess. Lichtenau-Küchen und Brückennau genau. Aus den 22 verbliebenen Analysen der regelmäßig beprobten Stellen errechnet sich das Mittel zu 0,447 mg/l. Nach der TVO liegt der Grenzwert für Fluorid bei 1,5 mg/l. Dieser Wert wurde im Mittel nicht erreicht. Geht man aber davon aus, daß die in der Tab. 13 aufgeführten Fluoridwerte nur Mindestgehalte darstellen, die tatsächlich wahrscheinlich höher sind, so wird der genannte Grenzwert offensichtlich häufiger überschritten. – Dem Fluoridgehalt kommt in Heilwässern eine therapeutische Wirkung zu. Nach den „Begriffsbestimmungen für Heilbäder, Erholungsorte und Heilbrunnen“ (1979) muß der Fluorid-Gehalt mindestens 1 mg/kg erreichen, um in die Charakteristik des Heilwassers einbezogen zu werden.

5.16. Korrelationen

Von 75 Proben liegen die vollständigen Analysen der untersuchten Spurenelemente vor. Aus diesen Daten wurde eine Korrelationsberechnung der Elemente untereinander ausgeführt (Tab. 17).

Mit einer Signifikanz von über 80% korrelieren:

Strontium – Lithium

Strontium – Barium

und mit einer Signifikanz von über 50%:

Blei – Kupfer

Lithium – Arsen

Lithium – Barium

Die Korrelationen der Alkalien und Erdalkalien lassen sich auf die Einflüsse salinarreicher Grundwässer in den Zechstein-Folgen und in den Tertiär-/Pleistozän-Sedimenten des Oberrheingrabens zurückführen. Dagegen ist die Korrelation Blei – Kupfer nur schwer erklärbar, ist aber möglicherweise auf gemeinsame Vererzungen in (Zechstein-?) Gesteinen zurückzuführen.

BRAEUNING (1979) konnte trotz des ihm zur Verfügung stehenden umfangreichen Datenmaterials in den stratigraphischen Einheiten nur wenig deutungsfähige Korrelationen zwischen Haupt- und Spurenelementen finden, wies aber für lithologische Einheiten, besonders für Sedimente, Evaporite und Magmatite/Metamorphite, interpretierbare Abhängigkeiten nach. Für den Nachweis derartiger Zusammenhänge reichen die durch die Untersuchungsreihe 1980/81 in Hessen gewonnenen Daten jedoch nicht aus, zumal ein größerer Teil der Analysen Werte

Tab. 17. Korrelationsberechnung nach den ausgeführten Analysen (Tab. 2 - 7)

fuer: Geohydrochemie

Zahl der Probanden = 75

	As Ni	Ba Pb	Cd Sr	Co V	Cr Zn	Cu F	Hg	Li
As	1.0000*							
Ba	0.0186	1.0000*						
Cd	-0.0283	0.0462	1.0000*					
Co	0.1749	0.0494	0.0053	1.0000*				
Cr	0.0067	-0.0153	-0.0535	0.1198	1.0000*			
Cu	0.0380	0.3907*	0.2310	0.0300	-0.0339	1.0000*		
Hg	-0.0284	0.0366	-0.0035	-0.0273	0.1440	0.1638	1.0000*	
Li	0.7152*	0.6002*	-0.0560	-0.0102	-0.0343	0.0499	-0.0523	1.0000*
Ni	-0.0375 1.0000*	0.1375	-0.0425	0.1825	-0.1331	0.2064	-0.0413	0.0206
Pb	0.1082 0.3052	0.2428 1.0000*	0.2107	-0.0241	-0.0664	0.7371*	0.2414	0.0045
Sr	0.4798* 0.0803	0.8110* 0.0147	-0.0539 1.0000*	0.0455	-0.0358	0.0637	-0.0450	0.9229*
V	-0.0152 -0.0857	0.4395* -0.1188	-0.1152 0.3927*	0.0105 1.0000*	0.0893	-0.0353	-0.1834	0.3017
Zn	-0.0225 0.0145	-0.0097 0.1715	0.0203 -0.0324	-0.0225 0.0527	0.0343 1.0000*	-0.0179	-0.0311	-0.0266
F	-0.0237 -0.0117	0.2724 0.2993	0.0456 0.1683	-0.0206 -0.0538	-0.0488 0.1982	0.3332 1.0000*	0.0222	0.1185

ergab, die unter der Nachweisgrenze lagen. Für derartige geohydrochemisch, aber auch lagerstättenkundlich aufschlußreiche Untersuchungen bedarf es noch einer wesentlichen Verdichtung des Probenetzes. Die hier vorgelegten Untersuchungen sollten der Anfang für derartige langfristig anzulegende Untersuchungen in Hessen sein und vor allem die Größenordnungen der geogenen Spurenkonzentrationen aufzeigen.

6. Zusammenfassung

Aus fünf in Hessen gelegenen Brunnen wurden in der Zeit vom 01. 04. 1980 bis 05. 03. 1981 jeweils 10–13 Wasserproben entnommen und auf Gehalte an Arsen (As), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Cobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Lithium (Li), Nickel (Ni), Blei (Pb), Strontium (Sr), Vanadium (V), Zink (Zn) und Fluorid (F^-) untersucht. Ergänzt wurde die Serie durch Einzelproben von Mineralwässern und Wässern artesisch überlaufender Tiefbohrungen (meist in Zechstein-Folgen), die während der Untersuchungszeit gerade niedergebracht wurden. Ziel der Untersuchungen sollte es sein, die Größenordnungen der geogenen Konzentrationen von Spurenstoffen zu ermitteln, und ferner – was besonders wichtig erschien – die natürlichen Schwankungsbreiten der geogenen Konzentrationen zu erfassen.

Die regelmäßigen Beprobungen erfolgten aus Brunnen, die ständig für Wasserversorungen in Betrieb waren, außerhalb besiedelter Flächen mit Abwässern lagen und einen stratigraphisch einheitlichen Grundwasserleiter erschlossen hatten. Es handelte sich um Brunnen Mühlthal/Nieder-Beerbach (Kreis Darmstadt-Dieburg) im kristallinen Grundgebirge des Odenwaldes; Brunnen Dombachtal III des WBV Tenne, Sitz: Waldems (Rheingau-Taunus-Kreis), in unterdevonischen Tonschiefern; Brunnen der Gemeinde Twistetal-Twiste (Krs. Waldeck-Frankenberg) in Zechstein-Schichten (Dolomit- und Kalksteine, Anhydrit, Ton-/Sandsteine); Brunnen W 4 des Wasserwerkes Wohratal (Krs. Marburg-Biedenkopf) der Mittelhessischen Wasserwerke in Sandsteinen des Mittleren Buntsandsteins sowie um den Brunnen 146 der OVAG bei Gedern (Wetteraukreis) in tertiären Basalten.

Die Wasserproben wurden in Polypropylen- und Teflon-Flaschen nach Ansäuerung auf $pH < 1$ mit HNO_3 suprapur zur Vermeidung von „Wandeffekten“ transportiert. Anschließend wurden die Proben im Labor in mehreren Analysengängen bei unterschiedlichen pH-Werten und nach Anreicherungen (in ZnS- bzw. MnS-Filter) mit dem Atomabsorptionsspektrometer (AAS), Fluorid mit ionensensitiver Elektrode analysiert. Durch Kontrollanalysen wurde festgestellt, daß Spurenelemente möglichst umgehend nach Probenahme anzufertigen sind, da sich sonst relativ schnell Konzentrationsänderungen ergeben. Insbesondere Quecksilber kann exakt nur in frischen Proben bestimmt werden.

Generell hat sich gezeigt, daß die geogenen Konzentrationen der untersuchten Elemente und Stoffe gering bis sehr gering sind. Vielfach blieben sie unter der Nachweisgrenze. Etwas erhöhte Gehalte ergaben sich – mit wechselnder Verteilung – für Barium, Strontium, Vanadium, Zink und Fluorid. Unter den Schwermetallen waren Zunahmen über die Nachweisgrenze insbesondere noch bei Cadmium, Chrom, Kupfer und Nickel festzustellen, örtlich auch Arsen und Blei, während Cobalt, Quecksilber und Lithium in den regelmäßig beprobten Brunnenwässern weitgehend fehlten.

Bemerkenswert sind jedoch die natürlichen Konzentrationsschwankungen, die sich bei den (relativ) höher konzentrierten Spurenstoffen, also insbesondere Barium, Strontium, Vanadium, Zink und Fluorid, einstellten. Die Schwankungen erfolgten unabhängig von den physikalisch-chemischen Verhältnissen im Grund-

wasserleiter und damit von der petrochemischen Beschaffenheit der Schichten. Offensichtlich war in den Gesteinen das Angebot an Mineralen, welche die Spurenstoffe enthalten, sehr gering, so daß das durch die Wasserbeschaffenheit bedingte unterschiedliche Lösungsvermögen keinen Einfluß auf die Spurenkonzentrationen haben konnte. Somit ergaben sich auch keine Hinweise auf lagerstättenwirtschaftlich interessante Vorkommen in den grundwasserleitenden Gesteinen, insbesondere Schwer- und Buntmetalle. Die Ursache der Schwankungen wird in einer durch wechselnde Niederschläge und damit unterschiedliche unterirdische Abflüsse (Grundwasserneubildung) verursachten hydromechanischen Mobilisierung von Lösungsinhalten gesehen. In Zeiten verringerten unterirdischen Abflusses ist die Verweildauer und die Zeit für Lösungsprozesse größer, so daß es zu (relativen) Anreicherungen an Spurenstoffen kommen kann. Zu Zeiten höheren Grundwasserabflusses werden diese im Grundwasser (relativ) angereicherten Lösungen mobilisiert und können somit den Wassergewinnungsanlagen zufließen. Daraus würde zu folgern sein, daß sich das Grundwasser diskontinuierlich bewegt und die Verfrachtung von Lösungsinhalten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten vor sich geht. Bestätigt sich der Zusammenhang mit den Niederschlägen, so kann aus dem Niederschlagsgang auf die Konzentrations-Situation zur Zeit der Probenahme rückgeschlossen werden, ob nämlich – da die Konzentration natürlichen Schwankungen unterliegt – zu dieser Zeit Gehalts-Maxima oder -Minima vorlagen.

Zur vergleichenden Auswertung wurden Analysen von Mineral- und Thermalwässern der Bundesrepublik Deutschland (nach einer Auswertung von BRAEUNING 1979), ferner Analysen von Mineralwässern Hessens, die Analysen der oben bereits erwähnten Wasserproben aus Tiefbohrungen sowie die Ergebnisse der regelmäßigen Beprobungen herangezogen. Bemerkenswert ist auch hier, daß – sieht man von sehr mineralreichen Mineralwässern und Wässern aus unmittelbarer Nähe von Vererzungen ab – die geogenen Konzentrationen ziemlich niedrig sind. Das trifft auch für die – allerdings nur wenigen – Tiefbohrungen im Zechstein Hessens (außerhalb der Steinsalz-Salinare) zu, deren Wässer hier ebenfalls untersucht wurden. Durchweg liegen die Konzentrationen unterhalb der Grenzhaltgehalte, z. T. sind sie sogar wesentlich niedriger als die für Trinkwasser zulässigen, wie sie durch gesundheitsaufsichtliche Verordnungen oder Standards gegeben sind. Ausnahmen scheinen vereinzelt Arsen und Fluorid zu machen, wobei in diesem Zusammenhang immer wieder auf die Probleme bei der Vergleichbarkeit von Spurenanalysen und die sich daraus ergebenden Folgerungen hingewiesen werden muß. Unabdingbar für solche Vergleiche sind sorgfältige Probenahme, -transport und Durchführung der Analysen in möglichst kurzer Zeit nach Probenahme; aber auch bei sehr gewissenhafter Analysenausführung muß mit Streuwerten gerechnet werden.

Die Untersuchungen auf natürliche geogene Spurengehalte im Grundwasser können nur der Anfang von derartigen, langfristig anzulegenden Untersuchungen sein. Die verhältnismäßig wenigen vorliegenden Analyseergebnisse haben mehr stichprobenartigen Charakter und können lediglich die Größenordnungen möglicher natürlicher geogener Spurenkonzentrationen aufzeigen. Für lagerstättenwirt-

schaftliche Untersuchungen oder für Untersuchungen von Grund-(Mineral-)Wasserbewegungen bedarf es noch einer erheblichen Verdichtung des Probenetzes und einer wesentlichen Vergrößerung des Daten-Materials. Deshalb wird es erst nach längerfristigen Untersuchungen möglich sein, auf dem Weg über statistische Auswertung von Metall-Hydroparagenesen regionale wirtschaftlich und geohygienisch verwertbare Ergebnisse zu erzielen.

7. Schriftenverzeichnis

- Begriffsbestimmungen für Kurorte, Erholungsorte und Heilbrunnen. – Hrsg. vom Deutschen Bäderverband und vom Deutschen Fremdenverkehrsverband; Bonn–Frankfurt/M. 1979.
- BEHREND, F., & STAESCHE, K. (1936): Erläuterungen zu Blatt Nr. 2661 Meringhausen der Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Deutschen Ländern, Lfg. **341**, 57 S., 1 Taf.; Berlin.
- BRAEUNING, E. (1979): Statistische Auswertung von Haupt- und Spurenelementen in Mineral- und Thermalwasseranalysen der Bundesrepublik Deutschland. – Diss. D 82 TH Aachen, Ber. Nr. 60 d. Kernforschungsanlage Jülich, 189 S., 87 Abb., 34 Tab.; Jülich.
- BUKENBERGER, U., LODEMANN, C. K. W., & LOESCHKE, J. (1972): Die Verteilung der Schwermetalle in ober- und unterirdischen Wässern sowie in den Böden des Neckartales oberhalb Tübingen. – *Oberrhein. geol. Abh.* **21**: 43–62, 5 Abb., 6 Tab.; Karlsruhe (F. Müller).
- DISAM, A., TSCHÖPEL, P., & TÖLY, G. (1979): Röntgenfluorimetrische und atomabsorptiometrische Bestimmung von Elementspuren im ng/ml-Bereich in wäßrigen Lösungen nach Anreicherung durch Fällungsaustauschreaktion an dünnen Metallsulfidschichten. – *Fresenius Z. analyt. Chem.*, **295**: 97–109, Berlin–Heidelberg–New York (Springer).
- FÖRSTNER, U., & MÜLLER, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen. – 225 S., 83 Abb., 59 Tab.; Berlin–Heidelberg–New York (Springer).
- & WITTMANN, G. T. W. (1979): Metal Pollution in the Aquatic Environment. – XVI + 486 S., 102 Abb., 94 Tab.; Berlin–Heidelberg–New York (Springer).
- FRICKE, K. (1953): Der Schwermetallgehalt der Mineralquellen. – *Z. Erzbergbau u. Metallhüttenwesen*, N.F., **6**: 257–266, 4 Bild.; Stuttgart (Riederer).
- & WERNER, H. (1957): Geochemische Untersuchungen von Mineralwässern auf Kupfer, Blei und Zink. – *Heilbad u. Kurort*, **9**: 44–46, 1 Tab.; Gütersloh (Flöttmann).
- GEORGOTAS, N., & UDLUFT, P. (1973): Schwermetallgehalt und Mineralisation der fränkischen Saale in Abhängigkeit von der Wasserführung. – *Z. dt. geol. Ges.*, **124**: 545–554, 5 Abb., 3 Tab.; Hannover.
- GOLWER, A. (1978): Hydrogeologie. *Erl. geol. Kt. Hessen* 1:25 000, Bl. Nr. 5716 Oberreifenberg: 53–67, 3 Abb., 5 Tab.; Wiesbaden.
- HABERER, K., & NORMAN, S. (1974): Metallspuren im Wasser – ihre Herkunft, Wirkung und Verbreitung. – *Vom Wasser*, **38**: 157–182, 9 Tab.; Weinheim (Chemie).
- HARRESZ, H. M. (1973): Hydrogeologische Untersuchungen im Oberen Gäu. – Diss., 147 S., 38 Abb., 42 Tab.; Tübingen.
- HAWKES, H. E., & BLOOM, H. (1956): Heavy Metals in Stream Sediment, Used as Exploration Guides. – *Mining Engng.*, **8**: 1121–1127, 4 Fig., 5 Tab.; New York.
- HÖLTING, B. (1980a): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – 340 S., 103 Abb., 26 Tab.; Stuttgart (Enke).
- (1980b): Einrichtung einer geohydrochemischen Datei. – *Geol. Jb. Hessen*, **108**: 275–276; Wiesbaden.
- (1981): Vorkommen und Verbreitung von tiefen Grundwässern des Na₂-SO₄-Typs in Hessen. – *Geol. Jb. Hessen*, **109**: 139–146, 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- KULICK, J., & RAMBOW, D. (1974): Stratigraphische und hydrogeologische Ergebnisse von Brunnenbohrungen in Schichtfolgen des Unteren Buntsandsteins und Zechsteins im Nordteil des

- Kreises Waldeck/Hessen. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **102**: 229–269, 3 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden.
- MATTHES, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. – 324 S., 89 Abb., 86 Tab.; Berlin-Stuttgart (Borntraeger).
- NEUMAYR, V. (1979): Schwermetallspuren und Ursachen ihrer Verbreitung in Grundwässern an der Westküste Schleswig-Holsteins. – Diss., 283 + 98 S., 83 Abb., 15 Phot., 66 Tab.; Kiel.
- POPOVA, L. M. (1965): [Hydrogeochemische Prospektionsmethoden auf polymetallische Lagerstätten in Carbonatgesteinen] (russisch). – *Geologija i geofizika*, **7**: 125–130, 1 Abb., 2 Taf.; Novosibirsk (UdSSR).
- SCHÖTTLER, U. (1980): Das Verhalten in Spurenelementen bei der Wasseraufbereitung unter besonderer Berücksichtigung der künstlichen Grundwasseranreicherung. – Veröff. Inst. Wasserforsch. GmbH Dortmund u. Hydrol. Abt. Dortmunder Stadtwerke AG., Nr. 31, 138 S., 98 Abb., 6 Tab.; Dortmund.
- SUBRAMANIAN, K. S., CHAKRABARTI, C. L., SUEIRAS, J. E., & MAINES, I. S., (1978): Preservation of Some Trace Metals in Samples. – *Anal. Chem.*, **50** (3): 444–448, 7 Fig., 2 Tab.; (American Chemical Society).
- TUREKJAN, K. K., & WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **72**: 175.

Manuskript eingegangen am 14. 8. 1981

Zur Infiltration der Modau im Bereich ihres Schuttfächers (hessisches Oberrheingebiet)

Von

BENEDIKT TOUSSAINT*

Kurzfassung: Um den Kenntnisstand über die in ein mathematisches Grundwassermodell einfließenden Parameter örtlich zu verbessern, wurde das Grundwassermeßnetz im Bereich des Schwemmfächers der Modau bei Darmstadt-Eberstadt auf inzwischen 13 Beobachtungsrohre verdichtet. Die Interpretation hydrologischer und hydrochemischer Meßwerte aus dem Zeitraum Juni 1981 bis Anfang Februar 1982 führt zum Schluß, daß dieses oberirdische Gewässer wahrscheinlich nicht nennenswert infiltriert und somit nur wenig zur Grundwasserneubildung beiträgt. Eine Quantifizierung ist ohne zusätzliche Untersuchungen allerdings noch nicht möglich.

[First results about infiltration of the Modau creek in the region of her debris cone (Hessian Upper Rhine valley)]

Abstract: To get locally better knockledge of parameters flowing into a numerical groundwater model the groundwater survey network in the region of the debris cone of the Modau near Darmstadt-Eberstadt was extended to meanwhile 13 monitoring stations. The interpretation of hydrological and hydrochemical datas of the period June 1981 until beginning February 1982 leads to the conclusion, that this creek probably does not infiltrate very much and does not contribute significantly to groundwater recharge. A quantification however is not possible without further studies.

Inhaltsverzeichnis

1. Problemstellung	215
2. Lage und Geologie des Modau-Schwemmfächers	216
3. Erste Untersuchungsergebnisse	219
3.1. Hydrologie des Grundwassers	220
3.2. Beschaffenheit des Grundwassers	224
4. Schlußfolgerungen und Vorschläge für weitere Untersuchungen	234
5. Schriftenverzeichnis	237

1. Problemstellung

Zwecks Sicherstellung der Trinkwasserversorgung des Ballungsraumes Rhein-Main werden die Grundwasservorkommen in den mächtigen quartären Lockergesteinen des Hessischen Rieds stark beansprucht. Hydrogeologen und Wasserwirtschaftler sind daher seit etwa einem Jahrzehnt verstärkt darum bemüht, für dieses

* Dr. B. TOUSSAINT, Hessische Landesanstalt für Umwelt, Aarstr. 1, 6200 Wiesbaden.

Gebiet insgesamt und für Teilflächen die Rate der Grundwasserneubildung möglichst exakt zu ermitteln. Außer zahlreichen konventionellen Methoden (u. a. BÖKE & LINDSTEDT 1981, TOUSSAINT & SALAY 1979: 214–230) kommen in letzter Zeit immer mehr numerische Simulationsmodelle zum Einsatz (GERHARD 1981: 419–420, Ingenieurbüro BJÖRNSSEN 1975, ZIPFEL 1981: 51–57). Während die Größenordnung der niederschlagsbürtigen Grundwasserneubildung insbesondere im Hinblick auf das langjährige Flächenmittel einigermmaßen unstrittig ist, sind die Kenntnisse bezüglich der Grundwasseralimentation an der östlichen Gebietsgrenze durch Bachwasserversickerung oder Zustrom aus den Randgebirgen immer noch recht bescheiden.

Der Hauptgrund für diese unbefriedigende Situation war das bislang mangelhafte Meßstellennetz im Vorland des Odenwaldes bzw. des nördlich anschließenden Messeler Hügellandes.

Zur Zeit (Januar 1982) befindet sich die zweite, verbesserte Version des im Jahr 1974 in Auftrag gegebenen Rechenmodells Hessisches Ried in Aufbau und Eichung. Damit auch die hydrologischen Besonderheiten am östlichen Modellrand integriert werden können, mußte hier das Meßstellennetz vorausschauend erheblich verdichtet werden. Stellvertretend für andere, geologisch ähnlich aufgebaute Teilgebiete an der Bergstraße erfuhr der große Schwemmfächer, der im Raum Darmstadt-Eberstadt dem Durchbruchtal der Modau durch den Bergsträßer Odenwald nach W hin vorgelagert ist, diesbezüglich besondere Aufmerksamkeit. Wegen Grundwasserflurabständen bis zu 35 m wird hier nämlich eine starke Einspeisung von Oberflächenwasser in den Grundwasserraum angenommen. Außerdem existiert seit 1955 ein Pegel mit gesicherter Wasserstand-/Abfluß-Beziehung. Weiterhin stehen für weitergehende Wasserhaushaltsbetrachtungen langjährige Niederschlags- (Pfungstadt) und Lysimetermeßwerte (Eschollbrücken) zur Verfügung. Schließlich spielten auch Erfahrungen eine Rolle, die bei der Auswertung des Einflusses von Starkregen bzw. damit zusammenhängend von höheren Wasserständen der Modau auf das Grundwasser gemacht wurden (TOUSSAINT 1980: 218–220).

Die gestellte Aufgabe besteht darin, unter Berücksichtigung der geologischen Situation die hydrologischen und hydrochemischen Meßwerte insoweit zu beurteilen, ob und gegebenenfalls in welchem Ausmaß die Modau zur Grundwasserneubildung im Raum Eberstadt beiträgt.

2. Lage und Geologie des Modau-Schwemmfächers

Infolge der starken Gefällsabnahme schließt sich nach dem Austritt der Modau aus dem Odenwald an das tiefe Kerbtal ein Schwemmfächer an. Unter Verzahnung mit ähnlichen Bildungen kleiner Seitengewässer schiebt er sich als großer Schuttkegel in das westliche Vorland vor. Der morphologische Charakter des Schuttkegels wird insbesondere in den peripheren Bereichen teilweise durch Dünenzüge überprägt.

Der Untersuchungsraum, der auf den Bl. 6117 Darmstadt-West und 6217 Zwingenberg liegt und mittlere Geländehöhen zwischen 100 m im W und 140 m im E aufweist, ist zum größten Teil bewaldet mit Dominanz der Kiefer. Etwa ein Viertel wird von Siedlungs- und Gewerbeflächen eingenommen, kleinere Areale werden intensiv landwirtschaftlich oder kleingärtnerisch genutzt. Da insbesondere der E-Teil des Schwemmfächers im Bereich der Bergstraße überbaut ist, muß befürchtet werden, daß wegen der üblichen Existenz von unterstromigen Verschmutzungsfahnen im Grundwasser die von der Modau abzuleitenden Infiltrationswässer hydrochemisch nicht eindeutig nachzuweisen sind. Ein Kontaminationspotential dürfte insbesondere das alte Zentrum von Eberstadt darstellen, da hier mit Leckagen im Kanalnetz zu rechnen ist und die früher allgemein verbreiteten Hausklärgruben immer noch als sog. Altlasten anzusehen sind.

W der Bundesbahnstrecke Darmstadt–Weinheim, die ebenso wie die Bundesautobahn A 5, die Bundesstraße B 3 und eine Straßenbahnlinie das Gebiet in N–S-Richtung quert, ist unmittelbar neben der Kläranlage Pfungstadt ein Wehr in die Modau eingebaut. Bei allen Wasserständen wird ein Teil ihres Wassers in den hier beginnenden Sandbach abgeschlagen.

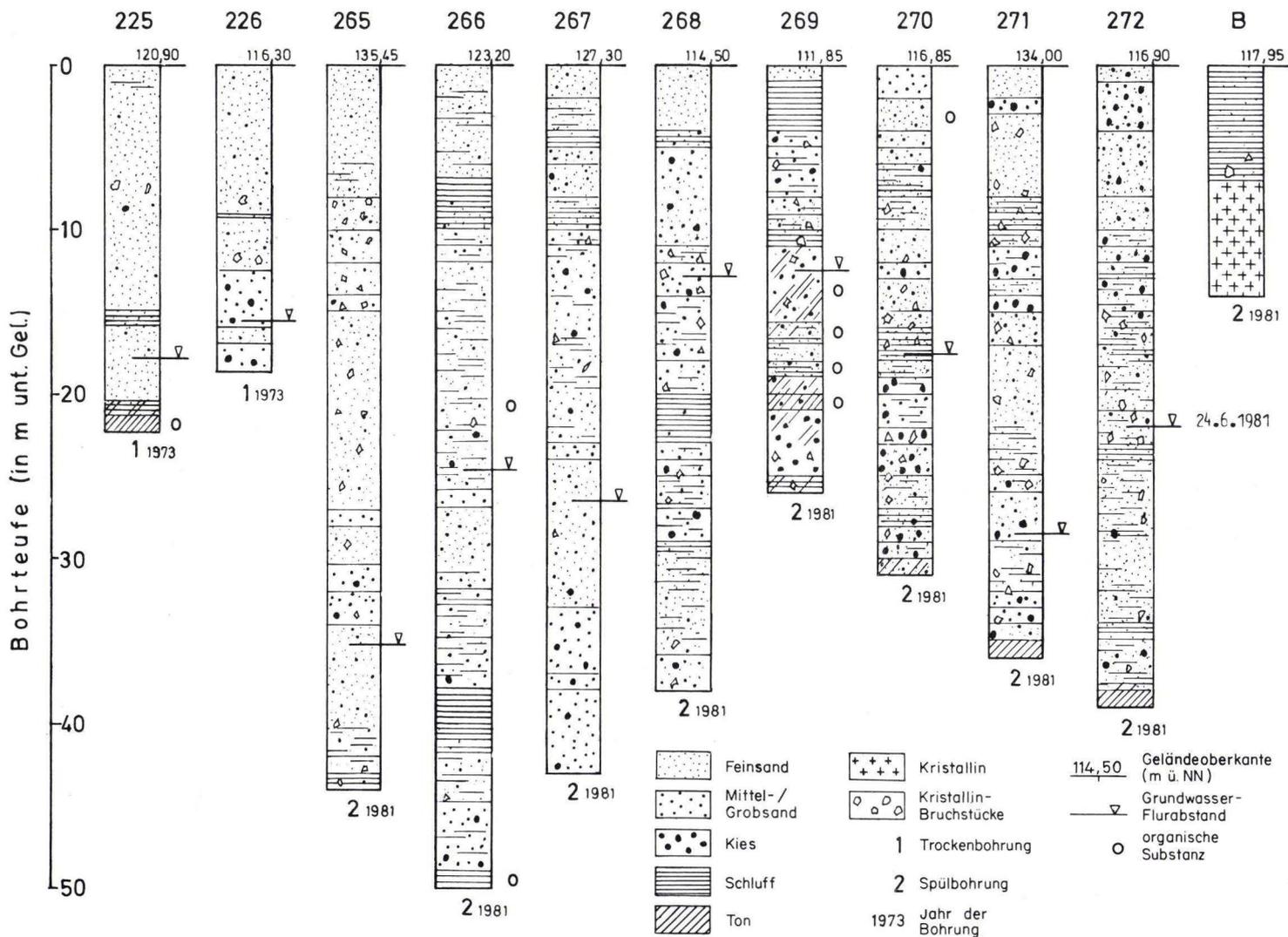
In geologischer Hinsicht gehört der untersuchte Raum dem Oberrheingraben an. E der Grabenrandverwerfung erhebt sich das Massiv des Frankensteins, das im wesentlichen aus gabbroiden und untergeordnet dioritischen Gesteinen aufgebaut ist (KUPFAHL, MEISL & KÜMMERLE 1972: 22–35).

Die hydrogeologisch allein nur interessierenden Ablagerungen des Quartärs haben z. B. am Bahnhof Darmstadt-Eberstadt eine Gesamtmächtigkeit von rd. 140 m (SCHMITT 1966: 989). An der Bergstraße greifen sie auf das Odenwaldkristallin über, sie sind dann nur noch wenige Meter mächtig. Eine in diesem Zusammenhang wichtige neue Erkenntnis ist, daß eine im November 1981 am E-Rand des Altstadtzentrums von Eberstadt unmittelbar neben der Modau niedergebrachte, nicht zu einer Grundwassermeßstelle (GWMSt.) ausgebaute Bohrung (Brg. B in Abb. 1, R 34 74 82, H 55 20 08) bereits 7 m unter Gelände das Kristallin angetroffen hat. Es scheint sich um eine nur schmale Randstaffel unter geringmächtiger Grabenfüllung zu handeln. Weiterhin kann aus der engen Scharung und dem Verlauf von Grundwasserhöhengleichen (Kap. 3.1, Abb. 2) im Bereich Eberstadt N der Modau zwischen Autobahn und Odenwald im Oberrheingraben ein Hochschollenkomplex abgeleitet werden. In der Fachliteratur wird für das gleiche Gebiet auf eine tektonische Zwischenscholle, die nach N hin in die Darmstädter Hochscholle übergeht, hingewiesen (KUPFAHL, MEISL & KÜMMERLE 1972: 183–188).

Durch insgesamt 14 in den Jahren 1973–1981 niedergebrachte Meßstellenbohrungen konnten die Kenntnisse über die Quartärablagerungen des Betrachtungsgebietes erweitert werden. In Abb. 1 sind die Profile der 11 von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden, veranlaßten Bohrungen zusammengestellt.

Mittels lithologischer und genetischer Kriterien läßt sich die Schichtfolge dreiteilen. Die im unteren Abschnitt überwiegend angetroffenen Flußsande und -kiese lassen sich mit alt- und jungpleistozänen Terrassenablagerungen von Rhein und Neckar in Verbindung bringen. Sie wurden unter kaltzeitlichen Klimabedin-

Abb. 1 Hydrogeologisch interpretierte Profile der statischen Messstellenbohrungen im Raum Darmstadt-Eberstadt (Zusammenfassung).



gungen sedimentiert. Geringmächtige tonig-schluffige Einschaltungen mit schwach inkohltem Driftholz sowie autochthoner Torf wurden dagegen vorrangig in den wärmeren Interstadial- oder sogar Interglazialzeiten sedimentiert.

Nach oben folgt Schuttkegelmaterial der Odenwaldbäche, d. h. angeschwemmte, örtlich auch angewehrte Fein- und Mittelsande, denen scharfkantige Kristallinbruchstücke oder gerundeter Kristallingrus, Schwemmlöß und echter Löß eingelagert sind. Die Schuttkegelbildungen sind periglazialer Entstehung, nach SCHMITT (1966: 989) sind sie in der zweiten Hälfte des Mindelglazials sowie in der gesamten Riß- und Würmkaltzeit entstanden und zumindest teilweise krypturbar transportiert worden. Die Schwemmfächersedimente verzahnen sich stark mit den Ablagerungen von Rhein und Neckar, deren Hauptabflurinnen im Pleistozän von den dauernd ihren Lauf verlegenden Odenwaldbächen nach W hin abgedrängt wurden.

Am Gebirgsrand liegen die pleistozänen Bildungen unter holozänen Schwemmlehmen verborgen. Ansonsten wird das Odenwald-Vorland weitflächig von Flugsanden überdeckt, die in das Bölling und in die Ältere Dryas bzw. in die Jüngere Dryas gestellt werden (KUPFAHL, MEISL & KÜMMERLE 1972: 140–156).

Aus hydrogeologischer Sicht ist sehr wesentlich, daß wegen des Vorhandenseins zahlreicher gering permeabler Einlagerungen im Aquifer lokal Grundwasserstockwerke ausgebildet sind. Da insbesondere in unmittelbarer Nähe der Modau auch im Sickerraum stauende, aber nicht durchgehende Schichten angetroffen werden, wird die Einspeisung von Oberflächenwasser in den phreatischen Bereich örtlich behindert bzw. zeitlich verzögert. Es ist zu vermuten, daß das Modauinfiltrat erst in größerer Entfernung und auf Umwegen den Grundwasserraum erreicht. Das bedeutet u. a., daß die den neben der Modau stehenden GWMSt. 527268 und 527269 zugeordneten hydrochemischen Parameter zumindest bei der hier angestellten Kurzzeitbetrachtung keine enge Korrelation mit den Beschaffenheitskennwerten der Modau aufweisen dürften.

3. Erste Untersuchungsergebnisse

Von den jetzt vorhandenen 13 GWMSt. sind 10 staatlich (527225, 527226, 527265–527272), 3 gehören der Südhessischen Gas- und Wasser AG, Darmstadt (154, 172 und 188). Im überbauten Zentrum von Eberstadt konnten keine Meßstellen errichtet werden. 3 GWMSt. liegen in der Nähe der Modau, davon ist die GWMSt. 527269 dem Pegel unmittelbar benachbart, 3 weitere GWMSt. befinden sich S der Bebauungsgrenze an der Alten bzw. Neuen Bergstraße und damit im Oberstrom möglicher nennenswerter Kontaminationsquellen. Eine 14. Bohrung endete 7 m tief im Gabbro und wurde wegen Fehlens von Grundwasser nicht ausgebaut. Die Stammdaten aller den Untersuchungen zugrundeliegenden GWMSt. sind in Tab. 1 zusammengestellt. Die Lage kann den Abb. 2 und 5–9 entnommen werden, in denen auch die Schnittlinien von zwei hydrologischen Profilen eingetragen sind.

Tabelle 1. Meßstellen im Bereich des Schwemmfächers der Modau mit Meßwerten aus dem Jahr 1981

Meßstellen - Stammdaten						Meßwerte			
Meßstellen-Nr.	TK 25	R - wert	H - wert	Meßpunkt (NN + m)	Gelände (NN + m)	Grundwasserstand (in m unter MP) mit Datum			Grundwasser- Temperatur (°C) am 11.11.1981
						24.06.1981	07.10.1981	11.11.1981	
527 225	6117	34 73 70	55 21 02	122,30	121,92	18,26	18,15	18,04	10,6
527 226	6117	73 86	19 16	116,52	116,28	15,83	15,70	15,64	10,7
527 265	6217	74 68	17 94	135,90	135,45	35,63	35,62	35,58	10,8
527 26f	6217	73 90	17 63	123,44	123,24	24,68	24,58	24,60	10,5
527 267	6117	74 66	18 49	127,86	127,26	27,10	27,10	27,02	10,6
527 268	6117	74 15	19 67	114,42	114,50	12,70	12,62	12,56	11,2
527 269	6117	73 30	19 76	112,34	111,84	12,90	12,92	12,87	11,0
527 270	6117	73 27	20 54	117,35	116,85	18,05	18,13	18,05	10,7
527 271	6117	74 26	21 37	134,61	133,96	29,14	29,17	29,06	10,8
527 272	6117	72 37	21 25	117,42	116,92	22,42	22,44	22,36	10,3
154	6117	72 08	20 57	108,00	107,16	15,12	15,04	14,94	10,4
172	6117	72 62	19 28	111,03	110,17	16,31	16,22	16,18	10,6
188	6117	72 68	18 47	109,25	108,41	15,26	15,11	15,04	10,3
Pegel Eberstadt	6117	73 30	19 77	108,47 PN	108,65 Sohle 111,16 0.k. Böschung	0,53 Ober PN	0,56 Über PN	0,58 Über PN	-

Aus diesen GWSt. wurden Wasserproben gepumpt. Um das hydrochemische Meßnetz zu verdichten, wurden auch Trinkwassergewinnungsanlagen in diesem Gebiet beprobt. Die Lage dieser Förderbrunnen ist den Abb. 2 und 5-9 zu entnehmen. Die physikalischen und chemischen Güteparameter des Grund- und des Modauwassers sind in den Tab. 1 und 3-4 aufgelistet.

3.1. Hydrologie des Grundwassers

Um eine erste Übersicht über die Grundwasserverhältnisse im Bereich Eberstadt zu bekommen, wurde eine Karte der Grundwasserhöhengleichen mit den Wasserständen des Stichtages 24. 6. 1981 erstellt (Abb. 2). Danach strömt das Grundwasser in SW- bis WSW-Richtung ab. Südlich der Modau beträgt das durchschnittliche Fließgefälle 3,6‰, nördlich davon im Stadtbereich ist es mit 6,0‰ wesentlich stärker. Die Verteilung des Gefälles zwischen Pegel Eberstadt und Kläranlage Pfungstadt könnte auf die Einschaltung stauender Zwischenlagen im Aquifer zurückgehen, während für das gleiche hydrologische Phänomen im Stadtgebiet rechts des Gewässers sich als Erklärung eher spezielle tektonische Verhältnisse anbieten (s. Kap. 2).

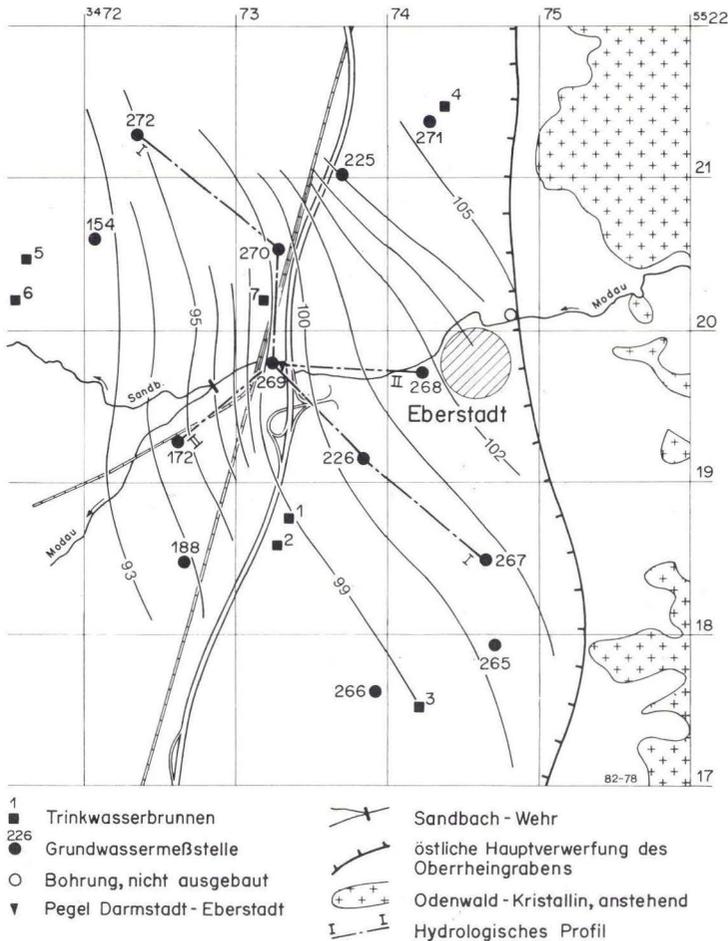


Abb. 2. Karte der Grundwasserhöhengleichen (m über NN) vom 24. 6. 1981.

Die beiden hydrologischen Profile I und II in Abb. 3 mit am 30. 9. 1981 ermittelten Meßwerten verdeutlichen die großen Flurabstände im Raum Eberstadt, die Modau „hängt“ weit oberhalb der Grundwasseroberfläche.

Das nur schwache unterstromige Vorspringen der Hydroisohypsen in der engeren Umgebung der Modau deutet darauf hin, daß dieses Oberflächengewässer zumindest örtlich keine erheblichen Wassermengen in die gesättigte Zone einspeist. Es ist eher zu vermuten, daß Modauinfiltrat über eine größere Fläche verteilt den Grundwasserraum erreicht. Wegen der großen Differenzbeträge zwischen der Druckfläche des teilweise sicherlich gespannten, überwiegend jedoch freien Grundwassers und dem Niveau des Wasserspiegels der Modau ist auch im

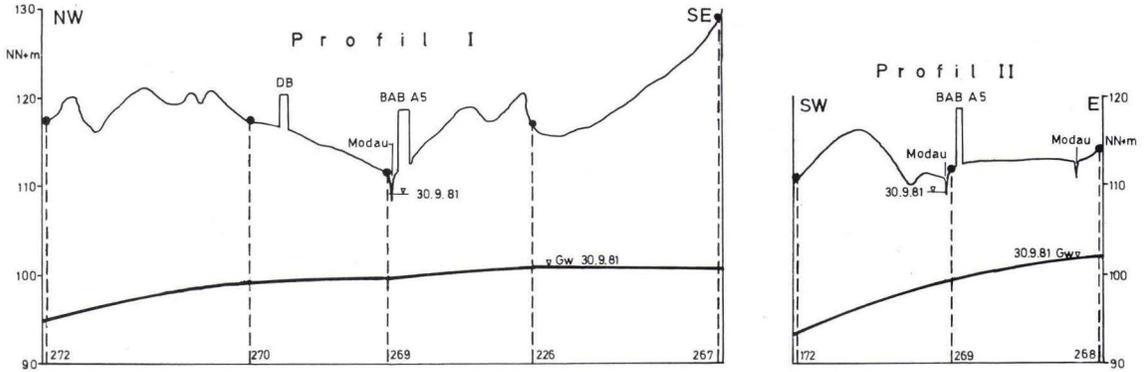


Abb. 3. Hydrologische Schnitte durch den Schwemmfächer der Modau (Wasserstand der Modau und Grundwasseroberfläche am 30. 9. 1981).

Tabelle 2. Abstiche (in cm) an den amtlichen Grundwassermeßstellen 527225 und 527226 jeweils Anfang Oktober der Jahre 1976 bis 1981

Meßstelle	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1976/81
527225	1781	1815	1752	1779	1804	1807	1790
527226	1530	1600	1560	1580	1595	1572	1573

Hinblick auf das heterogene Schichtprofil damit zu rechnen, daß für die Perkolation der Deckschichten ein längerer Zeitraum in Anspruch genommen wird. Insofern gibt der Gleichenplan der Abb. 2 kaum die hydrometeorologischen Verhältnisse des Naßjahres 1981 wieder. Diese dürften, stark verwischt, sich erst in den Folgejahren widerspiegeln. Diese Interpretation gilt auch für die modaufernen Bereiche des Schutfächers, wie die Zahlenbeispiele der Tab. 2 verdeutlichen. Trotz einer Folge von überdurchschnittlich niederschlagsreichen Jahren seit 1977 fiel in den GWMSt. 527225 und 527226 der Grundwasserspiegel insgesamt weiter ab, während im gleichen Zeitraum im Hessischen Ried das oberflächennahe Grundwasser um ca. 1–1,5 m anstieg.

Die aus dem hydrogeologischen Befund abgeleitete Aussage wird aber auch durch die Auswertung kurzfristig ablaufender hydrologischer Extremereignisse bestätigt. In Abb. 4 sind jeweils für die Monate Juni – September des Jahres 1981 die Tagesniederschläge der Station Pfungstadt, die mittleren täglichen Wasserstände der Modau am Pegel Eberstadt und der Grundwasserspiegelgang der GWMSt. 527267 – 527270 dargestellt. Der gewählte Zeitraum ist dadurch

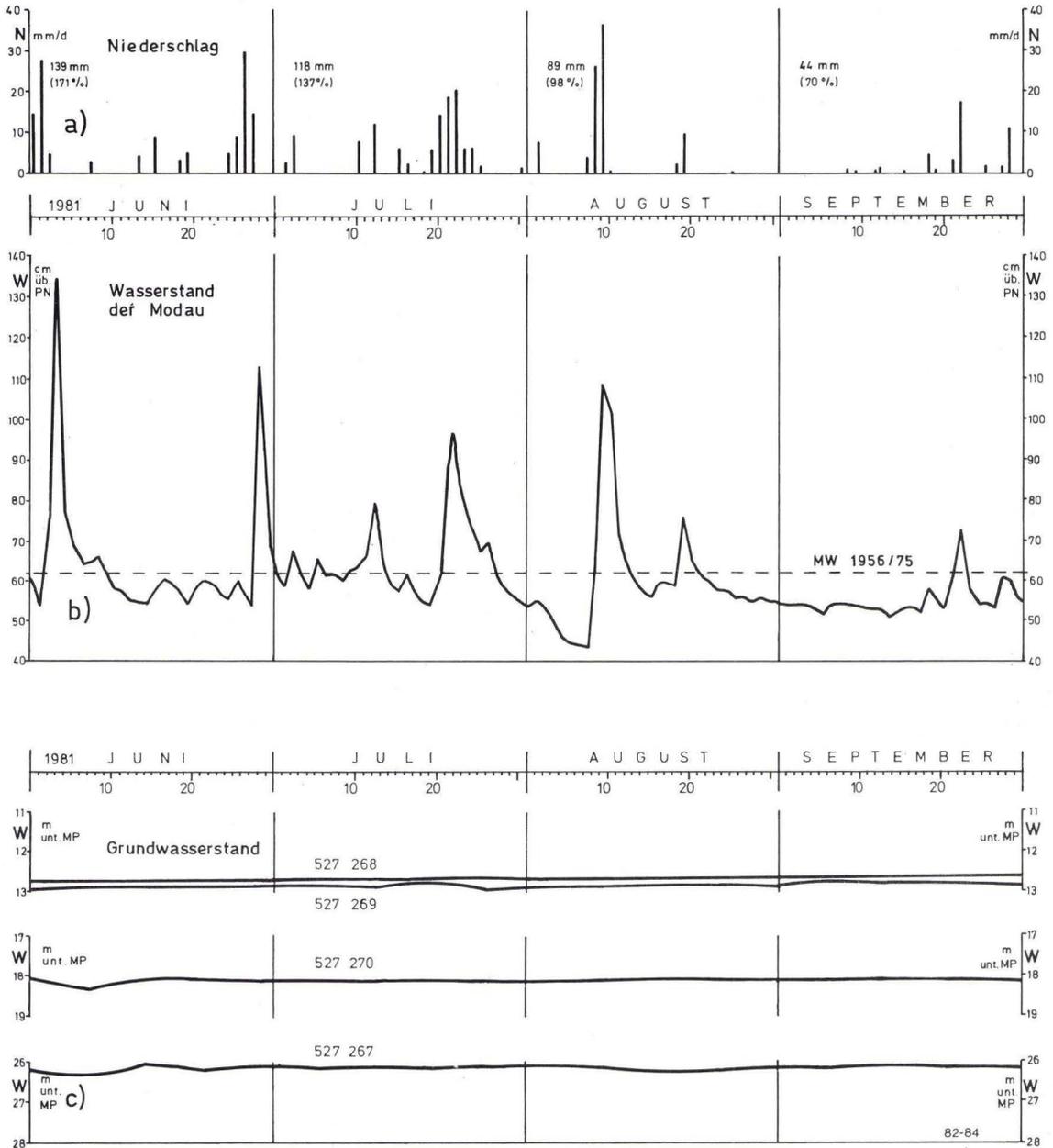


Abb. 4. Tagesniederschläge an der Station Pfungstadt des Deutschen Wetterdienstes (a), mittlerer täglicher Wasserstand der Modau am Pegel Darmstadt-Eberstadt (b) und Grundwasserspiegelgang ausgewählter Meßstellen im Bereich des Schwemmfächers (c) im Zeitraum Juni bis September 1981.

gekennzeichnet, daß auf eine am 10.8. mit sehr starken Regenfällen (37 mm) endende niederschlagsreiche Periode 6 Wochen mit relativer Niederschlagsarmut folgten. Während die Wasserstandsganglinie der Modau das Niederschlagsgeschehen unmittelbar widerspiegelt, zeigen die Grundwasserstände in den Beobachtungsrohren ein entgegengesetztes, in sich allerdings wieder differenziertes Verhalten (s. auch Tab. 1). Die Meßwerte der GWMSt. 527268, in der das Grundwasser mit rd. 12,7 m den geringsten Flurabstand aufweist, dokumentieren einen schwachen, weitgehend stetigen Grundwasserspiegelanstieg. Umgekehrt läßt sich bei den Meßwerten des Beobachtungsrohres 527267, in dem das Grundwasser in rd. 27,2 m Tiefe ausgespiegelt ist, bei stärkeren Schwankungen bis zu 20 cm ein negativer Trend ausmachen. Die Ganglinien der beiden anderen Meßstellen gruppieren sich zwischen den aufgezeigten hydrologischen Gegebenheiten. Die Grundwasserganglinien lassen erkennen, daß selbst die ausgeprägten Schwankungen des Modauspiegels sich während dieses relativ kurzen Zeitraumes – wenn überhaupt – nur sehr gedämpft und mit erheblicher zeitlicher Verzögerung auf den Grundwasserkörper der Umgebung auswirken.

Im Grunde genommen lassen sich aus der Karte der Grundwasserspiegeldifferenzen, in der die Meßwerte der Stichtage 30.9. und 16.11.1981 jeweils mit denjenigen des Stichtages 24.6.1981 verglichen sind (Abb. 5), ebenfalls keine anderen Aussagen ableiten. Die relativ größten Grundwasserspiegelamplituden lassen sich in Teilgebieten nachweisen, die von der Modau weiter entfernt liegen. Da hier die stauenden Schichteinlagerungen zurücktreten, dürften sich die Schwankungen der Grundwasserstände vermutlich überwiegend auf niederschlagsbürtige Zusickerungen zurückführen lassen.

3.2. Beschaffenheit des Grundwassers

Bei den GWMSt. beträgt die Nennweite des aus PVC hart bestehenden Beobachtungsrohres zwar einheitlich 100 mm, doch konnte für die Gewinnung von Wasserproben nur dort eine Unterwasserpumpe ND 96 mm eingesetzt werden, wo eine HT-Kappe als Abschluß vorhanden ist. Bei einer mittleren Förderleistung von 30 l/min und einer Pumpzeit von 20 min wurde die Wassersäule ausreichend oft ausgetauscht, so daß eine ordnungsgemäße Probenahme gewährleistet war. Außerdem wurde die Repräsentanz der Wasserprobe mittels Leitfähigkeitsmessung kontrolliert. Im Falle der GWMSt. 527225, 527226, 154, 172 und 188 mit SEBA-Kappen als Abschluß kam eine Membranpumpe ND 56 mm mit einer mittleren Förderleistung von 1 l/min zum Einsatz, die Pumpzeit war entsprechend länger. In allen Fällen tauchte die Pumpe 3 m in das Grundwasser ein.

Von einigen wenigen GWMSt. lagen grundwasserchemische Kennwerte bereits aus früheren Jahren vor. Diese wurden nur zu Plausibilitätskontrollen verwendet. Um eine synchrone Aussage machen zu können, wurden aus allen Meßstellen einheitlich Mitte November 1981 Wasserproben gewonnen. Um die Ergebnisse besser absichern zu können, wurde Ende Januar und Anfang Februar 1982 eine zweite Probenahmeaktion durchgeführt. Die Novemberproben wurden im Zentrallabor der Hessischen Landesanstalt für Umwelt analysiert, die Boratgehalte wurden allerdings vom Institut FRESINIUS, Taunusstein, bestimmt. Die Anfang 1982 gesammelten Proben wurden dankenswerterweise im Labor des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung untersucht.

Die zweite Probenserie stammt nicht nur aus GWMSt., in die Beprobung wurden auch 7 Förderbrunnen einbezogen. Diese Entnahmestellen sind in den Abb. 2 und 5–9 lagemäßig eingetragen. Im einzelnen handelt es sich um: 1 = Br. 1 Gerätedepot der Bundeswehr-Frankensteinkaserne, R 34 73 40, H 55 18 84; 2 = Br. 2 Gerätedepot, R 34 73 30, H 55 18 67; 3 = Br. Malchen der Gemeinde

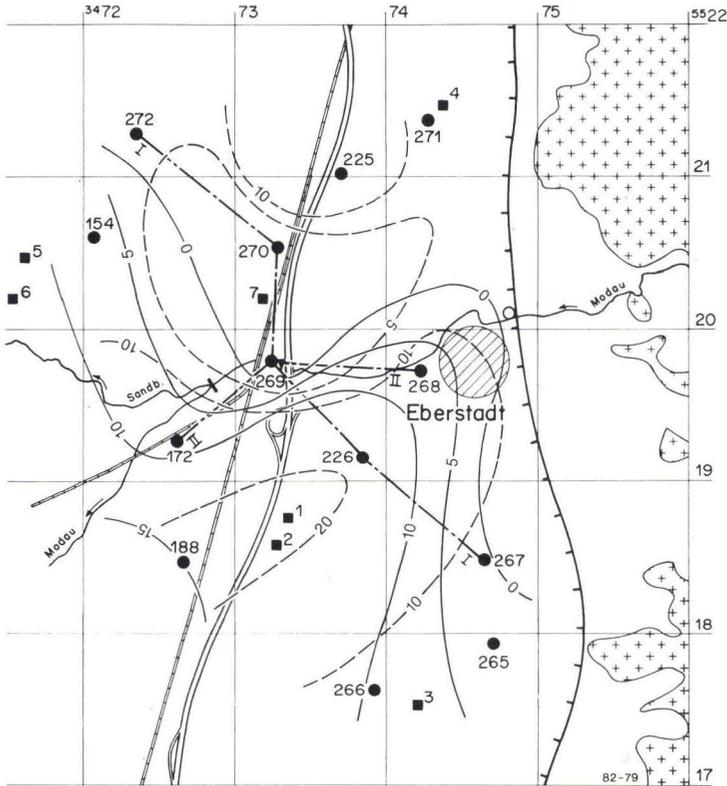


Abb. 5. Karte der Grundwasserspiegeldifferenzen (cm); — ΔH_{Gw} 30.9./24.6.1981, - - - ΔH_{Gw} 16.11./24.6.1981 (Legende s. Abb. 2).

Seeheim-Jugenheim, R 34 74 19, H 55 17 54; 4 = Br. der Evangelischen Marienschwesternschaft auf Kanaan, R 34 74 40, R 55 21 50; 5 = Br. 8 WW Pfungstadt, R 34 71 64, H 55 20 54; 6 = Br. 5 WW Pfungstadt, R 34 71 51, H 55 20 18; 7 = Br. 3 der Firma Erste Hessische Preßhefe-Fabrik und Dampfbrennerei, Inh. Josef Pleser Söhne, R 34 73 16, H 55 20 26.

Die Filterstrecken der Entnahmebrunnen sind in unterschiedlicher Tiefe angeordnet, und zwar zwischen 15 m (Pleser) und 93 m (WW Pfungstadt), in einem Brunnen können auch mehrere Horizonte ausgefiltert sein. Bei der Interpretation der hydrochemischen Parameter müssen diese Gegebenheiten berücksichtigt werden; weiterhin muß gesehen werden, daß die Grundwasserproben aus den Förderbrunnen für einen größeren Aquiferbereich typisch sind, die Wasserproben aus den GWMSt. jedoch streng genommen nur mehr oder weniger punktuelle Aussagekraft für die obersten Meter der gesättigten Zone haben.

In den Tab. 1 und 3–4 sind die für den Hydrogeologen wichtigsten hydrochemischen und physikalischen Beschaffenheitskennwerte zusammengestellt. Im Text wird im wesentlichen auf die Angaben in Tab. 3 Bezug genommen. Im Gegensatz

Tabelle 3. Gewässerbeschaffenheit im Bereich des Schwemmfächers der Modau am 11.11.1981

Entnahmestelle \ Parameter	527 225	527 226	527 265	527 266	527 267	527 268	527 269	527 270	527 271	527 272	154	172	188	Pegel Überstadt
pH - Wert	7,5	7,5	7,5	7,7	7,4	7,3	7,3	7,5	7,6	7,4	7,7	7,0	7,6	7,8
elektr. Leitfähigkeit (mS/m)	54,9	68,4	47,6	40,5	52,0	95,3	73,0	60,8	45,7	133,0	42,8	38,2	45,1	54,3
Gesamthärte (°dH)	17,9	17,4	14,3	12,0	17,4	26,0	20,2	18,2	13,4	31,9	12,0	11,8	13,4	13,7
Karbonathärte (°dH)	14,6	12,3	11,3	10,1	14,6	16,6	17,1	12,4	11,5	14,0	9,1	9,2	9,4	10,9
Nichtkarbonathärte (°dH)	3,3	5,1	3,0	1,9	2,8	9,4	3,1	5,8	1,9	17,9	2,9	2,6	4,0	2,8
Ca ²⁺ (mg/l)	100,0	109,0	88,0	72,0	108,0	156,0	120,0	108,0	80,0	172,0	64,0	69,5	74,0	78,0
Mg ²⁺ (mg/l)	16,5	10,0	9,0	8,0	10,0	18,0	14,0	13,0	10,0	34,0	13,5	8,0	13,0	12,0
Na ⁺ (mg/l)	5,8	34,7	4,8	3,3	18,9	35,3	21,7	7,7	4,9	75,7	5,5	4,7	4,9	17,5
K ⁺ (mg/l)	0,9	2,9	0,8	0,7	0,4	9,6	4,9	0,7	0,7	1,3	0,6	0,9	0,6	3,8
Mn ²⁺ (mg/l)	0,06	0,15	<0,02	<0,02	0,14	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05
Fe ^{3+, 2+} (mg/l)	0,68	1,12	<0,05	<0,05	0,27	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	0,22	<0,05	0,16
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,0	0,0	0,2	0,1	2,0	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	2,8
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,03	0,01	0,00	0,00	0,15	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,93
NO ₃ ⁻ (mg/l)	6,7	89,1	10,0	5,3	6,3	156,5	24,3	45,9	28,4	110,7	0,8	36,5	25,7	37,9
Cl (mg/l)	4,0	25,0	8,0	4,0	9,0	56,0	31,0	19,0	2,0	126,0	7,0	2,0	9,0	26,0
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	73,0	94,0	51,0	32,0	53,0	96,0	43,0	67,0	57,0	356,0	70,0	30,0	53,0	40,0
PO ₄ ³⁻ gesamt (mg/l)	0,2	0,2	0,1	0,0	4,9	0,6	0,0	0,1	6,2	4,4	0,1	0,0	0,0	2,6
B (mg/l)	0,07	0,13	<0,01	<0,01	0,01	0,04	0,15	0,01	<0,01	0,03	0,02	0,03	0,01	0,15

Tabelle 4. Gewässerbeschaffenheit im Bereich des Schwemmfächers der Modau Ende Januar/Anfang Februar 1982

Entnahmestelle	pH-Wert	el. Leitf. (mS/m)	$^{\circ}$ dGH	$^{\circ}$ dKH	$^{\circ}$ dNKH	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
1	8,15	45,9	16,3	13,1	3,2	95,0	13,0	7,8	1,4	0,0	10,0	15,6	22,8	1,4	286,2
2	8,25	45,7	16,6	13,2	3,4	95,0	14,3	7,6	1,4	0,0	10,0	15,5	21,6	0,6	286,8
3	8,30	37,2	12,9	9,5	3,4	78,9	8,3	3,4	0,9	0,0	19,0	8,4	31,5	0,3	206,2
4	8,25	54,0	17,6	10,6	7,0	101,2	14,9	13,3	1,1	1,2	16,5	29,3	85,8	0,4	230,0
5	8,35	30,9	10,4	8,7	1,7	53,7	12,5	4,9	1,0	0,0	16,2	5,8	7,8	0,3	188,6
6	8,40	47,3	15,9	10,9	5,0	86,7	16,3	7,2	1,3	0,0	22,5	25,7	36,8	0,3	236,8
7	8,35	67,6	21,9	11,4	10,5	128,0	17,1	20,9	0,8	0,0	87,3	36,8	85,8	0,4	247,7
527225	8,00	49,2	19,6	14,4	5,2	111,1	17,5	5,8	0,9	0,0	9,7	7,8	64,2	< 0,1	314,3
527226	8,25	64,1	18,7	11,8	6,9	119,3	8,8	23,6	2,8	0,1	69,0	30,8	75,9	< 0,1	256,3
527265												12,1			
527266												5,8			
527267												8,9			
527268	8,25	92,2	27,6	17,3	10,3	165,1	19,6	38,8	11,5	1,0	107,5	59,2	92,8	0,5	377,1
527269	8,35	65,2	21,0	16,0	5,0	125,9	14,6	22,1	4,8	0,0	16,8	36,9	55,6	< 0,1	347,8
527270	8,30	59,6	20,9	12,9	8,0	125,9	14,3	8,4	0,7	0,0	34,8	24,6	76,6	< 0,1	280,1
527271												5,3			
527272	8,30	107,1	31,8	12,8	19,0	177,1	30,4	54,8	1,3	0,0	58,4	94,0	260,5	< 0,1	279,5
154	8,30	41,0	14,6	8,5	6,1	78,0	16,0	5,6	0,8	0,1	3,5	10,9	77,2	< 0,1	184,3
172	8,25	38,6	13,2	8,4	4,8	80,5	8,4	3,9	0,8	< 0,1	46,6	6,1	32,1	< 0,1	182,5
188	8,20	43,4	15,1	9,4	5,7	85,5	13,7	4,7	0,6	0,2	20,5	12,1	61,5	< 0,1	203,8
Modau/Pegel	7,85	56,0	15,6	10,2	5,4	88,8	13,7	26,2	4,2	4,5	46,8	47,6	50,5	4,7	221,5

zu den jetzt gültigen gesetzlichen Vorschriften werden in Übereinstimmung mit der bewährten Praxis keine Stoffmengenkonzentrationen (z. B. mmol/l) angegeben, sondern Massenkonzentrationen (z. B. mg/l). Die Umrechnung kann gemäß $\text{mg/l} = \text{mmol/l} \times \text{Molmasse}$ erfolgen.

Die Ausbreitung der Wasserinhaltsstoffe im Sickerwasser- und Grundwasserraum wird nicht nur von den hydrogeologischen Verhältnissen bestimmt, sondern wird sehr wesentlich auch durch chemische und biologische Prozesse beeinflusst. Diese Reaktionsvorgänge führen zu einer zeitlichen und räumlichen Änderung der Stoffkonzentrationen in der gesättigten und ungesättigten Zone. Es handelt sich dabei um Lösung, Filtration, Adsorption und Ionenaustausch, Oxidation und Reduktion, Fällung und Mitfällung, die Bildung von wenig löslichen Komplexen, Hydrolyse, biologische Abbau- und Umwandlungsreaktionen sowie Gasaustausch. In bestimmten Fällen führt nur die Verdünnung durch Zusicke- rung von Wasser zu einer merklichen Konzentrationsabnahme, außerdem spielen Konvektion, Dispersion und Diffusion eine wichtige Rolle. Auf diese Thematik kann hier jedoch nicht näher eingegangen werden, es wird auf die Fachliteratur verwiesen (z. B. MATTHESS 1973: 172–225). Im Zusammenhang mit dieser Arbeit kommt es vielmehr darauf an, den Rahmen der natürlichen, also geogen vorgegebenen Konzentrationsverteilung der Inhaltsstoffe des Grundwassers („Grundlast“) abzustecken und anthropogene Kontaminationsquellen zu erkennen, um anhand hydrochemischer Kriterien entscheiden zu können, ob die Modau nennenswerte Wassermengen einspeist.

Die Gesamthärte schwankt zwischen 12 und 18 °dGH, nach der Härte-Skala von KLUT-OLSZEWSKI handelt es sich um „etwas harte“ Grundwässer. Diese Größenordnung gilt sowohl für waldbestockte anthropogen unbelastete Flächen als auch für die meisten Gebiete im Unterstrom der Siedlungsflächen. Abgesehen von der Umgebung der am Rande eines großen Kahlschlages gelegenen GWMSt. 527272, die bei vermutetem anthropogenen Einfluß auch bei anderen Parametern (Tab. 3 und 4) völlig aus dem Rahmen fällt und deswegen in der Folge nicht mehr berücksichtigt wird, weisen nur die Grundwasserproben aus den neben der Modau gelegenen GWMSt. 527268 und 527269 Werte über 20 °dHG auf. Die Größenordnung der GH nimmt in östlicher Richtung deutlich zu.

Bei der Karbonathärte ergibt sich prinzipiell eine ähnliche Konzentrationsverteilung, die Werte streuen aber nicht so stark bei der GH. Weitgehend anthropogen unbeeinflusste Grundwässer haben in größerer Entfernung vom Gebirgsrand ca. 9–10 °dKH. An der Bergstraße macht sich eine Zusicke- rung von Hangwässern bemerkbar, die aufgrund der z. T. mächtigen Lößüberdeckung in diesem Bereich stark aufgehärtet sind. Die höchsten Härtegrade mit ca. 17 ° dKH werden in der Nähe der Modau registriert.

Die Nichtkarbonathärte, eine abgeleitete Rechengröße, ist in der Regel dort besonders auffällig, wo die übrigen Beschaffenheitsparameter Verschmutzungen des Grundwassers indizieren, also im Nahbereich der überbauten Flächen.

So gut wie unbelastete Grundwässer haben Sulfat-Gehalte zwischen 30 und 60 mg/l SO_4^{2-} , kontaminierte Grundwässer zwischen 70 und 90 mg/l SO_4^{2-} . Der relativ niedrige Sulfatgehalt von 43 mg/l SO_4^{2-} im Bereich der neben der Modau gelegenen GWMSt. 527269 ist nicht ohne weiteres verständlich. Für die Reduzierung des Sauerstoff spendenden Sulfats gibt es keine plausiblen Gründe. Eher ist daran zu denken, daß die von den Siedlungsflächen ausgehenden Schmutzwasserfahnen durch versickerndes Modauwasser etwa westlich der B3 verdünnt werden.

Nitrat ist unter natürlichen Gegebenheiten nur in geringen Mengen im Grundwasser enthalten, es geht auf biogene Umsetzungen zurück. Im Bereich des Schwemmfächers der Modau stellen Nitratgehalte unter 10 mg/l NO_3^- in etwa den nicht oder gering belasteten Zustand dar. Da Nitrat als gutes Oxidationsmittel bei mikrobiellen Prozessen über Nitrit und Ammonium zu gasförmig entweichendem Stickstoff umgewandelt werden kann, schließen wesentlich geringere oder fehlende NO_3^- -Gehalte eines Wassers dessen anthropogene Belastung jedoch nicht aus. Umgekehrt gelten hohe NO_3^- -Konzentrationen als Indikator organischer Verschmutzung. Deutlicher als bei den vorstehend genannten hydrochemischen Kennwerten läßt sich anhand der räumlichen Verteilung der NO_3^- -Gehalte ein Schmutzwasserstrom erkennen, der in Übereinstimmung mit der Grundwasserfließrichtung von NE nach SW zieht. Die hauptsächliche Kontaminationsquelle ist offensichtlich im Altstadt kern von Eberstadt zu suchen. Da die höchsten Nitratgehalte links der Modau angetroffen werden (GWMSt. 527269 mit $156,5 \text{ mg/l NO}_3^-$, im Unterstrom die GWMSt. 527226 mit $89,1 \text{ mg/l NO}_3^-$ und das Beobachtungsrohr 172 mit $36,5 \text{ mg/l NO}_3^-$), ist ihre überwiegende Herleitung aus Modauinfiltrat nicht gegeben.

Auf Düngemittel oder Kontamination des Grundwassers durch Waschmittel dürften die Phosphat-Konzentrationen von $4\text{--}6 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$ zurückgehen, allerdings ist der Gehalt von $4,9 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$ in GWMSt. 527267, die neben der Alten Bergstraße im Wald liegt, derzeit nicht plausibel begründbar. Ansonsten bleiben die Werte unter $0,2 \text{ mg/l PO}_4^{3-}$, was für unbeeinflusste Grundwässer normal ist.

Da die hier vorliegenden hydrogenkarbonatischen Grundwässer schwach alkalisch sind (pH-Wert $7,0\text{--}7,7$, Mittelwert $7,5$) und da außerdem bei dem verhältnismäßig großen Grundwasserflurabstand mit einem entsprechend erhöhten Sauerstoffangebot im Sickerwasserraum zu rechnen ist, kommen wasserlösliche, d. h. in der zweiwertigen Form vorliegende Eisen- und Manganionen meistens nur in Spuren vor ($\text{Fe}^{2+} < 0,05 \text{ mg/l}$, $\text{Mn}^{2+} < 0,02 \text{ mg/l}$). Nur bei reduzierendem Milieu, das sowohl geogen als auch anthropogen durch organische Verschmutzung gegeben sein kann, lassen sich höhere Fe- ($> 0,3 \text{ mg/l}$) bzw. Mn-Konzentrationen ($> 0,1 \text{ mg/l}$) nachweisen (im Umkreis der GWMSt. 527225 und 527267 möglicherweise durch Torfeinschaltungen bedingt, im Falle der GWMSt. 527226 anthropogener Einfluß möglich).

Im Bereich des Modau-Schwemmfächers liegen die bevorzugt geogen bedingten Natrium-Konzentrationen unter 20 mg/l . Höhere Gehalte lassen sich aufgrund der vorgefundenen geochemischen Situation nicht durch Ionenaustausch- oder Membraneffekte erklären, sondern durch anthropogene Kontamination.

Kaliumionen sind im Grundwasser üblicherweise nur schwach konzentriert, im Untersuchungsraum bleiben die K-Gehalte unter 1 mg/l . Wo sie in größeren Mengen nachgewiesen werden, sind anthropogene Einflüsse im Spiel, in der Aue der Modau ist dabei am ehesten an Düngung zu denken.

Die Auswertung der vorstehenden Kennwerte der Grundwasserbeschaffenheit hatte als wesentliches Ergebnis, daß einerseits ein bestimmter Grundwassertyp herausgearbeitet werden konnte, andererseits aber im Zentrum des Modau-Schwemmfächers starke Grundwasserbelastungen nachzuweisen sind. Eindeutige

Hinweise, daß dieses Oberflächengewässer wesentlich in den Untergrund einspeist, sind hydrochemisch nicht relevant. Eine präzisere Aussage, ob die Modau nach ihrem Austritt aus dem Odenwald größere Wassermengen infiltriert, wird erwartet, wenn bestimmte Substanzen, die einerseits für Oberflächenwässer typisch sind, andererseits aber im Grundwasserraum keinen oder nicht nennenswerten Reaktionen (physikalisch und/oder biologisch-chemisch) ausgesetzt sind, untersucht werden. Es handelt sich um sog. perseverante Stoffe, die im Hinblick auf die Aufgabenstellung als quasi-Markierungsmittel anzusehen sind. Zur besseren Veranschaulichung ihrer räumlichen Konzentrationsverteilung werden sie in den nachfolgenden Abbildungen in Form von Isokonz. dargestellt.

Besonders geeignet als Tracer ist insbesondere das stabile Chloridion. Mögliche Infiltrationen von Neckar und Weschnitz im Bereich der hessisch/baden-württembergischen Landesgrenze wurden auch auf diese Weise erkannt (Bericht der Arbeitsgruppe Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Analyse des Ist-Zustandes, 1980: 58). Nach MATTHESS (1973: 202) ist davon auszugehen, daß in Sedimentgesteinen Cl-Konzentrationen über 30 mg/l anthropogenen Ursprungs sind. Dieser Grenzwert liegt im Raum Eberstadt jedoch bei 5–10 mg/l Cl⁻. Er wird sowohl in einigen Förderbrunnen, die in tieferen Stockwerken ausgefiltert sind, als auch in Meßstellen, die von möglichen Kontaminationsquellen weit genug entfernt sind, unterschritten. Diesen natürlichen Chloridgehalten stehen Konzentrationen bis max. 59 mg/l Cl⁻ gegenüber (GWMSt. 527268). Nach Ausweis von 49 Chloridbestimmungen aus den Jahren 1978/81, die im Rahmen der routinemäßigen Gewässerüberwachung von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt durchgeführt wurden (interner Bericht), weist das Modauwasser in Höhe des Pegels Eberstadt bei Konzentrationsschwankungen von 15–82 mg/l Cl⁻ im Mittel der letzten 4 Jahre einen Cl-Gehalt von 45 mg/l auf. Würden die im Grundwasser festgestellten Chloridkonzentrationen auf Infiltration von Oberflächengewässern zurückgehen, müßten sie wegen der Verdünnung durch zuströmendes unbelastetes Grundwasser deutlich geringer sein als in der Modau. Da das E der B 3 nicht der Fall ist, müssen in diesem Raum andere Kontaminationsquellen maßgebend sein. Diese Feststellung schließt eine ins Gewicht fallende Modauversickerung aus. Eine zweigeteilte Schmutzwasserfahne, die im Zentrum von Eberstadt beginnt, zieht rechts der Modau in W-Richtung, links davon in SW-Richtung (Abb. 6).

Eine Isokonz. Karte wurde auch für das Element Bor angefertigt (Abb. 7), das in wäßriger Lösung in der Spezies der Orthoborsäure H₃BO₃ vorliegt. Bor kommt im Grundwasser normalerweise nur in Spuren vor (Werte um < 0,02 mg/l B). Höhere Konzentrationen, d. h. >0,1 mg/l B, stammen bevorzugt aus sich in Abwässern oder Industrieabfällen wiederfindenden Waschmitteln, denen Perborate als Sauerstoffträger zugesetzt sind. Die bei entsprechender Verdünnung nicht dissoziierte Borsäure ist neutral und unterliegt bei der Untergrundpassage so gut wie keiner Wechselwirkung mit dem Aquifer (KASS 1981: 67). Wegen dieser Eigenschaft wird sie als zwar nicht sehr sensibler, aber immerhin als brauchbarer Markierungsstoff verwendet. Da sowohl das Modauwasser als auch die aus dem Kanalsystem über Leckagen austretenden und versickernden Abwässer Bor

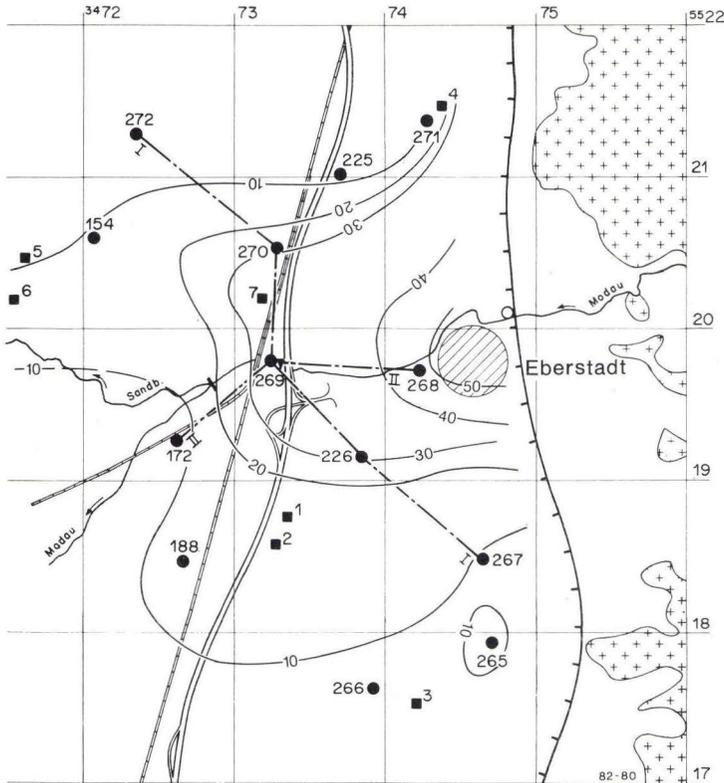


Abb. 6. Chlorid-Gehalte des Grundwassers (mg/l) Ende Januar 1982 (Legende s. Abb. 2).

enthalten, läßt sich kein sicherer Nachweis der Einspeisung von bedeutenden Mengen von Modauwasser in den Grundwasserleiter erbringen (Abb. 7).

Im Bereich des Schwemmfächers der Modau ist wegen des hohen Anteils an kristallinem Gesteinschutt, der als Folge der langsam ablaufenden Gesteinsverwitterung nur geringe Gehalte an festen gelösten Bestandteilen aufweist, davon auszugehen, daß das Grundwasser relativ schwach mineralisiert ist. Daher lag es nahe, auch mittels des Feststoffinhaltes zu prüfen, ob das höher mineralisierte Modauwasser sich im Grundwasserraum wiederfinden läßt. Da aus der elektrolytischen Leitfähigkeit auf den gelösten Feststoffinhalt größenordnungsmäßig geschlossen werden kann – die maßgebende Beziehung lautet: Leitfähigkeit (mS/m) \times 6,5 = Abdampfdruckstand (mg/l) –, wurde die Leitfähigkeit ebenfalls in Form von Isolinien dargestellt (Abb. 8). Während für die Außenbereiche des Modau-Schwemmfächers Leitfähigkeitswerte um 40–45 mS/m charakteristisch sind, verdoppelt sich zum Zentrum des Schuttkegels hin die Größenordnung dieses Kennwertes. Da in den letzten vier Jahren das Modauwasser einen mittleren Leitfähigkeitswert von knapp unter 61 mS/m aufwies bei Streuungen zwischen 20

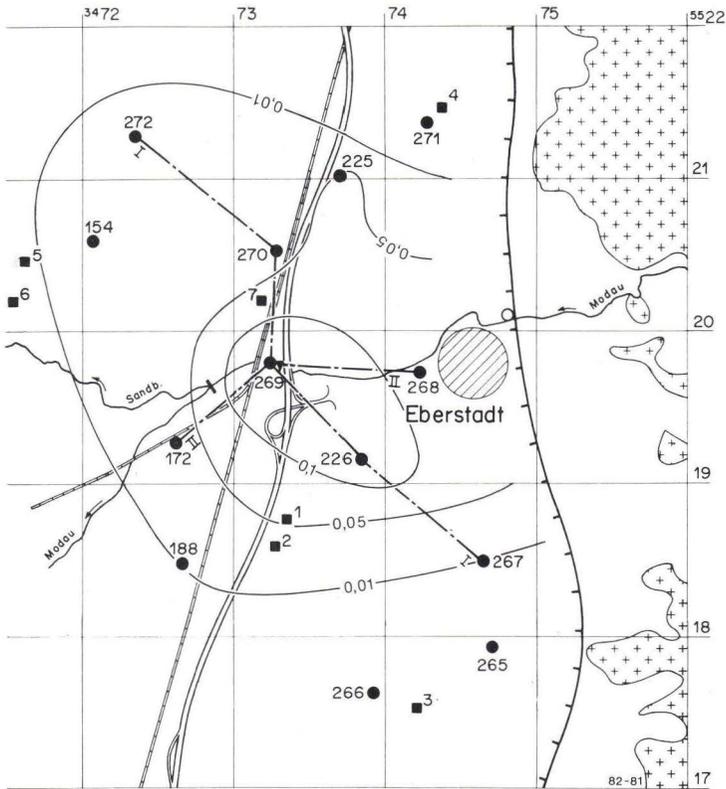


Abb. 7. Bor-Gehalte des Grundwassers (mg/l) Mitte November 1981 (Legende s. Abb. 2).

und 91 mS/m, kann aus den gleichen Gründen wie bei Chlorid und Bor eine nennenswerte Versickerung des Oberflächengewässers verneint werden. Im übrigen ähnelt der Verlauf der Linien gleicher Leitfähigkeit sehr der Konfiguration der Cl-Isolinien.

Schließlich wurde versucht, über das Temperaturfeld des Grundwassers Hinweise auf eine eventuelle Infiltration der Modau zu bekommen. Bei Grundwasserflurabständen von im Durchschnitt gut 20 m wirken sich selbst die monatlichen oder sogar jahreszeitlichen Schwankungen der Temperatur der Luft im Bereich der Erdoberfläche kaum noch aus. Die festgestellten Grundwassertemperaturen von 10–10,5 °C entsprechen der langjährig mittleren Lufttemperatur des Untersuchungsgebietes und einer leicht erhöhten geothermischen Tiefenstufe. Da ein Oberflächengewässer wegen der Abwasserbelastung höher temperiert ist als das Grundwasser, müßte sich bei entsprechender Versickerungsrate eine positive Temperaturanomalie zu erkennen geben. Dies ist zwar der Fall, aber die in Abb. 9

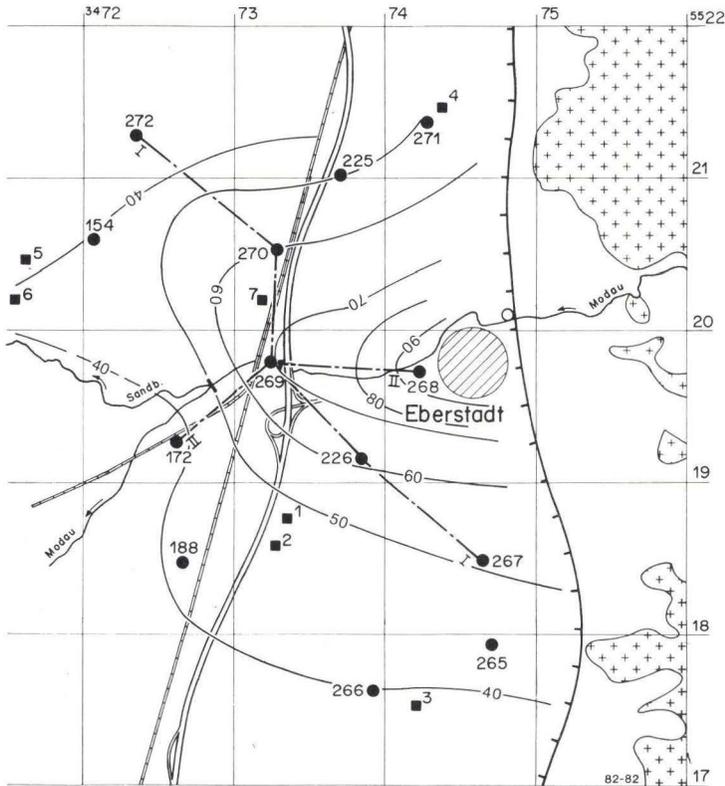


Abb. 8. Elektrolytische Leitfähigkeit des Grundwassers (mS/m) Ende Januar 1982
(Legende s. Abb. 2).

dargestellten Isothermen des Grundwassers müssen nicht zweifelsfrei auf die linienhafte oder flächenhafte Einspeisung von Modauwasser zurückgehen.

Die aus dem bislang vorliegenden hydrochemischen Datenmaterial sich ergebenden Schlußfolgerungen stehen in guter Übereinstimmung mit den hydrogeologischen und hydrologischen Erkenntnissen, nämlich daß die Modau im Raum Eberstadt wahrscheinlich nur unbedeutende Wassermengen in den Untergrund einspeist.

Ohne die von zwei verschiedenen Labors vorgelegten, etwas unterschiedlich ausgefallenen, aber tendenziell übereinstimmenden Analysenergebnisse überbewerten zu wollen, sind einige Beschaffenheitsparameter hinsichtlich ihrer Größenordnung und ihrer räumlichen Verteilung doch etwas problematisch. Z. B. zeigen die GWMSt. 527268 und 172 zwar gleiche Borgehalte, aber unterschiedliche Chloridwerte. Eine Ursache könnten die erwähnten unterschiedlichen Bedingungen bei der Gewinnung der Wasserproben sein. Weitere Untersuchungen werden hoffentlich

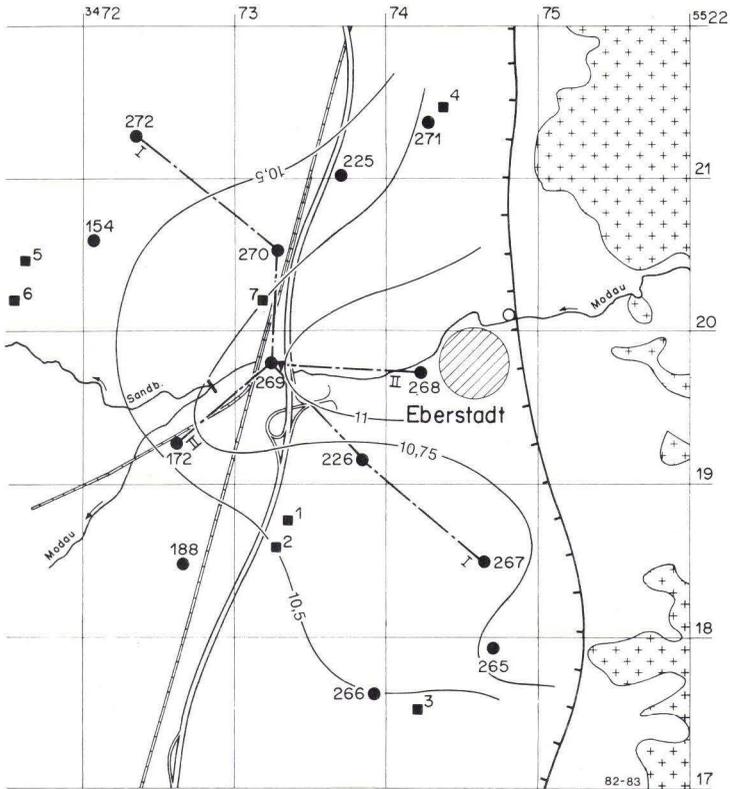


Abb. 9. Temperaturverteilung im Grundwasser (°C) Mitte November 1981 (Mittelwert bis ca. 3 m unter Wasserspiegel; Legende s. Abb. 2).

aufzeigen, in welchem Ausmaß sich auch gravitativ bedingte Schichtungseffekte im Grundwasserraum, die Anisotropie des Aquifers oder biochemische Wechselreaktionen im Untergrund auswirken.

4. Schlußfolgerungen und Vorschläge für weitere Untersuchungen

Aus dem hydrogeologischen Befund ist abzuleiten, daß sich die Abflußverluste der Modau wegen der Bachwasserversickerungen an sich begünstigenden großen Grundwasserflurabstände in diesem Gebiet und wegen der Einlagerung zahlreicher stauender Linsen nur zeitlich stark verzögert im Grundwasserraum bemerkbar machen können. Die hohe Abwasserbelastung dieses Oberflächengewässers, die wahrscheinlich zu einer beträchtlichen Selbstdichtung des Bettes der Modau zumindest unterhalb der MW-Marke (Abb. 4) geführt hat, dürfte diesen Effekt noch vergrößern. Die Mittelwerte von 21 Einzelbestimmun-

gen abwasserrelevanter Summenparameter geben für die Jahre 1980/81 deutliche Hinweise auf diese Belastung: DOC 6,8 mg C/l, CSB 20,1 mg O₂/l, KMnO₄-Verbrauch 47,2 mg/l und BSB₅ 6,0 mg O₂/l.

Das zur Verfügung stehende hydrologische Datenmaterial bestätigt diese Interpretation. Zusätzlich darf mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß nur geringe Mengen an Oberflächenwasser in den Untergrund eingespeist werden. Die Ausdeutung der hydrochemischen Parameter ergibt ebenfalls keine eindeutig gesicherten Argumente für eine ins Gewicht fallende Absickerung von Modauwasser in die gesättigte Zone. Vielmehr wird die Beschaffenheit des Grundwassers im Zentrum des Modau-Schwemmfächers von der allgemein von Siedlungsflächen ausgehenden Abwasserbelastung geprägt, nur W der B 3 lassen die hydrochemischen Kennwerte die Vermutung einer Modau-versickerung zu.

Somit ist eine auf echten Meßdaten basierende Quantifizierung der Versickerung der Modau z. Zt. nicht möglich. BÖKE & LINDSTEDT (1981: 188) schätzen, daß in den von der Modau gequerten Einzugsgebieten der Wasserwerke Eschollbrücken und Pfungstadt der Südhessischen Gas- und Wasser AG allenfalls 20 mm/a der mit 245 mm/a veranschlagten langfristig mittleren Grundwasserneubildung aus der Einspeisung dieses Oberflächengewässers in den Aquifer herrühren. Eine weitere Angabe zur Größenordnung des Abflußverlustes dieses Baches stammt vom Ingenieurbüro Dr. BJÖRNSEN, Koblenz (freundl. schriftl. Mitt. Dipl.-Ing. FRIED vom 21. 2. 1982). Demnach hat die Eichung der in Kap. 1 erwähnten Zweitfassung des Grundwasserrechenmodells Hessisches Ried im langjährigen Durchschnitt eine Infiltrationsmenge von 50 l/s zwischen Odenwald und Sandbach-Wehr, also auf mehr als 2 km Lauflänge, ergeben. Im Hinblick auf die gemachten Ausführungen scheint es sich um eine maximale, aber durchaus noch plausible Größenordnung zu handeln. Da in dem 90,6 km² großen Niederschlagsgebiet der Modau ein MQ von 0,81 m³/s ermittelt wurde (Periode 1956/75), betragen diese gerechneten Abflußverluste nur knapp 6,2 % des MQ. Die Meßungenauigkeiten in diesem Abflußbereich werden allerdings nicht nur für diesen Pegel mit 5–10 % angegeben, somit sind Versickerungsverluste dieser Größenordnung meßtechnisch – etwa im Differenzverfahren – nicht nachzuvollziehen.

Die Auffassung von den nur geringen Versickerungsverlusten der Modau und benachbarter Oberflächengewässer steht im Gegensatz zu einer Voraussage von KALWEIT (1973: 33), der für den Zeitraum 1970/2000 den Zuwachs an Grundwasserabfluß durch im Gefolge der Grundwasserspiegelabsenkung reduzierte Transpirationsverdunstung und vermehrte Versickerung aus den oberirdischen Gewässern auf 16,4 hm³/a (bezogen auf eine Fläche von 992 km² Hessisches Ried) veranschlagt.

Eine weitere Erkenntnis der geohydrologischen Untersuchungen im Raum Eberstadt betrifft den direkten unterirdischen Zustrom von Kluffgrundwasser aus dem Bergsträßer Odenwald. In der Fachliteratur wird mit geringen Einspeisungen in der Größenordnung um ca. 10 l/s je km Odenwaldrand gerechnet (Bericht der Arbeitsgruppe Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung

Rhein-Neckar-Raum, Analyse des Ist-Zustandes, 1980: 62). Da dem Odenwald im Bereich des Schwemmfächers der Modau offensichtlich eine Randscholle vorgelagert ist, in der so gut wie kein Grundwasser angetroffen wurde, ist von noch geringerem Zustrom auszugehen. Eine etwas größere Rolle spielt wahrscheinlich der Zwischenabfluß, d. h. das Niederschlagswasser, das nach dem Auftreffen auf die Hangflächen teilweise in der ungesättigten Bodenzone dem Grundwasserleiter in der Rheinebene zufließt. Aber auch diese Menge ist vorerst nicht zahlenmäßig zu definieren.

Zwecks Erweiterung des Kenntnisstandes über den Wasserhaushalt der hessischen Oberrheinebene führen zur Zeit verschiedene Institutionen Untersuchungsprogramme durch, die sich schwerpunktmäßig mit der Erfassung des Abflusses am westlichen Odenwaldrand im Hinblick auf die Infiltration der Oberflächengewässer befassen. Aufgrund der eigenen Erfahrungen im Bereich des Modau-Schwemmfächers, der sich hydrogeologisch nicht wesentlich von den Schuttkegeln anderer Odenwaldbäche unterscheiden dürfte, muß jedoch darauf aufmerksam gemacht werden, daß die zu einseitige Betonung rein hydrologischer Fakten zu Fehlaussagen führen kann. Um diese zu vermeiden, werden nachstehende Empfehlungen gegeben.

1. Die festgestellten hydrologischen und hydrochemischen Phänomene sollten bei der Nachbildung der Grundwasserverhältnisse mit mathematischen Modellen besondere Berücksichtigung finden. Insbesondere bei nichtstationären Strömungsvorgängen muß im Rahmen der Modellanpassung an die natürlichen Verhältnisse die starke zeitliche Verzögerung, mit der sich der Einfluß der Modau auf die Grundwasserstände auswirkt, deutlich wiedergegeben werden. Der gewählten Jahresreihe muß unbedingt ein längerer Zeitraum vorgeschaltet werden. Darüber hinaus sollte bei der rechnerischen Simulation des Modau-einflusses auf jeden Fall das Leaky-Aquifer-Prinzip angewandt werden, wobei voraussichtlich ein relativ kleiner Leakagefaktor maßgebend sein wird.
2. Es sollten nur langjährige Meßreihen ausgewertet werden. Einzelmessungen ober- und unterhalb einer maßmäßigen Versickerungsstrecke eines Oberflächengewässers mittels Flügel, tragbaren Venturigerinnen u. dgl. sollten nur zur Kontrolle durchgeführt werden.
3. Man sollte möglichst stationäre Pegelstationen anstreben, die wegen der nur geringen Differenzen des Abflußvolumens im MQ-Bereich entsprechende NQ-Profile haben müßten, um auch kleinste Abflüsse einwandfrei erfassen zu können. Ebenso müssen alle auf der Meßstrecke anfallenden Abwassermengen genau bilanziert werden.
4. Es ist zu prüfen, ob nicht eine Selbstdichtung des Gerinnebettes vorliegt, da dann insbesondere im Niedrigwasserbereich keine oder kaum Abflußverluste zu erwarten sind.
5. Zur Lösung spezieller Fragestellungen ist das Grundwasser-Meßnetz im Bereich der Schwemmfächer im Odenwald-Vorland zu verdichten. Dabei sollte die Gewinnung hydrochemischer Parameter größte Aufmerksamkeit verdienen und zwar über einen ausreichenden Zeitraum und bei unterschiedlichen hydrometeorologischen Zuständen.

6. Signifikante chemische Leitsubstanzen vor (Kanalnetz) und nach der Kläranlage (Vorfluter) haben besondere Bedeutung, um die Grundwasserkontamination nach Herkunft besser differenzieren zu können.
7. Es erscheint sinnvoll, Altersbestimmungen an Grundwasserproben vorzunehmen (Tritium, Radiocarbon, O^{16}/O^{18} -Verhältnis), um die Zusickerung von rezemem Bachwasser oder den Zufluß aus dem Odenwald besser lokalisieren und über die Mischungsanteile altersverschiedener Grundwässer möglichst auch überschlägig quantifizieren zu können.

5. Schriftenverzeichnis

- Bericht der Arbeitsgruppe Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum. Analyse des Ist-Zustandes (1980): 71 S., 12 Abb., 10 Tab., 14 Anl.; Stuttgart-Wiesbaden-Mainz.
- BÖKE, E., & LINDSTEDT, H.-J. (1981): Zur Grundwasserneubildung in Waldgebieten der Rhein-Main-Niederung. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 179–189, 2 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- GERHARD, H. (1981): Grundwassermodelle als Planungsgrundlage für die Wasserwirtschaft in Hessen. – Wasser u. Boden, **33**: 419–423, 1 Tab.; Hamburg.
- Ingenieurbüro Dr.-Ing. G. BJÖRNSEN (1975): Untersuchung der Grundwasserverhältnisse im Hessischen Ried, Abschlußbericht. – Textband 48 S., Anlagen A 1–A 5, Anlagen B 1–B 9; Koblenz.
- KASS, W. (1981): Tracerhydrologische Untersuchungen im Langetental (Schweiz), Kap. 3.2.2.1. Borax-Steir. Beitr. Hydrogeol., **33**: 66–68, 1 Abb., 1 Tab.; Graz.
- KALWEIT, H. (1973): Die Veränderung der Abflußverhältnisse durch die wirtschaftliche Entwicklung im hessischen Ried. – Dt. gewässerkd. Mitt., Sh. **1973**: 30–34, 5 Abb.; Koblenz.
- KUPFAHL, H.-G., MEISL, S., & KÜMMERLE, E. (1972): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Nr. 6217 Zwingenberg a. d. Bergstr., 2. Aufl.-276 S., 67 Abb., 48 Tab.; Wiesbaden.
- MATTHESS, G. (1973): Lehrbuch der Hydrogeologie, **2**: Die Beschaffenheit des Grundwassers. – 324 S., 89 Abb., 86 Tab.; Berlin-Stuttgart (Borntreager).
- SCHMITT, O. (1966): Über pleistozäne Ablagerungen am Rand des Odenwaldes. – Z. dt. geol. Ges., **116**: 987–989; Hannover.
- TOUSSAINT, B. (1980): Die Auswirkungen der Starkregen im Mai 1978 auf die Grundwasserstände der hessischen Oberrheinebene. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 203–222, 7 Abb., 3 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- & SALAY, G. (1979) Methodische Untersuchungen zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. – Jber. Mitt. oberh. geol. Ver., N.F., **61**: 193–249, 16 Abb., 5 Tab.; Stuttgart.
- ZIPFEL, K. (1981): Aufbau und Ergebnisse von Grundwassermodellen. – Wasserkalender **1982**: 28–63, 17 Abb., 1 Tab.; Berlin (E. Schmidt).

Manuskript eingegangen am 15. 2. 1982

Das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa, Vogelsberg (Hessen)

Von

SIEGFRIED HOLTZ und JÜRGEN SCHOPPE*

Kurzfassung: Das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa (Bl. 5520 Nidda) gehört zur Gesamtausbaumaßnahme im Niederschlagsgebiet der Nidda, mit der die hochwasserfreie Abflußregelung in diesem Flußsystem erreicht werden soll. Es wurde nach einer Bauzeit von 20 Monaten im Jahre 1967 in Betrieb genommen.

Die Stauanlage liegt im Verbreitungsgebiet tertiärer Tuffe und Basalte, die von mächtigen quartären Schluffen überdeckt werden. Die Betriebssicherheit wurde während eines Probestaus im Dezember 1966 überprüft und durch mehrere Hochwasserereignisse bestätigt. Die Überprüfung der Bemessungswellen im baureifen Entwurf von 1963 hat gezeigt, daß das Becken zukünftig bei Hochwasser völlig geschlossen werden kann, wodurch für die Nidda der bestmögliche Hochwasserschutz zu erreichen ist.

Abstract: The flood retention basin near Ulfa, Vogelsberg (Hesse), is part of the project in the precipitation area of the river Nidda to achieve a flood free flow in this system. The dam was completed 1967 after 20 months in construction.

The damsite is located in tertiary tuffs and basalts covered by thick quarternary silts. The safety of the dam was proved during an experimental dam up and by several occurring floods. The proof of the anticipated floodpeaks in the finished plan of 1963 showed, that in future the reservoir can be loded completely during flood situation, which means an optimal flood control for the Nidda area.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	240
2. Bauliche Anlagen	241
3. Hydrologische Bemessung	241
4. Geologie	243
5. Bodenmechanik	244
5.1. Dammuntergrund	244
5.2. Schüttmaterial	245
5.3. Standsicherheit	246
6. Bodenmechanische Überwachung während der Bauzeit	247
7. Kontrolleinrichtungen	247
8. Probestau 1966	248
9. Hochwasserereignis 1967	250
10. Hochwasserereignis März 1981	251
11. Hydrologische Überprüfung	252
12. Zusammenfassung	255
13. Schriftenverzeichnis	255

* Dr. S. HOLTZ, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden. Dipl.-Ing. J. SCHOPPE, Wasserwirtschaftsamt Friedberg, Burg 13, 6360 Friedberg/Hessen.

1. Einleitung

Die Nidda, Hauptvorfluter der Wetterau, gehört zu den Flüssen in Hessen, die am stärksten hochwassergefährdet sind. Die Hochwässer treten im Frühjahr während der Aussaat und im Sommer und Herbst während der Ernten auf, was sich immer wieder äußerst ungünstig auf die landwirtschaftliche Nutzung weiter Talflächen – insbesondere im Unterlauf – ausgewirkt hat.

Der generelle Entwurf zur Regelung der Abflußverhältnisse, aufgestellt 1959 im Auftrag der Hessischen Wasserwirtschaftsverwaltung, sieht für den hochwasserfreien Ausbau der Nidda im Teilniederschlagsgebiet des Vogelsberges mehrere Jahresspeicher mit Hochwasserschutzraum und Hochwasserrückhaltebecken ohne Dauerstau vor (Abb. 1). Nach ihrer Fertigstellung werden die Stauanlagen mit einem Hochwasserschutzvolumen von $22,5 \text{ hm}^3$ rd. 28% des etwa 1941 km^2 großen Gesamtniederschlagsgebietes beherrschen.

Eine der ersten Baumaßnahmen war das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa südlich der gleichnamigen Ortschaft, das 1967 nach einer Bauzeit von 20 Monaten in Betrieb genommen werden konnte. Bauherr und Betreiber ist der Wasserverband Nidda, Friedberg.

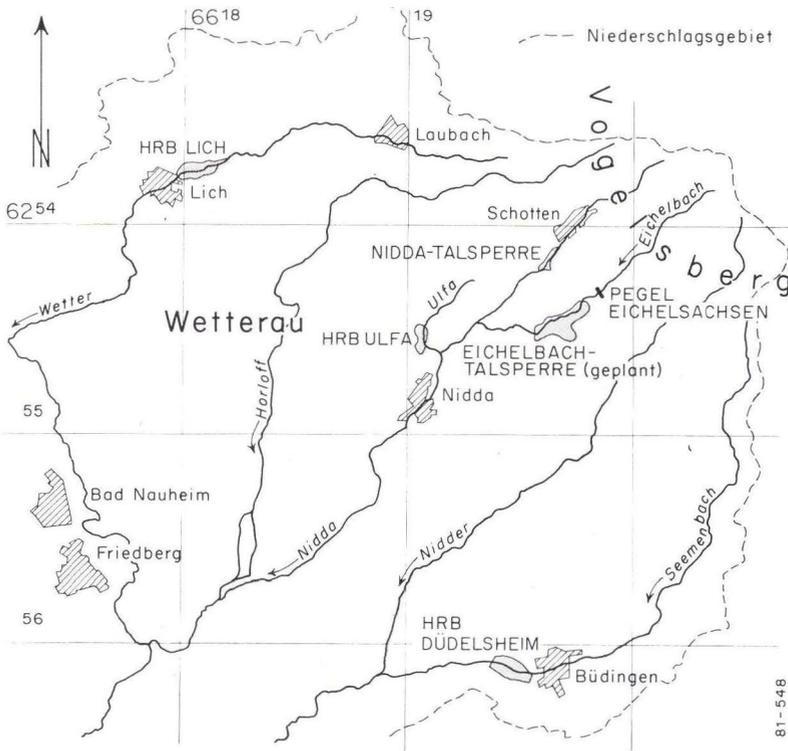


Abb. 1. Übersichtskarte des Niederschlagsgebietes.

2. Bauliche Anlagen

Der nach der Topographie mögliche Stauraum beträgt bei einer überstauten Fläche von rd. 47 ha rd. 1 hm^3 .

Das Absperrbauwerk ist ein homogen-wenigdurchlässiger Damm mit einer Kronenlänge von 240 m und einer Höhe von max. 8,5 m, der bei Einstau voll unterströmt wird. Die Böschungsneigungen betragen beidseitig 1:3, wodurch sich eine Dammkubatur von rd. $60\,000 \text{ m}^3$ ergibt. Am luftseitigen Dammfuß ist eine 2 m hohe Druckbank mit Sohlfilter und Entspannungsbrunnen angeordnet. Das Auslaufbauwerk liegt im festen Basaltfels am linken Hang. Es besteht aus dem wasserseitigen Einlaufbauwerk mit zwei Betriebseinläufen und dem Hochwasserüberlauf, einem zweigeteilten Stollen von 55 m Länge und dem Auslauf mit Tosbecken (Abb. 2).

Die Steuerung der zwei Hubschütze ($1,2 \times 1,2 \text{ m}$) im Einlaufbauwerk erfolgt automatisch vom Unterwasserpegel aus. Jedes Schütz leistet $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$, was dem 50jährigen Hochwasser (HQ_{50}) entspricht, während die Hochwasserentlastung für ein 500jähriges Hochwasser (HQ_{500}) ausgelegt ist. Auf die Abflüsse wird in Kap. 11 noch im einzelnen eingegangen.

3. Hydrologische Bemessung

Gemäß der Abflußregelung für das gesamte Niederschlagsgebiet der Nidda (HMLF 1969) war das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa für ein HQ_{50} – ein Hochwasser, das im statistischen Mittel einmal in 50 Jahren erreicht wird – zu bemessen. Hierfür verwendbare Abflußaufzeichnungen lagen für die Planung nicht vor. Die Anwendung deterministischer Verfahren, die später für die benachbarte Nidda-Talsperre (EULER & SCHOPPE 1975; EULER & SCHÖDER 1979) erfolgte, entfiel zum Planungszeitpunkt, so daß Bemessungswellen von einem Abflußpegel an der Ohm am Nordrand des Vogelsberges abgeleitet werden mußten. Die Methode ist in EULER & SCHOPPE (1975) beschrieben und führte zu den in Abb. 3 dargestellten Wellen, deren Inhalte größer als der tatsächlich zur Verfügung stehende Stauraum von 1 hm^3 sind. Daraus ergab sich, daß bei HQ_{50} im Winter nur Zuflüsse über $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$, im Sommer nur Zuflüsse über $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ zurückgehalten werden können. Die Regelabflüsse RQ wurden deshalb auf diese Werte festgelegt.

Der vorhandene spezifische Stauraum beträgt $1 \text{ hm}^3/20 \text{ km}^2$ ($50\,000 \text{ m}^3/\text{km}^2$), was einer Niederschlagsspeicherung von $N = 50 \text{ mm}$ entspricht. Diese Zahl liegt im Rahmen vergleichbarer Speicheranlagen. Die Wellenvolumina aber – $V_{\max} = 5,6 \text{ hm}^3$ nach Abb. 3 – stellen sehr hohe Werte dar, die bisher keiner bekannten Speicherbemessung zugrunde gelegt wurden. Deshalb wurde bereits bei der Planung des Beckens (KALWEIT 1963) darauf hingewiesen, „... daß die genannten Abflußregelungen RQ vielleicht auf noch kleinere Werte gesenkt werden können, wenn die Betriebserfahrungen einiger Jahre . . . dies zulässig erscheinen lassen.“ Hierzu wird im Kap. 11 Stellung genommen.

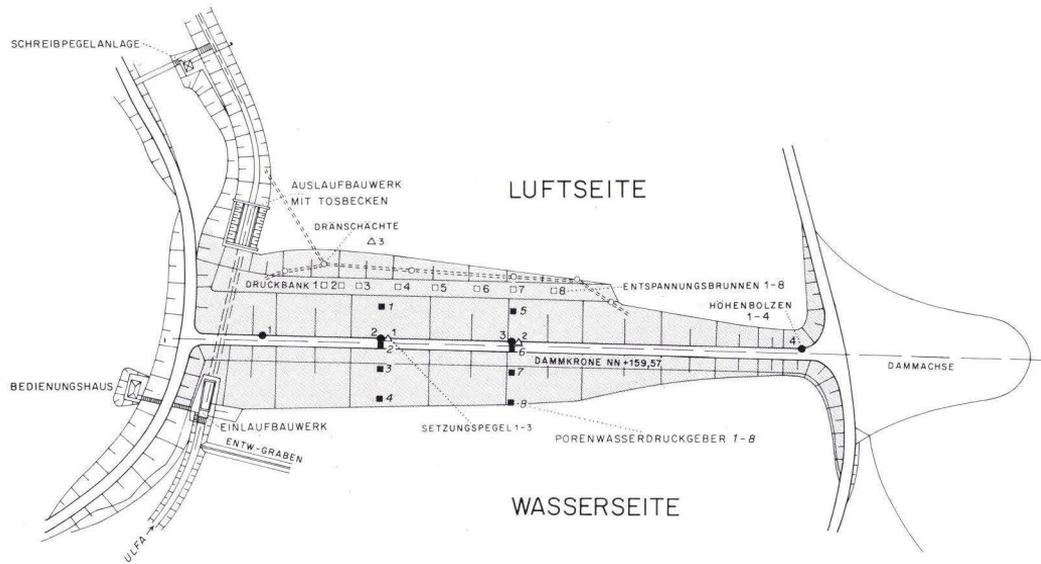
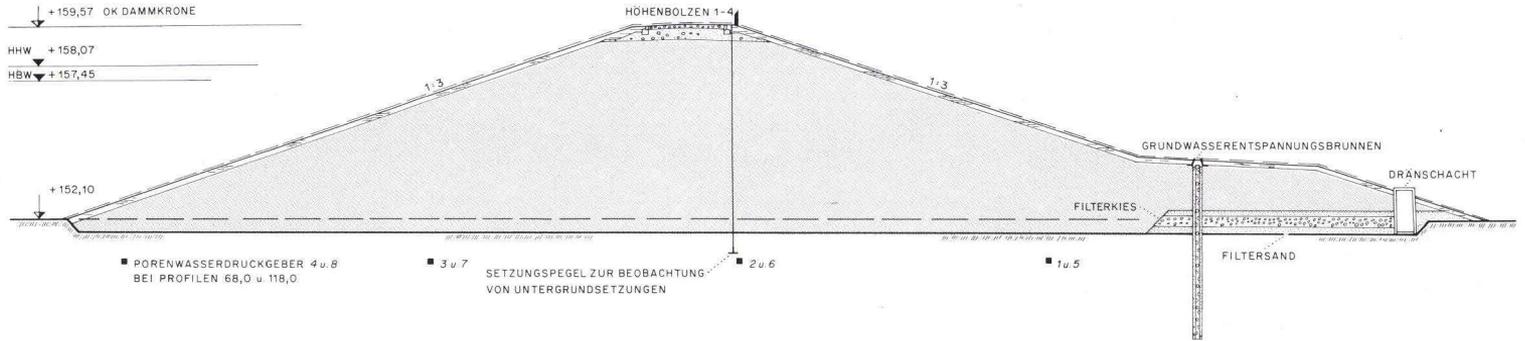


Abb. 2. Regelquerschnitt und Lageplan des Dammes.

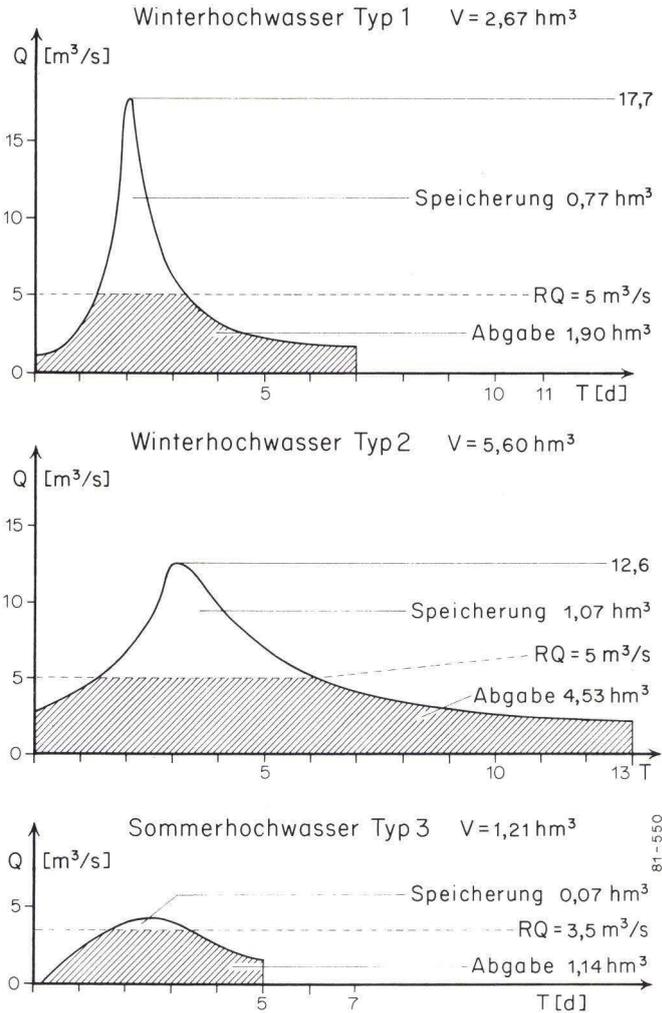


Abb. 3. Bemessungswellen.

4. Geologie

Das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa liegt im Verbreitungsgebiet tertiärer Tuffe und Basalte des zentralen Vogelsberges. Sie werden von tonig-schluffig-kiesigen Schichten überlagert, die im jüngeren Tertiär aus jenen durch Verwitterung hervorgegangen sind (Roterde, Bauxit, Siallit, Paläosol). Die quartären Deckschichten sind Löß und Lößlehm auf den Hochflächen und Auenlehm, Schluff, Sand und Kies in den Talniederungen. Letztere können örtlich eine Mächtigkeit von mehr als 10 m erreichen.

Aufschluß über den tieferen Untergrund an der Sperrstelle geben zwei Kernbohrungen, die im Winter 1960/61 niedergebracht worden sind:

Bohrung BK 5

Lage: Bl. 5520 Nidda, R 35 00 70, H 55 90 63; ca. 155,0 m über NN

0,0 – 18,0 m Ablagerungen des Quartärs

– 38,0 m Basalt mit Tuff-Zwischenlagen

>45,0 m Tuff

Bohrung BK 6

Lage: Bl. 5520 Nidda, R 35 00 82, H 55 90 63; ca. 155,0 m über NN

0,0– 8,60 m Ablagerungen des Quartärs

– 23,75 m Basalt

– 24,00 m Tuff

>35,00 m Basalt

Zur Erkundung von Ausbildung und Mächtigkeit vor allem der quartären Schichten wurden an der Sperrstelle und im Stauraum im Januar und April 1962 Sondierbohrungen bis zu einer Tiefe von max. 12,0 m ausgeführt. Für die Sperrstelle ergibt sich danach folgendes E-W-Profil: Am steilen Osthang steht Basalt zutage oder unter nur geringmächtigem Verwitterungslehm an. Er ist teils weitständig, teils engständig bis dicht geklüftet. Die Durchlässigkeit ist erfahrungsgemäß hoch.

Im Talgrund ist unter Auenlehm feinsandiger Schluff verbreitet. Im Taltiefsten übersteigt seine Mächtigkeit sicherlich 10 m. Gegen den Westhang keilt er schnell aus. An seine Stelle treten Löß und Lößlehm, die auf tertiären Verwitterungsböden liegen.

Das Grundwasser der quartären Talfüllung hatte sich in den Sondierbohrungen in rd. 1 m Tiefe eingestellt. Es ist vom gespannten Grundwasser im Basalt durch die tonig-schluffigen Verwitterungsbildungen getrennt.

Die Untergrundverhältnisse im Stauraum entsprechen weitgehend denen der Sperrstelle. Nur im Gelände zwischen dem „Käsberg“ und „Bei der Hirzbach“ ist Torf mit größerer Mächtigkeit vorhanden.

5. Bodenmechanik

5.1. Dammuntergrund

Die bodenmechanischen Untersuchungen wurden sowohl vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung als auch von der Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau (Prof. Dr.-Ing. BRETH) der TH Darmstadt durchgeführt. Die bodenphysikalischen Kennziffern von Auenlehm und Schluff sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Der Auenlehm ist mittelplastisch, der Schluff schwach plastisch ausgebildet. Der Porenanteil n ist mit 0,41–0,55 bei beiden hoch. Infolge der ebenfalls hohen Sättigungszahl war mit einer Gesamtsetzung des Untergrundes unter der Damm- auflast von max. 30 cm zu rechnen.

Tab. 1. Bodenphysikalische Kennwerte
Dammuntergrund

Bodenart	Auenlehm	Schluff	Schluff	Lößlehm	Lößlehm	Auenlehm	Auenlehm	Schluff	Schluff	Ton
Versuchsart	Schnell- versuch	Schnell- versuch	Schnell- versuch konsol.			Schnell- versuch			Schnell- versuch	
Entnahmetiefe (m)	0,9	2,8	2,8	2,0	1,15	1,2	1,0	1,8	1,55	1,85
gestört/ungestört	u	u	u							
Kornkennziffer							1720		2710	
Fließgrenze w L (1)	0,43	0,35		0,33	0,32	0,30	0,48	0,33	0,94 ^x	
Ausrollgrenze w P (1)	0,24	0,24		0,25	0,14	0,21	0,24		0,30 ^x	
Bildsamkeit JP (1)	0,19	0,11		0,08	0,18	0,09	0,24		0,64 ^x	
Wassergehalt w (1)	0,35	0,31		0,26		0,42 ^x	0,36	0,28	0,33	0,44
Dichte des feuchten Bodens ζ (t/m ³)	1,81	1,75		1,95		1,81	1,72	1,92	1,9	1,7
Trockendichte ζ_d (t/m ³)				1,55		1,28	1,33	1,5	1,42	1,18
Porenanteil n (1)				0,42		0,52	0,5	0,43	0,47	0,55
Porenzahl e (1)				0,71		1,1	1,0	0,74	0,87	1,23
Sättigungszahl Sr (1)				0,95		1,0	0,97	0,97	1,0	0,94
Konsistenzzahl JC (1)	0,4	0,36								
Glühverlust Vgl (1)					0,04	0,05			0,1	0,05
Reibungswinkel φ (°)	14,6	6,8	14,6				21,0			
Kohäsion c (da N/cm ²)	0,45	0,3	0,45				0,1			

x) Werte durch zu hohen Anteil organischer Bestandteile verfälscht

Bei Versuchen mit konsolidierten, undrainierten Proben mit Porenwasserdruckmessung wurde für den Auenlehm ein Reibungswinkel von $\varphi' = 23^\circ$ und eine Kohäsion von $c = 0,3$ daN/cm², für den Schluff ein Reibungswinkel von $\varphi' = 29^\circ$ und eine Kohäsion von $c = 0,1$ daN/cm² bestimmt.

5.2. Schüttmaterial

Tong-schluffiges Schüttmaterial für den Damm stand im Forstdistrikt „Frankenhausen“ rd. 1 km südlich der Sperrstelle in ausreichender Menge zur Verfügung.

Der Lehm war vorwiegend mittelpastisch ausgebildet, so daß er den Setzungen des Untergrundes folgen konnte, ohne daß Risse im Dammkörper zu befürchten waren. Eine Zusammenstellung der Kennwerte ist in Tab. 2 gegeben. Der natürliche Wassergehalt des Lehms lag mit ca. 0,18 etwa 0,05 unter dem optimalen Einbau-Wassergehalt. Der Reibungswinkel ergab sich dabei mit $\varphi' = 22^\circ$ bei einer Kohäsion von $c = 0,4$ daN/cm².

Tab. 2. Bodenphysikalische Kennwerte Schüttmaterial

Bodenart Versuchsart	Ton	Ton Schnell- versuch	Ton Schnell- versuch konsol.	Lößlehm	Ton mit Vor- belast.	Ton	Lößlehm	Lößlehm ohne Vor- belast.	Lößlehm	Schluff
Entnahmetiefe (m)	1,2	2,5	2,5	1,4	1,2 - 2,5	2,5	1,5	1,5-2,4	2,4	
gestört/ungestört	gest.	gest.	gest.	u	gest.	u	u	gest.	u	gest.
Kornkennziffer	3610	4510				4510			3610	
Fließgrenze wL (1)	0,41	0,82			0,82			0,41		0,45
Ausrollgrenze wP (1)	0,20	0,33			0,35			0,22		0,16
Bildsamkeit JP (1)	0,21	0,49			0,47			0,19		0,29
Wassergehalt w (1)	0,20	0,44		0,30		0,44	0,20		0,17	0,19
Dichte des feuchten Bodens ζ (t/m ³)	2,01	1,83		1,56		1,83	2,01		1,94	
Trockendichte ζ_d (t/m ³)				1,2		1,3	1,7		1,66	
Konsistenzzahl JC (1)	1,0	0,77								0,9
Reibungswinkel ϕ (°)		7,5	17,0		20,0			35,0		22,0
Kohäsion c (dal/cm ²)		1,2	0,55		0,75			0,25		0,4
Proctorversuch: Wassergehalt w Pr (1)	0,23	0,35			0,35			0,23		
Dichte ζ Pr (t/m ³)	1,6	1,32			1,32			1,59		

Ton-Linsen und -Lagen mit weniger günstigen Eigenschaften – so lag der natürliche Wassergehalt (0,44) um 0,09 über dem optimalen Einbau-Wassergehalt – erforderten eine sorgfältige Überwachung des Einbaus, da eine Trennung beider Bodenarten beim Abbau nicht möglich war.

5.3. Standsicherheit

Die Standsicherheitsbetrachtungen bezogen sich zunächst auf einen Damm mit Böschungsneigungen von 1:2,5. Bei wirksamer Porenwasserspannung – angenommen worden war, daß rd. 80% der Dammauflast zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Dammes vom Porenwasser des Schluffes getragen werden – ergab sich eine Sicherheit von 2,3. Trotzdem wurden endgültige Böschungen mit einer Neigung von 1:3 gewählt, weil vom Schluff der Talfüllung – wegen der ungünstigen Entnahmebedingungen – nur wenige Proben untersucht werden konnten.

Als zusätzliche Auftriebssicherung wurde am luftseitigen Dammfuß eine 2 m starke Druckbank angeordnet. Sie liegt auf einem Sohlfiler, dessen Aufbau aus Abb. 2 ersichtlich ist.

Der Entspannung des Schluffes dienen 8 Brunnen, die rd. 3 m in ihn hineinreichen. Sie sind mit Hagustafiler NW 150 (Körnung 0,7 – 1,2 mm) ausgebaut. Der Ringraum von 125 mm ist mit Sand (0,06 – 0,2 mm) aufgefüllt.

6. Bodenmechanische Überwachung während der Bauzeit

Der Damm wurde in der Zeit vom Juni bis November 1964 geschüttet. Die Überwachung erfolgte durch die Versuchsanstalt für Bodenmechanik und Grundbau der TH Darmstadt.

Bei einer Schütthöhe von 20 cm je Lage konnten die geforderten 95% der einfachen Proctordichte durch jeweils 10maligen Übergang mit einer Vibrations-Schafffußwalze (10 t dyn. Last) und einer Gummiradwalze (10 t) erreicht werden, obwohl das Schüttmaterial erwartungsgemäß in seiner Plastizität stark wechselte.

Während der Bauzeit stellten sich Porenwasserdrücke bis zu 51% des Überlagerungsgewichtes ein. Die Sicherheit des Dammes war jedoch zu keiner Zeit gefährdet (Tab. 3).

Auf eine Untergrundabdichtung konnte im Taluntergrund und am rechten Hang verzichtet werden. Am linken Hang wurde der Damm mit einem 2,5 m tiefen und im Mittel 3,5 m breiten Sporn in den Basalt eingebunden und die zwischen dem Grundablaß und dem Damm verbleibende Basaltrippe mit einer Lehmschürze von 1 m Dicke abgedeckt.

Die Setzung des Untergrundes betrug bis zum 25. 10. 1964 max. 0,3 m. Das Dammvorland setzte sich max. 0,05 m.

7. Kontrolleinrichtungen

Das Meß- und Kontrollsystem ist in Abb. 2 dargestellt. Es besteht aus

- Höhenbolzen zur Messung der Gesamtsetzungen,
- 3 Setzpegeln zur Messung der Setzungen im Dammuntergrund,
- 8 Porenwasserdruckgebern (System МАИНАК) auf zwei Profilen im Dammuntergrund,
- Entspannungsbrunnen in der Druckbank,
- einer Sammelleitung mit 6 Dränschächten.

Tab. 3. Auswertung der Porenwasserdruckmessung vom 4. 11. 64

Geber-Nr.	Nullmessung am 30.6.64	Messung am 4.11.64	Δ Skt. ./.	Eichwert $\cdot 10^{-3}$	Porenwasser- druck $\frac{p}{\text{kg/cm}^2}$	Schütthöhe m ü. NN	Geber-Lage m ü. NN	Überlage m	$p = \gamma \cdot h$ $\frac{p}{\text{kg/cm}^2}$	U/p %
1	475	372	103	4,80	0,49	155,95	149,77	6,18	1,14	43
2	435	309	126	5,63	0,71	157,50	150,00	7,50	1,39	51
3	452	327	125	4,65	0,58	156,60	150,08	6,52	1,20	48
4	489	462	27	4,25	0,12	152,50	150,07	2,43	0,45	29
5	457	416	41	4,82	0,20	155,95	150,20	5,75	1,07	18
6	485	444	41	5,03	0,21	157,50	150,30	7,20	1,33	15
7	476	446	30	5,60	0,17	156,60	150,40	6,20	1,15	14
8	481	464	17	6,78	0,12	152,50	150,50	2,00	0,37	32

8. Probestau 1966

Die VOB-Abnahme der Stauanlage am 1. 11. 1966 schuf die Voraussetzung für den Probestau gemäß DIN 19 700, § 3.65. Es wurde festgelegt, diesen aber erst vorzunehmen, wenn ein größeres Hochwasser zu erwarten war.

Diese Gelegenheit bot sich bereits 6 Wochen nach der Abnahme. Zwei Hochwasserwellen, die am 11. und 13. 12. 1966 auf das nach Vorwarnung geschlossene Becken trafen, ermöglichten einen Einstau bis auf eine Höhe von max. 5,66 m, was einem Stauinhalt von 390 000 m³ entsprach.

Während des Probestaus wurden Höhenbolzen und Setzpegel einmal täglich, Porenwasserdruckgeber ein- bis siebenmal täglich und die Grundwasserstände in den Entspannungsbrunnen zusammen mit den Dränabflüssen ein- bis dreimal täglich gemessen.

Wie aus Abb. 4 ersichtlich ist, traten Bewegungen vorwiegend im Dammuntergrund, in nur geringem Maße im Damm selbst auf. Der Höchstbetrag der Setzung von 19 mm – davon 17 mm im Dammuntergrund – lag erwartungsgemäß im Bereich der größten Auflast. Der Höhenbolzen H 4 auf der rechten Dammschulter und die Setzpegel S 2 und S 3 – dieser im luftseitigen Dammvorland – reagierten auf den Einstau zunächst mit Hebung, folgten aber dann den Setzbewegungen der anderen Höhenbolzen und Setzpegel, die 3 Tage nach der vollständigen Entleerung des Beckens ihren größten Betrag erreichten. Etwa einen Monat nach dem Einstau

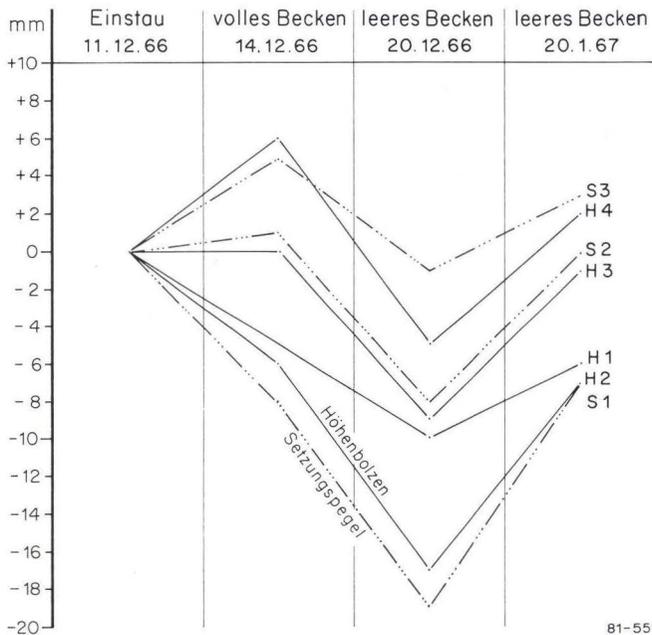


Abb. 4. Dammbewegungen beim Probestau 1966.

befanden sich alle Punkte wieder in Aufwärtsbewegung, die in ihrer Größenordnung teilweise sogar über den Werten der Nullmessung vom 28. 11. 1966 lag.

Die Entwicklung der Porenwasserüberdrücke stimmte mit dem Ablauf des Probetaus weitgehend überein (Abb. 5). Die zeitlich verzögerte Reaktion der einzelnen Geber entsprach ihrer Lage zum Stauraum und dem Druckabbau im Dammuntergrund von der Wasser- zur Luftseite. Zum Zeitpunkt des höchsten Einstaus betrug das Restpotential luftseitig etwa 10%; die Standsicherheit des Dammes war somit zu jeder Zeit gewährleistet.

In den Entspannungsbrunnen E 1 – E 5, E 7 und E 8 stieg die Grundwasseroberfläche vorübergehend um 0,05 – 0,35 m an. Lediglich im Entspannungsbrunnen E 6 war bis zum Maximalstau ein Absinken um 0,25 m zu beobachten, dem nach dem Ablassen ein Anstieg um 0,21 m folgte. Da die Brunnen in den Sohlfilter überlaufen können, war es nicht möglich, hieraus irgendwelche Rückschlüsse auf den Potential-Abbau u. ä. zu ziehen. Insgesamt muß der Wasserandrang in den Brunnen aber gering gewesen sein, weil in der Sammelleitung die Sickerwassermenge über die ganze Stauzeit mit etwa 1 l/s gleich blieb.

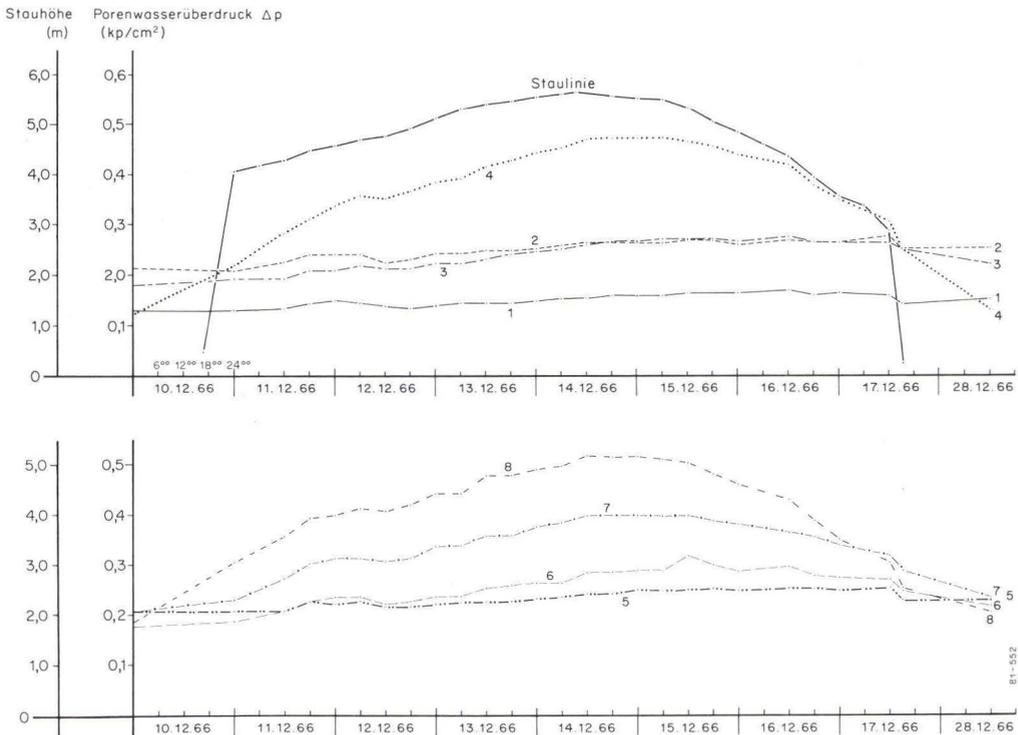


Abb. 5. Veränderungen des Porenwasserüberdruckes beim Probetau 1966.

Nach dem günstigen Ergebnis des Probetaus konnte das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa im Januar 1967 dem Wasserverband Nidda für den Normalbetrieb übergeben werden.

9. Hochwasserereignis 1967

Am 22. 12. 1967 setzte im Hohen Vogelsberg Tauwetter ein, das zum ersten großen Einstau des Beckens nach dem Probetau führte. Am 25. 12. 1967 erreichte die Staumarke eine Höhe von 6,0 m, der ein Stauinhalt von 470 000 m³ entspricht. Am gleichen Tag konnte, da die Zuflüsse erheblich zurückgingen, mit dem Abstau begonnen werden, der am Morgen des 29. 12. 1967 beendet war.

Während des Staubetriebes wurden lediglich die Porenwasserdruckgeber in einem Zeitintervall von 4 Stunden rund um die Uhr abgelesen. Die Entwicklung des Porenwasserüberdruckes im Vergleich mit dem Verlauf des Einstaus ist in Abb. 6 dargestellt. Sie stimmt weitgehend mit dem Ergebnis des Probetaus überein, wobei die Werte im einzelnen wegen der um 0,34 m höheren Stauhöhe geringfügig größer waren. Etwas günstiger war der Druckabbau; das Restpotential lag luftseitig bei rd. 6%.

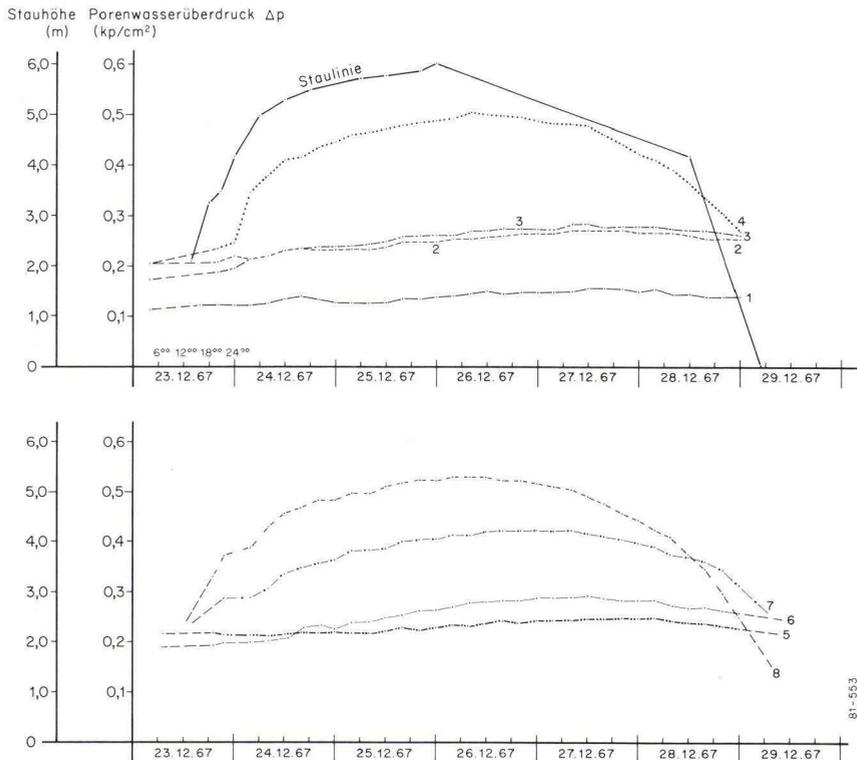


Abb. 6. Veränderungen des Porenwasserüberdruckes beim Einstau 1967.

10. Hochwasserereignis März 1981

Mit einsetzender Schneeschmelze im März 1981 war ein größeres Hochwasser zu erwarten; der Einstau sollte zur Überprüfung der Stauanlage – insbesondere der seit langem nicht mehr gemessenen Porenwasserdruckgeber – genutzt werden.

Am Tag der Nullmessung (5. 3. 1981) waren die Ausgangswerte der Porenwasserdruckgeber in der Mehrzahl deutlich niedriger als bei der Nullmessung im Dezember 1967 (Tab. 4). Insgesamt weist das Diagramm der Druckverläufe (Abb. 7) auf mehr oder weniger gleiches Verhalten der Anlage wie bei den vorangegangenen Belastungen hin. Die Betriebssicherheit des Hochwasserrückhaltebeckens Ulfa ist weiterhin gegeben.

Nach dem Ergebnis der geodätischen Feinvermessung am 12. und 23. 3. 1981 hat sich der Damm während des Einstaus zwischen dem 10. und 14. 3. 1981 weder in der Lage, noch in der Höhe verändert.

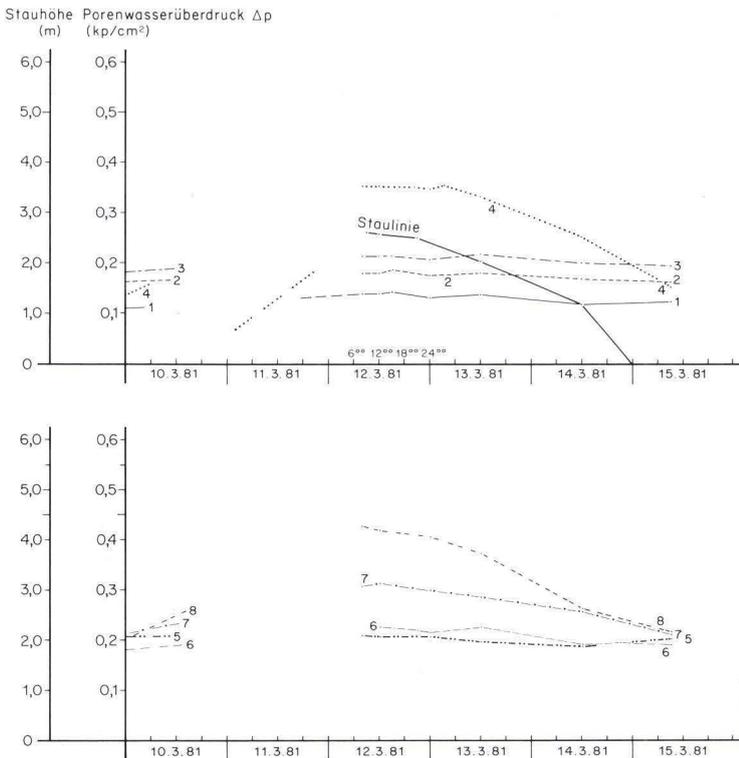


Abb. 7. Veränderungen des Porenwasserüberdruckes beim Einstau 1981.

Tab. 4. Vergleich Δp Porenwasserüberdruck
1967/1981

	1967	1981
Geber 1	0,120	0,110
Geber 2	0,208	0,163
Geber 3	0,186	0,181
Geber 4	0,235	0,136
Geber 5	0,217	0,207
Geber 6	0,191	0,181
Geber 7	0,269	0,213
Geber 8	0,332	0,203

11. Hydrologische Überprüfung

Die Beobachtungszeit von inzwischen rd. 15 Jahren, in der die Abflüsse am Unterwasserschreibpegel kontinuierlich gemessen wurden, reicht aus, um eine Überprüfung der 1963 gefundenen Bemessungswellen (KALWEIT 1963), die auf unsicheren Ansätzen beruhten, vorzunehmen.

Dabei sind die Hochwasserspitzen von untergeordneter Bedeutung. Hier mag der Hinweis genügen, daß der Ansatz $HQ_{50} = 17,7 \text{ m}^3/\text{s}$ reichlich auf der sicheren Seite liegt, wie die Beobachtungen zeigen. Von Wichtigkeit sind vorrangig die Wellenvolumina V_n , insbesondere V_{50} – d. h. das im statistischen Mittel alle 50 Jahre zu erwartende Hochwasservolumen. Seine Überschreitungswahrscheinlichkeit $P_{\bar{u}}$ beträgt dann $100/50 = 2\%$ und die Unterschreitungswahrscheinlichkeit $P_{\bar{u}} = 100 - 2 = 98\%$.

Zur Bestimmung der häufigkeitsdefinierten Wellenvolumina V_n ist wie folgt vorzugehen:

1. Als Beginn und Ende eines Hochwassers wird das dreifache Mittelwasser $3MQ = 3 \cdot 0,167 = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ festgelegt.
2. Umrechnung der registrierten Pegelwasserstände t (cm) in Abflüsse Q (m^3/s) anhand der für die Pegelmeßstrecke gültigen Abflußkurve als $Q = f(t)$.
3. Bestimmung der Volumina größerer Hochwässer der Zeitreihe 1966–1981 (15 Jahre) mit $V = \sum \Delta T \cdot Q$ (m^3).

Als Zeitintervall ΔT (h) wurde $T = 3 \text{ h}$ gewählt.

An der oberen Nidda und ihren dortigen Nebenläufen, wie Ulfa und Eichelbach, trat das größte Hochwasser im Jahre 1976 im Januar auf. Da die Pegelaufzeichnungen von Ulfa verfälscht waren (verlandete Meßstrecke), mußte es vom benachbarten Pegel Eichelsachsen (Abb. 1) mit $F_N = 23,6 \text{ km}^2$ durch Korrelation abgeleitet werden. Dazu dienten verschiedene Hochwasserpaare von Ulfa und Eichelsachsen, die mit dem Korrelationsbeiwert $r = 0,95$ einen straffen Zusammenhang zeigten. Die Regressionsgerade

Tab. 5. Gemessene jährliche größte Wellenvolumina 1966-1981

T (Jahr)	V_T (hm ³)	T (Jahr)	V_T (hm ³)
1966	0,202	1973	0,014
1967	0,151	1974	0,174
1968	0,668	1975	0,186
1969	0,286	1976	0,126
1970	0,663	1977	0,300
1971	0,100	1978	0,390
1972	0,031	1978	0,211
		1981	0,713

$V_U = 0,549 \cdot V_E + 0,47$ führte zu $V_U = 0,126 \text{ km}^3$ für 1976 (U = Ulfa, E = Eichelsachsen). Die größten Hochwässer eines jeden Jahres (Tab. 5) wurden weiter verwendet.

Tab. 6. Häufigkeitsbezogene Wellenvolumina V

n ¹⁾	p_u ²⁾	p_u ³⁾	V_n
-	%	%	hm ³
1,01	99	1	0,012
1,05	95	5	0,033
1,11	90	10	0,053
1,25	80	20	0,091
2	50	50	0,214
5	20	80	0,417
10	10	90	0,549
25	4	96	0,701
50	2	98	0,801 ⁴⁾
100	1	99	0,888
200	0,5	99,5	0,966

1) Jährlichkeit

2) Überschreitungswahrscheinlichkeit

3) Unterschreitungswahrscheinlichkeit

4) Beispiel: $V_{50} = 0,801 \text{ hm}^3$

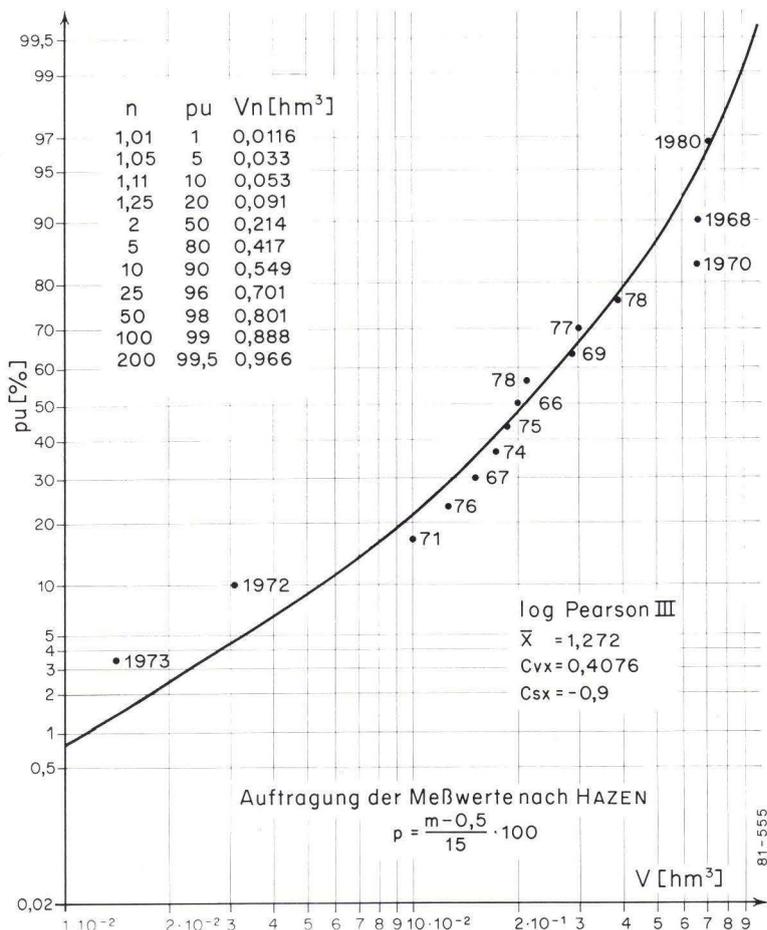


Abb. 8. Hochwasservolumina 1966–1980.

4. Die gesuchten häufigkeitsdefinierten Wellenvolumina V_n ergeben sich nun aus $\lg V_n = X_n = \bar{x} + c_{vx} \cdot k$. Als geeignetes Verfahren wird die vom KFK (1974) empfohlene Methode lg-PEARSEN – Typ 3 – angewendet.

Dafür werden die statistischen Parameter $\bar{x} = 1,272$ (Mittelwert), $c_{vx} = 0,4076$ (Variationskoeffizient) und $c_{sx} = -0,9$ (Schiefekoeffizient) errechnet.

Eingesetzt in obige Gleichung wird $X_n = 1,272 + 0,404476 \cdot k$. Der Beiwert k ist tabellarisch für jede Jährlichkeit n (bzw. Wahrscheinlichkeit p) in Abhängigkeit von c_{sx} erfaßt. Damit wird nun $V_n = 10^{X_n}$.

Die Ergebnisse sind in Abb. 8 mit den Meßwerten 1966–1981 aufgetragen und in Tab. 6 angegeben.

Die Meßwerte wurden nach HAZEN $p_u = 100 \frac{m - 0,5}{15}$ aufgetragen. Dabei ist m die Ordnungszahl des jährlich größten Hochwassers. Die Hochwässer sind der Größe nach geordnet, so daß das kleinste die Ordnungszahl $m = 1$ und das größte $m = 15$ erhielt. Damit wird $p_u = 3,33\%$ für $m = 1$ und $p = 96,67\%$ für $m = 15$.

Das gesuchte V_{50} beträgt $0,801 \text{ hm}^3$. Bei einem vorhandenen Stauraum von $1,0 \text{ hm}^3$ wird es somit voll im Becken aufgenommen, so daß auf eine Regelabgabe verzichtet werden kann. Da auch eine Hochwasserwelle mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von $p_u = 1\%$ bzw. $n = 100$ aufgenommen wird, kann das Becken zukünftig im Hochwasserfall völlig geschlossen werden und dadurch für die Nidda und insbesondere die Stadt Nidda ein bestmöglicher Hochwasserschutz erreicht werden.

Eine Differenzierung in Winter- und Sommerhochwasser erübrigt sich und ist statistisch aus den bisherigen Beobachtungen auch noch nicht signifikant nachzuweisen. In einer anderen Untersuchung (TH Darmstadt 1979) wurde die hundertjährige Welle synthetisch mit einem modifizierten Einheitsganglinienverfahren mit $V_{100} = 1,02 \text{ hm}^3$ gefunden, so daß auch hiernach auf eine Regelabgabe verzichtet werden kann, da sie dem vorhandenen Stauraum von $1,0 \text{ hm}^3$ entspricht.

12. Zusammenfassung

Zur Drosselung der Hochwässer im Niederschlagsgebiet der Nidda sieht der generelle Entwurf für die Regelung der Abflußverhältnisse (1959) u. a. den Bau von Rückhaltebecken und Talsperren im Oberlauf der Nidda und ihrer Nebengewässer vor.

Das Hochwasserrückhaltebecken Ulfa, das 1967 dem Betrieb übergeben werden konnte, beherrscht mit einem auf 1 hm^3 ausgelegten Stauinhalt ein Teilniederschlagsgebiet von rd. 20 km^2 . Das Absperrbauwerk – ein homogen-wenigdurchlässiger Damm mit Böschungsneigungen von 1:3 – liegt auf z. T. mehr als 10 m mächtigen, vorwiegend bindigen Ablagerungen des Quartärs, unter denen tonig-schluffige Verwitterungsbildungen sowie Basalte und Tuffe des Tertiärs anstehen.

Nach günstigem Verlauf des Probestaus im Dezember 1966 zeigen auch der erste größere Einstau eines Hochwassers im Dezember 1967 und das Hochwasserereignis im März 1981 die Betriebssicherheit der Anlage.

Die Überprüfung der hydrologischen Annahmen anhand der zwischenzeitlich gewonnenen Meßwerte zeigt, daß das HQ_{50} voll von dem vorhandenen Stauraum aufgenommen wird. Eine Regelabgabe kann deshalb entfallen.

13. Schriftenverzeichnis

- Abflußmodell für das Niddagebiet. – Darmstadt (Inst. Hydraulik u. Hydrologie TH Darmstadt, unveröff.) 1979.
 Empfehlungen für die Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit. – Karlsruhe (Kuratorium Kulturbauwesen – KFK) 1974.

- EULER, G., & SCHOPPE, J. (1975): Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Niddatalsperre. – Wasser u. Boden, **27**: 90–94; Hamburg.
- & SCHRÖDER, R. C. M. (1979): Dimensionierung eines Hochwasserschutzraumes einer Talsperre. – Wasser u. Boden, **31**: 56–59, 1 Taf.; Hamburg.
- KALWEIT, H. (1963): Hochwasserrückhaltebecken Ulfa.– Baureifer Entwurf (unveröff.); Koblenz.
- Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Nidda. – Wiesbaden (Hess. Minist. Landwirtsch. u. Forsten) 1969.

Manuskript eingegangen am 7. 9. 1981

Ein FORTRAN IV-Programm zur Konstruktion von THIESEN-Polygonen

Von

ADALBERT SCHRAFT*

Kurzfassung: Das vorgestellte FORTRAN-Programm erleichtert die Konstruktion von THIESEN-Polygonen.

Abstract: The presented FORTRAN-program facilitates the construction of THIESEN-polygons.

Einleitung

Der Gebietsniederschlag ist der wichtigste Eingabe-Parameter für die Aufstellung einer Wasserbilanz. Von den möglichen Methoden zu seiner Bestimmung wird die THIESEN-Polygon-Methode häufig angewandt. Sie ist die objektivste, da sie bei jedem Bearbeiter zu gleichen Ergebnissen führt. Deshalb eignet sie sich auch gut für eine Ermittlung des Gebietsniederschlags über die EDV.

Grundgedanke für die Konstruktion der THIESEN-Polygone ist, daß jede Meßstelle die Fläche repräsentiert, die durch das Polygon aus den Mittelsenkrechten auf die Verbindungen zu den Nachbarstationen abgegrenzt wird. Die Berechnung der Gebietsniederschläge N erfolgt dann nach folgender Formel,

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{FN} \cdot N_i$$

wobei die N_i die Niederschlagswerte der Meßstationen und die F_i die Flächen der Polygone innerhalb der Wasserscheiden darstellen; FN repräsentiert die Gesamtfläche des Einzugsgebietes.

Programm THIESEN

Das Programm erleichtert die bei vielen Niederschlagsstationen oft aufwendige Konstruktion der THIESEN-Polygone. In seiner jetzigen Fassung erlaubt es die Verarbeitung von 50 Koordinatenpaaren für die Meßstationen und 200 für das Einzugsgebiet. Durch Erhöhen dieser Zahlen in allen DIMENSION-Anweisungen

* Dr. A. SCHRAFT, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden.

können beliebig viele Koordinatenpaare sowohl für die Meßstationen als auch für das Einzugsgebiet verarbeitet werden. Diese Eingabedaten müssen, ebenso wie die Kontrollparameter (MU, N, ECKE), den im Programmvorspann angegebenen Formatangaben genügen.

Spezielle Angaben über den Programmaufbau sind den im Programm¹ enthaltenen Kommentaren zu entnehmen. Die Funktionen der sieben im Programm verwendeten Unterprogramme aus der Plotsoftware (PLOTS, PLOT, SCISS, PLTIR, SYMBL4, SCOFF, FINTRA) können ebenfalls näheren Angaben im Quellenprogramm entnommen werden. Bei einer Implementierung müssen sie gegebenenfalls gegen äquivalente Programme ausgetauscht werden. Unterprogramme zur Beschriftung des Plots können noch eingefügt werden. — Das Programm ist in der vorliegenden Fassung auf der IBM/370-168 gelaufen.

Ein Computerprogramm zur Flächenberechnung der einzelnen Polygone gibt DISKIN (1969).

Interpretation der Druckerausgabe

Sämtliche im Diagramm enthaltene Informationen werden zusätzlich noch tabellarisch in folgender Reihenfolge ausgegeben (Tab. 1):

1. Koordinaten des Einzugsgebietes
2. Koordinaten der Stationen
 - 1) und 2) in der Reihenfolge der Eingabe
3. Angaben zu den einzelnen Polygonlinien.

Die ersten beiden Zahlenpaare definieren eine Polygonlinie. Sie repräsentieren die Koordinaten ihrer Schnittpunkte mit zwei anderen Linien. Falls diese Polygonlinie im Endlichen keinen Schnittpunkt mit einer anderen aufweist, ist der zweite Punkt der Schnittpunkt der Linie mit dem Rahmen. Liegen beide Punkte außerhalb des Rahmens, so wird zwischen ihnen nicht mehr unterschieden.

Die Angaben in den Spalten 5–7 geben nähere Informationen zu den einzelnen Polygonlinien: In Spalte 5 wird die Nummer der Station ausgegeben, für die das links davon stehende Punktepaar eine Polygonlinie definiert. Die 6. Spalte gibt einen Hinweis auf die Station, welche für die Konstruktion dieser Linie benötigt wurde. Die Zählung der Stationen erfolgt jeweils in der Reihenfolge der Eingabe. Sind beide Punkte der Polygonlinie durch den Schnitt mit einer anderen Linie definiert, wird in Spalte 7 eine Zwei ausgegeben. Liegt der zweite Schnittpunkt aber außerhalb des Rahmens, so wird der Zeichenstift durch das Unterprogramm SCISS an seiner Überschreitung gehindert. Läuft die Linie ins Unendliche, erscheint in Spalte 7 eine Eins. Die Linie wird durch das Programm am Rahmen abgebrochen. Linien und Linienteile außerhalb werden unterdrückt.

Schriftenverzeichnis

DISKIN, M. H. (1969): THIESSEN Coefficients by a Monte Carlo Procedure. — J. Hydrol., **8**: 323–335, Amsterdam.

Manuskript eingegangen am 7. 12. 1981

TAB.1. BEISPIEL FUER DIE DRUCKERAUSGABE (AUSZUG)

10.50	6.55
10.80	5.65
12.00	5.00
13.20	5.45
14.70	6.45
15.80	6.65

KOORDINATEN DES EINZUGSGEBIETES

0.50	1.00
14.80	0.20
23.00	1.00
11.50	7.50
3.70	11.50
22.50	12.00

KOORDINATEN DER STATIONEN

5.4152	5.2397	-16.4236	11.8953	1	5	2
-16.4236	11.8953	-187.4833	25.4000	1	12	2
-187.4833	25.4000	-187.4833	25.4000	1	14	1
5.4152	5.2397	7.6938	1.3835	1	4	2
7.6938	1.3835	7.6164	0.0	1	2	1
18.3534	6.2022	7.6938	1.3835	2	4	2
7.6938	1.3835	7.6164	0.0	2	1	1
18.3534	6.2022	18.9585	0.0	2	3	1
24.1340	6.5629	27.3097	0.0	3	16	1
24.1340	6.5629	18.4102	6.3027	3	6	2
18.4102	6.3027	18.3534	6.2022	3	4	2
18.3534	6.2022	18.9585	0.0	3	2	1
7.6938	1.3835	18.3534	6.2022	4	2	2
18.3534	6.2022	18.4102	6.3027	4	3	2
18.4102	6.3027	16.6443	10.6196	4	6	2
16.6443	10.6196	11.9073	13.6388	4	8	2
11.9073	13.6388	9.1122	12.4488	4	7	2
9.1122	12.4488	5.4152	5.2397	4	5	2
5.4152	5.2397	7.6938	1.3835	4	1	2
9.1122	12.4488	3.2271	15.8254	5	7	2
3.2271	15.8254	-16.4236	11.8953	5	12	2
-16.4236	11.8953	5.4152	5.2397	5	1	2
5.4152	5.2397	9.1122	12.4488	5	4	2
24.5000	19.5000	16.6442	10.6196	6	8	2
16.6442	10.6196	18.4102	6.3027	6	4	2
18.4102	6.3027	24.1340	6.5629	6	3	2
24.1340	6.5629	27.5553	9.4282	6	16	2
27.5553	9.4282	26.1959	19.0477	6	17	2
26.1959	19.0477	24.5000	19.5000	6	11	2

SPEZIFISCHE ANGABEN ZU DEN POLYGONEN
(VERGL. SCHRAFT, A.(1982): EIN FORTRAN IV- PROGRAMM ZUR KON-
STRUKTION VON THIESSEN- POLYGONEN.- GEOL. JB. HESSEN, 110,
WIESBADEN

¹ Programm sowie Abb. 1 auf den folgenden Seiten.

```

C PROGRAMM ZUR KONSTRUKTION VON THIESEN- POLYGONEN
C -----
C
C BENUTZERHINWEISE:
C
C AUFBAU DES KARTENDECKS:
C
C 1) SYSTEM KARTEN
C
C 2) PROGRAMM- DECK <THIESEN>
C
C 3) KONTROLL PARAMETER (FORMAT(2I3,4F6.2))
C
C SPALTE VAR. NAME BEDEUTUNG
C
C 1-3 MU ZAHL DER PUNKTE DES ZU ZEICHNENDEN
C EINZUGSGEBIETES (I3)
C 4-6 N ZAHL DER NIEDERSCHLAGSSTATIONEN (I3)
C 7-12 ECKE(1,3) KLEINSTE X KOORDINATE (FORMAT(F6.2))
C 13-18 ECKE(2,3) KLEINSTE Y KOORDINATE (FORMAT(F6.2))
C 19-24 ECKE(3,3) GROESSTE X KOORDINATE (FORMAT(F6.2))
C 25-30 ECKE(4,3) GROESSTE Y KOORDINATE (FORMAT(F6.2))
C
C 4) KOORDINATEN DES EINZUGSGEBIETES (FORMAT(I5,2F5.2))
C
C 1-5 LSW: KONTROLLGROESSE, UM LINIE ZU UNTERBRECHEN
C Z.B. FUER 2 EINZUGSGEBIETE; WENN LSW=1
C WIRD DIE GERADE GEZEICHNETE LINIE NACH AUSFUEHRUNG
C DIESES PUNKTES UNTERBROCHEN, UND DER
C STIFT WIRD IN GEBOHENEM ZUSTAND ZUM NAECHSTEN PUNKT
C DES DATENSATZES GEFUEHRT
C 6-10 XX:X-KOORDINATEN DER PUNKTE DES EINZUGSGEBIETES (MAX.200)
C 11-15 YY:Y-KOORDINATEN DER PUNKTE DES EINZUGSGEBIETES (MAX.200)
C
C 5) KOORDINATEN DER STATIONEN (FORMAT(2F6.2))
C
C X,Y: KOORDINATEN DER STATIONEN (MAX. 50)
C -----
C
C DIMENSION POPKT(50,4), IPONR(50,3), X(50), Y(50), PQR(50,4)
C DIMENSION IAM(2), ABMI(2,3), ECKE(4,5), SEF(2,4)
C DIMENSION LSW(200), XX(200), YY(200)
C UNEND = 10. ** 20
C
C ... INPUT
C
C READ (5,100) MU, N, (ECKE(I,3), I = 1,4)
C READ (5,200) (LSW(I), XX(I), YY(I), I = 1,MU)
C WRITE (6,300) (XX(I), YY(I), I = 1,MU)
C WRITE (6,400)
C READ (5,500) (X(I), Y(I), I = 1,N)
C WRITE (6,600) (X(I), Y(I), I = 1,N)
C WRITE (6,700)
C
C ... INITIALISIERUNG DES PLOTTERS UND NEUDEFINITION DES URSPRUNGS DES
C ... PLOTTERKOORDINATENSYSTEMS
C
C CALL PLOTS

```

```

CALL PLOT(10.,10.,-3)
C
C ... ZEICHNE RAHMEN
C
CALL PLOT(ECKE(1,3),ECKE(2,3),3)
CALL PLOT(ECKE(3,3),ECKE(2,3),2)
CALL PLOT(ECKE(3,3),ECKE(4,3),2)
CALL PLOT(ECKE(1,3),ECKE(4,3),2)
CALL PLOT(ECKE(1,3),ECKE(2,3),2)
C
C ... BEGRENZUNG DES ZEICHENFELDES
C
CALL SCISS(ECKE(1,3),ECKE(2,3),ECKE(3,3),ECKE(4,3))
C
C ... ZEICHNE DAS EINZUGSGEBIET
C
IA = 0
1 IB = 1
2 IA = IA + 1
LW = LSW(IA)
XEZG = XX(IA)
YEZG = YY(IA)
C
C FALLS IB = 1 BEGINNE LINIE (GESTRICHELT)
C
IF (IB - 1) 3, 4, 3
3 CALL PLTIR(XEZG, YEZG, 2)
IF (IA .EQ. MU) GO TO 5
C
C FALLS LW = 1 BEENDE LINIE
C
IF (LW - 1) 2, 1, 2
4 IB = 0
CALL PLOT(XEZG, YEZG, 3)
GO TO 2
C
C ... BESTIMME KOORDINATEN DES RAHMENS
C
5 DO 10 I = 1,3,2
ECKE(I,1) = -1.
ECKE(I+1,1) = 0.
ECKE(I,2) = 0.
ECKE(I+1,2) = -1.
10 CONTINUE
DO 20 I = 1,4
IF (ECKE(I,3) .NE. 0.) GO TO 20
DO 30 J = 1,2
ECKE(I,J) = -ECKE(I,J)
30 CONTINUE
20 CONTINUE
JM = 4
DO 40 I = 1,3,2
KM = 2 - I
DO 40 J = 2,4,2
JM = JM + KM * (J / 2 - 1)
ECKE(I,JM) = ECKE(I,1) * ECKE(J,3) - ECKE(I,2) * ECKE(I,3)
ECKE(J,JM) = ECKE(J,1) * ECKE(J,3) - ECKE(J,2) * ECKE(I,3)
40 CONTINUE

```

```

C
C ... BESTIMME DIE KONFIGURATION EINES JEDEN POLYGONS
C
  DO 50 I = 1,N
  LA = 0
  DO 60 J = 1,4
  PQR(I,J) = 0.
  DO 60 K = 1,N
  POPKT(K,J) = UNEND
60 CONTINUE
  AMIN = UNEND
C
C BESTIMME DIE GEOMETRISCHE BEZIEHUNG VON STATION I ZU ALLEN
C ANDEREN STATIONEN
C
  DO 70 J = 1,N
  IF (J .EQ. I) GO TO 70
  PQR(J,4) = 0.
  SUMX = X(J) + X(I)
  SUMY = Y(J) + Y(I)
  DIFFX = X(J) - X(I)
  DIFFY = Y(J) - Y(I)
  PQR(J,1) = 2. * DIFFX
  PQR(J,2) = 2. * DIFFY
  PQR(J,3) = -DIFFX * SUMX - DIFFY * SUMY
  ABST = DIFFX * DIFFX + DIFFY * DIFFY
  IF (ABST .GT. AMIN) GO TO 70
  AMIN = ABST
C
C NST IST DIE NAECHSTE STATION
C
  NST = J
70 CONTINUE
  PQR(I,4) = 1.
  PQR(NST,4) = 2.
  PQRA = PQR(NST,1)
  PQRB = PQR(NST,2)
  PQRC = PQR(NST,3)
  IPONR(1,1) = I
  IPONR(1,2) = NST
  IPONR(1,3) = 2
C
C MIPOLI IST DER MITTELPUNKT DER LINIE NACH NST
C
  MIPOLI = (PQRA * (Y(I) + Y(NST)) - PQRB * (X(I) + X(NST))) / 2.
  ABMI(1,1) = UNEND
  ABMI(2,1) = UNEND
  NNEU = 1
  DO 80 J = 1,N
C
C BESTIMME DEN KUERZESTEN ABSTAND ZU MOEGLICHEN SCHNITTPUNKTEN
C
  CALL SNLIN(PQRA,PQRB,PQRC,PQR(J,1),PQR(J,2),PQR(J,3),
  . XSCHN,YSCHN,ABG,&80)
  SEK = PQRA * YSCHN - PQRB * XSCHN
  ABST = SEK - MIPOLI
  K = 1
  IF (ABST .GT. 0.) GO TO 6

```

```

K = 2
ABST = -ABST
6 IF (ABST .GT. ABMI(K,1)) GO TO 80
IAM(K) = J
ABMI(K,1) = ABST
ABMI(K,2) = XSCHN
ABMI(K,3) = YSCHN
80 CONTINUE
IF (ABMI(1,1) .EQ. UNEND .OR. ABMI(2,1) .EQ. UNEND) IPONR(1,3) = 1
7 LA = LA + 1

```

C
C
C

WENN ALLE ECKEN BESTIMMT, ZEICHNE POLYGON I

```

IF (LA .EQ. 3) GO TO 13
IF (ABMI(LA,1) .EQ. UNEND) LA = LA + 1
IF (LA .EQ. 3) GO TO 13
XAM = ABMI(LA,2)
YAM = ABMI(LA,3)
KL = IAM(LA)
NST = IPONR(1,2)
KO = 5 - 2 * LA
POPKT(1,KO) = XAM
POPKT(1,KO+1) = YAM
NNEU = NNEU + 1
POPKT(NNEU,1) = XAM
POPKT(NNEU,2) = YAM
IPONR(NNEU,1) = I
IPONR(NNEU,2) = KL
IPONR(NNEU,3) = 1
PQR(KL,4) = 1.
8 AMIN = UNEND

```

C
C
C
C

BESTIMME NAECHSTE POLYGONLINIE, NAECHSTE STATION UND NAECHSTEN
SCHNITTPUNKT

```

SEV = PQR(KL,1) * YAM - PQR(KL,2) * XAM
PQRX = PQR(NST,1) / 2.
PQRY = PQR(NST,2) / 2.
PQRZ = - (PQR(NST,2) * Y(NST) + PQR(NST,1) * X(NST)) / 2.
CALL SNLIN(PQR(KL,1),PQR(KL,2),PQR(KL,3),PQRX,PQRY,PQRZ,
. XSCHN,YSCHN,ABG,&13)
MIPOLI = PQR(KL,1) * YSCHN - PQR(KL,2) * XSCHN
MIPOLI = SIGN(1.,(SEV - MIPOLI))
DO 90 J = 1,N
IF (PQR(J,4) - 1.) 11, 90, 9
9 IF (NNEU .EQ. 2) GO TO 90
IF (J .EQ. NST) GO TO 90
11 CALL SNLIN(PQR(KL,1),PQR(KL,2),PQR(KL,3),
. PQR(J,1),PQR(J,2),PQR(J,3),XSCHN,YSCHN,ABG,&90)
SEK = PQR(KL,1) * YSCHN - PQR(KL,2) * XSCHN
ABST = SEV - SEK
IF (SIGN(1.,ABST) .EQ. MIPOLI .OR. ABS(ABST) .GT. AMIN) GO TO 90
AMIN = ABS(ABST)
XNS = XSCHN
YNS = YSCHN
IAM(1) = J
90 CONTINUE

```

C

```

C   FINDET SICH KEIN SCHNITTPUNKT MIT EINER ANDEREN
C   LINIE -> RUECKEKEHR ZUM MITTELPUNKT
C
  IF (AMIN .EQ. UNEND) GO TO 7
  IT = IAM(1)
  NNEU = NNEU + 1
  POPKT(NNEU,1) = XNS
  POPKT(NNEU,2) = YNS
  POPKT(NNEU-1,3) = XNS
  POPKT(NNEU-1,4) = YNS
  IPONR(NNEU,1) = I
  IPONR(NNEU,2) = IT
  IPONR(NNEU,3) = 1
  IPONR(NNEU-1,3) = 2
  IF (PQR(IT,4) .EQ. 2.) GO TO 12
  PQR(IT,4) = 1.
  XAM = XNS
  YAM = YNS
  NST = KL
  KL = IT
  GO TO 8
12  NNEU = NNEU - 1
  POPKT(1,1) = XNS
  POPKT(1,2) = YNS
C
C   ... ZEICHNE DIE STATIONSSYMBOLLE
C
13  CALL SYMBL4(X(I),Y(I),0.25,0.0,01,-1)
  DO 110 J = 1,NNEU
C
C   WENN ALLE STATIONEN BESTIMMT, ZEICHNE POLYGON I
C
  IF (IPONR(J,3) .NE. 1) GO TO 22
  NQ = IPONR(J,2)
  IF (POPKT(J,1) .NE. UNEND) GO TO 14
  POPKT(J,1) = POPKT(J,3)
  POPKT(J,2) = POPKT(J,4)
14  SLE = PQR(NQ,1) * POPKT(J,2) - POPKT(J,1) * PQR(NQ,2)
  IW = 0
C
C   INS UNENDLICHE LAUFENDE POLYGONLINIEN WERDEN
C   AM RAHMEN ABGESCHNITTEN, LINIENTEILE AUSSERHALB
C   WERDEN UNTERDRUECKT
C
  DO 120 K = 1,4
  CALL SNLIN(PQR(NQ,1),PQR(NQ,2),PQR(NQ,3),
  . ECKE(K,1),ECKE(K,2),ECKE(K,3),XS,YS,ABST,&120)
  SEZ = ECKE(K,1) * YS - ECKE(K,2) * XS
  IF (SEZ .NE. ECKE(K,4) .AND. SEZ .NE. ECKE(K,5)) GO TO 15
  IF (IW .EQ. 0) GO TO 16
  IF (SEZ .EQ. SEF(1,4)) GO TO 120
  GO TO 16
15  IF (SIGN(1.,(SEZ - ECKE(K,4))) .EQ. SIGN(1.,(SEZ - ECKE(K,5))))
  . GO TO 120
16  IW = IW + 1
  SEF(IW,1) = PQR(NQ,1) * YS - PQR(NQ,2) * XS
  SEF(IW,2) = XS
  SEF(IW,3) = YS

```

```

SEF(IW,4) = SEZ
IF (IW .EQ. 2) GO TO 17
120 CONTINUE
17 IF (SLE .EQ. SEF(1,1) .OR. SLE .EQ. SEF(2,1)) GO TO 18
   IF (SIGN(1.,(SLE - SEF(1,1))) .NE. SIGN(1.,(SLE - SEF(2,1))))
     . GO TO 19
18 POPKT(J,3) = POPKT(J,1)
   POPKT(J,4) = POPKT(J,2)
   GO TO 110
19 ZMP = (PQR(NQ,1) * (Y(I) + Y(NQ)) - PQR(NQ,2) *
   . (X(I) + X(NQ))) / 2.
   DO 130 K = 1,N
   CALL SNLIN(PQR(NQ,1),PQR(NQ,2),PQR(NQ,3),
   . PQR(K,1),PQR(K,2),PQR(K,3),XS,YS,ABST,&130)
   GO TO 21
130 CONTINUE
21 PQRP = -PQR(NQ,2)
   PQRQ = PQR(NQ,1)
   PQRr = PQR(NQ,2) * X(K) - PQR(NQ,1) * Y(K)
   CALL SNLIN(PQR(NQ,1),PQR(NQ,2),PQR(NQ,3),PQRP,PQRQ,PQRr,
   . XS,YS,ABST,&22)
   SEX = PQR(NQ,1) * YS - PQR(NQ,2) * XS
   MPL = SIGN(1.,(ZMP - SEX))
   IF (SIGN(1.,(SEF(1,1) - SLE)) .EQ. MPL) IW = 1
   POPKT(J,3) = SEF(IW,2)
   POPKT(J,4) = SEF(IW,3)
22 IF (IPONR(J,2) .LT. I) GO TO 110
C
C   ZEICHNE DAS POLYGONNETZ
C
   CALL PLOT(POPKT(J,1),POPKT(J,2),3)
   CALL PLOT(POPKT(J,3),POPKT(J,4),2)
110 CONTINUE
C
C   POLYGONDATENAUSGABE
C
   WRITE(6,800) ((POPKT(NB, NC), NC = 1,4),
   . (IPONR(NB, NC), NC = 1,3), NB = 1,NNEU)
50 CONTINUE
   WRITE(6,900)
C
C ... BEGRENZUNG DES ZEICHENFELDES AUF DAS MIT SCISS DEFINIERTE
C ... RECHTECK WIRD AUFGEHOBEN
C
   CALL SCOFF
C
C ... SCHLIESSEN DER MOMENTAN OFFENEN PLOTDATEI
C
   CALL FINTRA
   STOP
C
C ... FORMATANGABEN
100 FORMAT(2I3,4F6.2)
200 FORMAT(I5,2F5.2)
300 FORMAT(1H ,2F10.2)
400 FORMAT(1H ,/' KOORDINATEN DES EINZUGSGEBIETES'//)
500 FORMAT(2F6.2)

```

```

600 FORMAT(1H ,2F10.2)
700 FORMAT(1H ,/' KOORDINATEN DER STATIONEN'//)
800 FORMAT(1H ,4F10.4,3I6)
900 FORMAT(1H ,/' SPEZIFISCHE ANGABEN ZU DEN POLYGONEN'// (VERGL. SCH
. RAFT, A. (1982): EIN FORTRAN IV- PROGAMM ZUR KON-'' STRUKTION VON
. THIESSEN- POLYGONEN.- GEOL. JB. HESSEN, 110, '' WIESBADEN')
END

```

C

C

SUBROUTINE SNLIN(A,B,C,P,Q,R,X,Y,AB,*)

C

... SCHNEIDEN ZWEIER LINIEN

C

```

AB = A * Q - B * P
IF (ABS(AB) .LT. 1.E-3) RETURN 1
X = (B * R - C * Q) / AB
Y = (C * P - A * R) / AB
RETURN
END

```

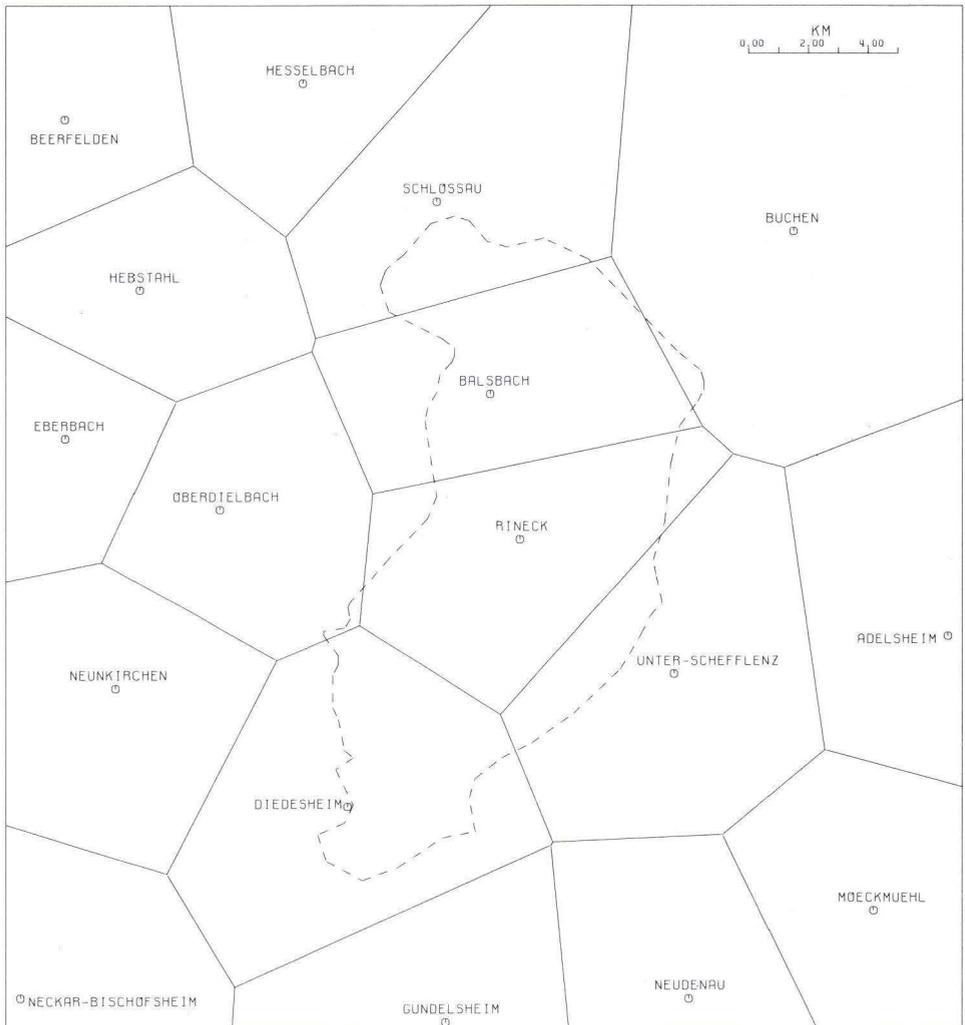


Abb. 1. Lage der Niederschlagsstationen zum Einzugsgebiet.

Hessisches Geologisches Schrifttum 1980 mit Nachträgen aus den Jahren 1966–1979

Bearbeitet von

ANNELIES HERZBERG*

Nachtrag aus dem Jahre 1966

FALKE, H. (1966): Das Unterperm zwischen der Nordsee und dem Alpenraum. – Atti del Symposium sul Verrucano, Pisa Settembre 1965: 324–354, 4 Abb.; Pisa (Soc. Toscana Sci. Nat.).

Nachtrag aus dem Jahre 1974

BRETH, H., & STROH, D. (1974): Das Verformungsverhalten des Frankfurter Tons beim Aushub einer tiefen Baugrube und bei der anschließenden Belastung durch ein Hochhaus. – Dt. Ges. Erd- u. Grundbau, Baugrundtagung in Frankfurt a.M.-Höchst am 10./11. 9. 1974: 51–98, 22 Abb. [Frankfurt a. M.]

MURAWSKI, H. (1974): Der Aufbau des Untergrundes von Frankfurt und seiner Umgebung als baugrundgeologisches Problem. – Dt. Ges. Erd- u. Grundbau, Baugrundtagung in Frankfurt a.M.-Höchst am 10./11. 9. 1974: 5–22, 7 Abb.

PRINZ, H. (1974): Gebäudeschäden in Tonböden infolge Austrocknung. – Dt. Ges. Erd- u. Grundbau, Baugrundtagung in Frankfurt a.M.-Höchst am 10./11. 9. 1974: 23–50, 11 Abb., 1 Tab. [Gießen, Wiesbaden, Offenbach a.M.]

Nachtrag aus dem Jahre 1975

GANGEL, L. (1975): Beziehungen zwischen Grundwasserabfluß und tektonischem Bau im Buntsandstein des nördlichen Odenwaldes (Kurzfassung). – Diss. Univ. Frankfurt a.M.: 1–8, 1 Beil.; Frankfurt a.M.

ILLIES, H. (1975): Rheingraben und Alpen: Wechselbeziehungen zwischen Taphrogenese und Orogenese. – Mitt. geol. paläont. Inst. Univ. Hamburg, **44**: 403–409, 3 Abb.; Hamburg.

ILLIES, J. H. (1975): Intra-plate rifting and the alpine system. – Inter-Union Geodynamics Report, **1** (14): 1–10, 5 Abb. [Oberrheintal]

NICKEL, E. (1975): Die geologische Position des kristallinen Odenwaldes. – Fortschr. Mineral., Beih., **53** (1): 61; Stuttgart.

RAWANPUR, A. (1975): Geologisch-tektonischer Bau des Michelstädter Grabens (Odenwald) und dessen Auswirkung auf das Grundwasser. – Diss. TH Darmstadt: 1–147, 25 Abb., 17 Tab., 1 Kt.; Darmstadt.

SMYKATZ-KLOSS, W. (1975): The DTA determination of the degree of (dis-) order of kaolinites: method and application to some kaolin deposits of Germany. – Proc. Intern. Clay Confer., July 16.–23. 1975, Mexico-City; 425–438; Mexico-City. [Westerwald]

* Dr. A. HERZBERG, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 6200 Wiesbaden.

WENTZEL, K.-F., & BÖHR, H.-J. (1975): Pflegeplanung im Naturschutzgebiet „Lampertheimer Altrhein“. – Jb. Naturschutz u. Landschaftspflege, **24**: 85–92; Bonn-Bad Godesberg.
Bericht über das Bergwesen im Lande Hessen für das Jahr 1975. – 67 S., 1 Abb., 15 Tab.; Wiesbaden (Hess. Oberbergamt) 1975.

Nachtrag aus dem Jahre 1976

- ARLT, H., & HEINRICI, J. (1976): Hydrogeologische Untersuchung für eine Trinkwassertalsperre im Ernstbachtal. – Mitt. TU Berlin, Nr. 86: 14, 1 Abb.; Berlin.
- BRECHTEL, H.-M. (1976): Forsthydrologisches Forschungsgebiet Krodorf. Exkursionsinformation. – Hess. forstl. Versuchsanst., Inst. Forsthydrol., 11 S.; Hann.-Münden.
- (1976): Influence of species and age of forest stands on evapotranspiration and groundwater recharge in the Rhine-Main-Valley. – Discussion paper, 16 IUFRO World Congress, Oslo, Norway, June 20 – July 2, 1976, 33 S.
- FALKE, H. (1976): The Continental Permian in Central, West, and South Europe. – VIII + 352 S., Abb., Tab.; Dordrecht (D. Reidel Publ. Co.).
- FAZAKAS, H. J. (1976): Geochemisch-lagerstättenkundliche Untersuchungen an Schwespatvorkommen des südwestdeutschen Grund- und Deckgebirges. – Diss. Univ. München: 1–76, 17 Abb., 8 Tab., 7 Beil.; München. [Odenwald, Spessart]
- GIMBEL, R., & WEINDEL, W. (1976): Ergebnisse chemischer und physikalischer Analysen des Rheinwassers im Jahre 1976. – Arb.-Gemeinschaft Rheinwasserwerke e. V., Jahresbericht, Teil 1: 17–44, 29 Abb., 5 Tab.; Düsseldorf.
- GUNDLACH, H., MOELLER, P., PAREKH, P. P., & STOPPEL, D. (1976): Zur Genese des Fluorit auf den Barytgängen des Südwest-Harzes. – Geol. Jb., **D 20**: 3–22, 7 Abb., 16 Analys., 1 Tab.; Hannover. [Betr. auch Raum Eschwege]
- HABERER, K. (1976): Die Rheinwasserqualität in Trockenjahren. – Wiss. Ber. Untersuchungen u. Planungen ESWE Stadtwerke Wiesbaden AG, **3**: 113–118, 4 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- & NORMANN, S. (1976): Entfernbarkeit organischer Stoffe aus Rheinwasser durch Fällung und Flockung. – Vom Wasser, **47**: 399–419, 6 Abb., 5 Tab.; Weinheim a.d.B.
- (1976): Vorbehandlung von Rheinwasser in offenen Becken für die nachfolgende Trinkwasseraufbereitung. – Wiss. Ber. Untersuchungen u. Planungen ESWE Stadtwerke Wiesbaden AG, **3**: 47–54, 2 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden.
- & WENDLING, I. (1976): Eine Versuchsanlage zur Bestimmung der Schadstoffeliminierung bei der Trinkwasseraufbereitung aus Rheinwasser. – Wiss. Ber. Untersuchungen u. Planungen ESWE Stadtwerke Wiesbaden AG, **3**: 141–149, 2 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- HAMMEL, H. (1976): Wasserwirtschaftliche Probleme im Ballungsgebiet Rhein-Main. – Wasserwirtsch., **66** (1/2): 30–36; Stuttgart.
- HUSMANN, S. (1976): Langsandsfilter als Lebensräume von Grundwassertieren; mit Befunden aus Wiesbaden-Schierstein. – Wiss. Ber. Untersuchungen u. Planungen ESWE Stadtwerke Wiesbaden AG, **3**: 83–92, 4 Abb.; Wiesbaden.
- Internationale Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung (Hrsg.) (1976): Langfristiges Arbeitsprogramm, Kurzfassung. – 135 S.; Koblenz.
- ISERMEYER, H. (1976): Der Chloridgehalt im Rhein und seine ökologische Bedeutung. – Wasser, Luft, Betrieb, **20** (12): 683–684; Mainz.
- KALWEIT, H. (1976): Auswirkungen der Urbanisierung auf die Wasserwirtschaft eines großen Flußgebietes – Modell Rhein. – Wasserwirtsch., **66** (1/2): 14–24; Stuttgart.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Hrsg.) (1976): Die Gewässergütekarte der Bundesrepublik Deutschland. – LAWA-Arb.-Gruppe Gewässergütekarte, 16 S., 1 Kt.; Mainz.
- LANGHEINRICH, G. (1976): Verformungsanalyse im Rhenoherynikum. – Geotekt. Forsch., **51**: I–II, 1–127, 63 Abb., 12 Tab., 8 Taf.; Stuttgart.
- LÜHR, H.-P., & MEHLHORN, H. (1976): Numerische Grundwassermodelle eingesetzt im Wasserwerk Schierstein. – Wiss. Ber. Untersuchungen u. Planungen ESWE Stadtwerke Wiesbaden AG, **3**: 101–112, 7 Abb.; Wiesbaden.
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Wiesbaden (Hrsg.) (1976): Sonderplan Abwasserbehandlung Region Rhein-Main-Taunus. – 84 S., 31 Abb., 2 Tab., 4Kt.; Wiesbaden (Hess. L.-Anst. Umwelt).

- SCHNEIDER, W. (1976): Geochemie und Hydrochemie des Flußgebietes der Diemel: unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle Kupfer, Zink und Blei. – Diss. Univ. Bochum, 114 S., Tab., 2 Kt.; Bochum.
- SCHULTE-IM-WALDE, W., & MEYER, B. (1976): Wärmeleitfähigkeits/Wassergehalts-Charakteristiken einer Griserde aus Würm-Löß und die Anwendung der Wlf-Methode bei der kontinuierlichen Verfolgung infiltrativer und evaporativer Wassergehaltsänderungen. – Göttinger bodenkdl. Ber., **44**: 53–107, 7 Abb., 4 Tab.; Göttingen. [Hess. Senke]
- SEEGERS, H. (1976): Rheinwasser – gestern, heute und morgen. Trinkwasser. 25 Jahre Arbeit am Rhein. – Arb.-Gemeinschaft Rheinwasserwerke e.V., 39 S., 16 Abb.; Düsseldorf.
- VEH, G. M. (1976): Alle Kaliabwässer Deutschlands fließen in die Weser. – Weser, **50** (7): 148–150; Bremen.
- WITTKÉ, W. (1976): Neues Entwurfskonzept für untertägige Hohlräume in klüftigem Fels. – Veröff. Inst. Grundbau, Bodenmech., Felsmech., Rhein-Westf. TH Aachen, **1**: 48–116, 40 Abb., 4 Tab.; Aachen. [Rheinisches Schiefergebirge]

Nachtrag aus dem Jahre 1977

- ACKERMANN, E. (1977): Zeitliche und räumliche Gliederung der Rutschfließungen an der Wellenkalk-Schichtstufe. – Exkursionsführer Geotagung '77, II, Exk. L: 113–120, 4 Abb.; Göttingen. [Raum Eschwege]
- BEBIEN, J., ROCCI, G., FLOYD, P. A., JUTEAU, T., & SAGON, J. P. (1977): Le volcanisme Devon-Dinantien element determinant dans la reconstitution du cadre geotectonique de l'Europe moyenne varisque. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 275–291, 6 Abb.; Paris. [Lahn-Dill-Gebiet]
- BERNARD, A. J. (1977): Essai typologique et cadre geo-tectonique des gisements volcanosedimentaires d'age Devon-Dinantien de l'Europe occidentale. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 293–311, 11 Abb.; Paris. [Lahn-Dill-Gebiet]
- BURRETT, C., & GRIFFITHS, J. (1977): A case for a Mid-European Ocean. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 313–328, 9 Abb., Paris. [Unterwerra-Sattel, Odenwald, Spessart]
- DVORAK, J., MIROUSE, R., PAPROTH, E., PELHATE, A., RAMSBOTTOM, W. H. C., & WAGNER, R. H. (1977): Relations entre la sedimentation Eodevono-Carbonifère et la tectonique varisque en Europe centrale et occidentale. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 241–273, 18 Abb.; Paris.
- FRANKE, D. (1977): mit Beitr. v. KRULL, P., & PFEIFFER, H.: Paleogeographic and tectonic development of the external zones of the central European variscides and their northern foreland. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 515–529, 6 Abb.; Paris.
- FRIEDRICH, K. (1977): Preußenelektra plant Wiederaufnahme des Braunkohlenabbaus auf dem Meissner. – Braunkohle – Wärme – Energie, **29** (4): 155–162, 5 Abb., 6 Tab.; Düsseldorf.
- GAERTNER, H. R. v. (1977): Le seuil cristallin entre le Rheno-Hercynien et le Saxo-Thuringien et sa continuation vers l'est et vers l'ouest. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 644; Paris.
- KRAUSS, I. (1977): Das Einschwingverfahren – Transmissivitätsbestimmung ohne Pumpversuch. – Gas- u. Wasserf., **118** (9): 407–410, 5 Abb., 1 Tab.; München. [Vogelsberg]
- MATTHES, S., & OKRUSCH, M. (1977): The Spessart crystalline complex, north-west Bavaria: rock series, metamorphism, and position within the central German crystalline rise. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 375–390, 6 Abb.; Paris.
- MICHEL, G. (1977): Bericht über die Tagung „Grenzen der Grundwassernutzung“ vom 20.–23. April 1977 in Kassel. – Z. dt. geol. Ges., **128** (2): 243–246; Hannover.
- NOWAK, H. J., & KESHAV, N. C. (1977): Zur Erdöl- und Erdgasexploration in der Bundesrepublik Deutschland. – Erdöl-Erdgas-Z., **93** (9): 296–303, 6 Abb., 7 Tab.; Wien.
- RAUMER, J. v. (1977): Le cristallin de l'Odenwald. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 643–644; Paris.

- REINHARDT, M., & WEBER, P. (1977): Gebirgsbedingte Erschwernisse beim maschinellen Stollenvortrieb im verkarsteten devonischen Massenkalk. – Bautechn., **54** (5): 169–174, 11 Abb.; Berlin. [Rhein. Schiefergebirge]
- ZOUBEK, V., & VYSKOCIL, V. (1977): Le champ gravimétrique anomal en relation aux structures géologiques de l'Europe centrale. – In: La chaîne varisque d'Europe moyenne et occidentale. Coll. intern. CNRS, Rennes, **243**: 359–369, 2 Abb.; Paris. [Karte der Bouguer-Anomalien in Zentral-Europa]
- Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode: Dienstleistungsbetrieb für den Umweltschutz. – Werkz. d. Kali und Salz AG, Nr. 2–3: 7–12, 20 Abb.; Kassel 1977.
- Unterbringung flüssiger Industrieabfälle tief in der Erde. – Umweltschutz-Dienst, **7** (24): 11; Düsseldorf 1977. [Hess. Senke]
- Verbesserung der Umweltverhältnisse auf dem Rhein. 1. Teil: Sanierung der Altrheine. – (6), 73 S.; Wiesbaden (Hess. Minist. Landwirtsch. u. Umwelt) 1977.

Nachtrag aus dem Jahre 1978

- BURBA, P., GLEITSMANN, B., & LIESER, K. H. (1978): Abtrennung und Röntgenfluoreszenzanalyse von gelöstem Uran aus natürlichem Wasser mittels Celluloseaustauscher (am Beispiel natürlicher Wasserproben). – Z. anal. Chem., **289**: 28–34; Berlin – Heidelberg – New York (Springer). [Odenwald]
- CELAL SENGÖR, A. M., BURKE, K., & DEWEY, J. F. (1978): Rifts at high angles to orogenic belts: Tests for their origin and the Upper Rhine Graben as an example. – Amer. J. Sci., **278**: 24–40; New Haven (Sterling Tower).
- FLICK, H., & WEISSENBACH, N. (1978): Magmatische Würfelquarze in Rhyolithen (Quarzkeratophyren) des Rheinischen Schiefergebirges. – Tscherms mineral. petrogr. Mitt., **25**: 117–129; Wien – New York (Springer).
- KAHLE, H. G., & WERNER, D. (1978): Density anomalies under the Rhinegraben Rift zone. – Skr. Lab. fys. Geogr. geol. Inst. Aarhus Univ., **10**: 215; Aarhus.
- NEIZERT, C. (1978): Feuerfeste und keramische Tone in der Bundesrepublik Deutschland. – Keramik-Z., **30**: 243–244; 1 Abb.; Freiburg i. Br.
- Großer Westerwald-Führer. – 9. Aufl. 839 S.; Stuttgart (Deutscher Wanderverlag) 1978.
- Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. – VII + 29 S., 103 Kt., 12 Diagr., Boppard (Boldt) 1978.

Nachtrag aus dem Jahre 1979

- BACKHAUS, E. (1979): Zur Sedimentologie und Sedimentpetrographie des Buntsandsteins und unteren Muschelkalks im Odenwald. DMG-Tagung 1979, Exkursion V1. – Fortschr. Mineral, **57**, Beih. 1: 3–22, 9 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- BENDER, P., & HOMRIGHAUSEN, R. (1979): Die Hörre-Zone. – In: Exkursion A 5 (16.–18. Sept. 1979) in das Lahn-Dill-Gebiet (Rheinisches Schiefergebirge): 24–26, 1 Abb.; 1 Tab.; Marburg (Inst. Geol. Paläont. Philipps-Univ.).
- & VOUTTA, U. (1979): Das Oberdevon im Gebiet von Amönau (nordöstliche Dillmulde). – In: Exkursion A 5 (16.–18. Sept. 1979) in das Lahn-Dill-Gebiet (Rheinisches Schiefergebirge): 72–74, 1 Abb.; Marburg (Inst. Geol. Paläont. Philipps-Univ.).
- BONJER, K.-P. (1979): The seismicity of the Upper Rhinegraben as an expression of active tectonics and their deeper origin. – Allgem. Verm.-Nachr. (AVN), **86** (10): 383–386, 3 Abb.; Karlsruhe.
- BREY, G., STAUDIGEL, H., & SPETTEL, B. (1979): Neogene primäre Basalte in Deutschland: Spurenelement- und Isotopengeochemie. – Fortschr. Mineral., **57**, Beih. 1: 172–174, 2 Abb.; Stuttgart.
- BROUSSE, R., & WIMMENAUER, W. (1979), mit Beitr. von BERGER, E., CLOCCHIATI, R., EHRENBERG, K. H., HERNANDEZ, J., KELLER, J., MAGANTHIER, M.-C., MAURY, R. C., SCHMINCKE, H.-U., THONAT, A., VELDE, D., & SAINT-OURS, P. DE: Le volcanisme alcalin lié aux distensions cénozoïques de l'Ouest Européen (Massif Central, Fossé Rhénan), Livret-guide d'excursion. – Extr. Sci. de la Terre, **23**, Nr. 3, 60 S., 26 Abb., 9 Tab.; Nancy. [Vogelsberg]

- BRUNNENGRÄBER, R. (1979): HCH-Rückstände im Hessischen Ried – nur ein Giftmilchmärchen? – Umschau, **79** (11): 347–354, 5 Abb., 6 Tab., Frankfurt a. M.
- BÜSCH, W., MATTHES, S., & SCHUBERT, W. (1979): Zur Genese der Kinzigite von Gadernheim/Odenwald und Schenkenzell/Schwarzwald. – Fortschr. Mineral., **57**, Beih. 1: 22–23, 1 Tab.; Stuttgart.
- DIMITROULA, M., & PAULITSCH, P. (1979): Erz zonen im Frankenstein-Massiv. DMG-Tagung 1979, Exkursion V2₂. – Fortschr. Mineral. **57**, Beih. 1: 48–51, 2 Abb.; Stuttgart.
- HEIN, G. W., & KISTERMANN, R. (1979): On the problem of deriving recent crustal movements from geodetic levelling data. – Allgem. Verm.-Nachr. (AVN), **86** (10): 392–398, 5 Abb., 1 Tab., Karlsruhe. [Oberrheingraben]
- HINRICH, H. (1979): Die Schwebstofffracht des Rheins. – Beitr. Rheinkde., **31**: 61–66, 3 Abb.; Koblenz.
- HOMRIGHAUSEN, R. (1979): Sandige Gesteine des Oberdevons der südwestlichen Wittgensteiner Hauptmulde (TK Nr. 5016 Laasphe). – In: Exkursion A 5 (16.–18. Sept. 1979) in das Lahn-Dill-Gebiet (Rheinisches Schiefergebirge): 68–71, 1 Abb.; 1 Tab.; Marburg (Inst. Geol. Paläont. Philipps-Univ.).
- ILLIES, J. H. (1979): Rhinegraben: Shear controlled vertical motions of the Graben Floor. – Allgem. Verm.-Nachr. (AVN), **86** (10): 364–367, 1 Abb.; Karlsruhe.
- KNAPP, G. (1979): Neue paläolithische Funde im nordöstlichen Taunus. – Oberhess. naturwiss. Z., **45**: 21–33, 7 Abb.; Gießen.
- KNAPP, R. (1979): Zusammensetzung und Dynamik xerophiler Laubwälder im mittleren Hessen. – Oberhess. naturwiss. Z., **45**: 43–56, 1 Abb., 4 Tab.; Gießen.
- KOBUS, H. (1979): Wassernutzung für Kühlzwecke. – Wasserwirtsch., **69** (5): 145–149, 4 Abb.; Stuttgart. [Oberrhein]
- KRAJEWSKI, C. (1979): Rheinchronik 1978. – Beitr. Rheinkde., **31**: 70–73; Koblenz.
- LUSZNAT, M. (1979): Südostflanke des Siegerländer Antiklinoriums im Übergang zur Dillmulde zwischen Wissenbach und Offdilln. – In: Exkursion A 5 (16.–18. Sept. 1979) in das Lahn-Dill-Gebiet (Rheinisches Schiefergebirge): 61–67, 1 Abb., 1 Tab.; Marburg (Inst. Geol. Paläont. Philipps-Univ.).
- MALZER, H., & ZIPPELT, K. (1979): Local height changes in the Rhenish Massif area. – Allgem. Verm.-Nachr. (AVN), **86** (10): 402–405, 3 Abb.; Karlsruhe.
- MEYER, W. (1979): Influence of the Hercynian structures on Cainozoic movements in the Rhenish Massif. – Allgem. Verm.-Nachr. (AVN), **86** (10): 375–377, 1 Abb.; Karlsruhe.
- MNICH, J. (1979): Das mittlere Diemeltal bei Marsberg und seine angrenzenden Hochflächen. Eine geomorphologische Detailkartierung. – Diss. Univ. Bonn, 355 S.; Bonn.
- NICKEL, E. (1979): Ein geologischer Führer für den Odenwald: Bilanz und Ausblick. – Fortschr. Mineral., **57**, Beih. 1: 109–110; Stuttgart.
- NICOLAS, J., & BILDGEN, P. (1979): Relations between the location of the karst bauxites in the Northern Hemisphere, the global tectonics and the climatic variations during geological time. – Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., **28**: 205–239, 12 Abb.; Amsterdam (Elsevier). [Vogelsberg]
- OLIVEIRA, J. T., HORN, M., & PAPROTH, E. (1979): Preliminary note on the stratigraphy of the Baixo Alentejo Flysch Group, Carboniferous of Southern Portugal and on the palaeogeographic development, compared to corresponding units in Northwest Germany. – Communic. Serv. Geol. Portugal, **65**: 151–168, 5 Abb., 3 Tab., 4 Taf.; Lissabon.
- PAULITSCH, P. (1979): Zur Korngefügefazies im Odenwald. DMG-Tagung 1979, Exkursion V2₁. – Fortschr. Mineral., **57**, Beih. 1: 23–47, 16 Diagr.; Stuttgart.
- PFEIFFER, S. (Hrsg.) (1979): Das Naturschutzgebiet Kühkopf – Knoblochsau. – 4. Aufl., 190 S., 52 Abb., 1 Kt.; Frankfurt a. M. (Strobach).
- PRINZ, H. (1979): Ingenieurgeologische Probleme an der DB-Neubaustrecke Hannover–Würzburg in Osthessen. – Ber. 2. nat. Tag. Ing.-Geol.: 93–101, 13 Abb.; Fellbach.
- REQUADT, H. (1979): Überblick über die Geologie der südwestlichen Lahnmulde. – In: Exkursion A 5 (16.–18. Sept. 1979) in das Lahn-Dill-Gebiet (Rheinisches Schiefergebirge): 3–23, 12 Abb., 1 Tab.; Marburg (Inst. Geol. Paläont. Philipps-Univ.).

- SCHMITT, T. J. (1979): In situ stress profile through the Alps and foreland. – *Allgem. Verm.-Nachr. (AVN)*, **86** (10): 367–370, 1 Abb.; Karlsruhe. [Oberrheingraben]
- SCHNEIDER, G. (1979): Seismotectonic movements inside the southern German triangle. – *Allgem. Verm.-Nachr. (AVN)*, **86** (10): 379–382, 2 Abb.; Karlsruhe.
- SCHUBERT, W. (1979): Metamorphe Gesteinsserien im Bergsträsser Odenwaldkristallin. DMG-Tagung 1979, Exkursion N 1. – *Fortschr. Mineral.*, **57**, Beih. 1: 52–63, 3 Abb.; Stuttgart.
- SCHWARZ, E. (1979): Ground water level and height changes in the northern Upper Rhinegraben. – *Allgem. Verm.-Nachr. (AVN)*, **86** (10): 399–402; Karlsruhe.
- SEMMEL, A. (1979): Geomorphological criteria for recent tectonic – A discussion of examples from the northern Upper Rhine area. – *Allgem. Verm.-Nachr. (AVN)*, **86** (10): 370–374, 3 Abb.; Karlsruhe.
- TIPPNER, M. (1979): Schwebstoffmessungen im Rhein vor 125 Jahren. – *Beitr. Rheinkde.*, **31**: 67–68; Koblenz.
- TODT, W. (1979): U-Pb-Datierungen an Zirkonen des kristallinen Odenwaldes. – *Fortschr. Mineral.*, **57**, Beih. 1: 153–154; Stuttgart.
- WALGENWITZ, F., MAGET, R., TIETZE, R., & NEEB, I. (1979): Synthèse géothermique de Fossé rhenan supérieur. – *Serv. géol. region. Alsace*, 101 S., 11 Abb., 1 Kt.; Strasbourg.
- WESTRUP, J. (1979): Nachsetzungen infolge sinkender Grundwasser Oberfläche. – *Ber. 2. nat. Tag. Ing.-Geol.*: 309–313, 5 Abb.; Fellbach. [Ried]
- ZIEGLER, W. (1979): Vorwort. – In: Exkursion A 5 (16.–18. Sept. 1979) in das Lahn-Dill-Gebiet (Rheinisches Schiefergebirge): 1–2; Marburg (Inst. Geol. Paläont. Philipps-Universität). [Lahn-Dill-Gebiet]
- Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Rheingebiet (einschließlich Anteile von Maas u. Vechte). Abflußjahr 1975. – 243 S., 5 Kt.; Mainz (L.-Amt Gewässerkde. Rheinland-Pfalz) 1979.
- Fische im hessischen Rheinstromgebiet sind genießbar. – *Wasser u. Boden*, **31** (6/7): 198; Hamburg – Berlin 1979.
- Hessen. Jahresbericht der Wasserwirtschaft, Rechnungsjahr 1978. – *Wasser u. Boden*, **31** (6/7): 169–172, 3 Abb., Hamburg – Berlin 1979.
- Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Textband: XIII + 365 S., 101 Abb.; 70 Tab.; Boppard (Boldt) 1979.
- Neue Wassergütekarte der Rheinwasserwerke. – *Wasserwirtsch.*, **69** (7/8): 264–265; Stuttgart 1979.
- Sonderplan für die Abwasserbehandlung in der Region Osthessen. – *Wasserwirtsch.*, **69** (6): 208; Stuttgart 1979.

1980

- ALTHEN, G. W., RUSBÜLT, J., & SEEGER, J. (1980): Ergebnisse einer regionalen Neubearbeitung des Muschelkalks der DDR. – *Z. geol. Wiss.*, **8** (8): 985–999, 7 Abb., 1 Tab.; Berlin.
- ANDERLE, H.-J., & MEISL, S. (1980): Outline of geology and mineralogy of the southern Taunus Mountains. – In: WEBER, K. (Hrsg.), *Guide to Exkursion Rheinisches Schiefergebirge*, April 12–14, 1980, International Conference on the Effect of Deformation on Rocks: 50–55, 1 Abb., 1 Tab.; Göttingen (Geol. Paläont. Inst.).
- Arbeitsgemeinschaft Hydrogeologie der Geologischen Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (1980): Erfahrungen mit klassischen und modernen Bohrmethoden bei der Erschließung von Grundwasser. – *Geol. Jb.*, **C 25**: 3–56, 3 Tab.; Hannover. [Rechtsgrundlagen, auch von Hessen]
- ARENS, H. J. (1980): Grundwassernutzung in der Bundesrepublik Deutschland. – *Gas- u. Wasserf.*, **121** (8): 375–379, 2 Tab.; München.
- ASSMANN, W., & PICKEL, H.-J. (1980): Ein neues Thermalsolevorkommen im Mittleren Buntsandstein Nordhessens: die Thermalsolebohrung Kassel-Wilhelmshöhe 3. – *Brunnenbau – Bau von Wasserwerken – Rohrleitungsbau*, **31** (5): 216–225, 7 Abb., 3 Tab.; Köln.
- AUST, H., VIERHUFF, H., & WAGNER, W. (1980): Grundwasservorkommen in der Bundesrepublik Deutschland. – *Schr.-R. „Raumordnung“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau*, **O 43**, 64 S., 19 Abb., 12 Tab., 3 Kt.; Braunschweig.
- BAALBAKI, M.-A. (1980): Zur bodenmechanischen Beurteilung lateritischer Zersetzungsprodukte von Vogelsbergbasalten. – *Gießener geol. Schr.*, **24**, 152 S., 80 Abb., 19 Tab.; Gießen.

- BACKHAUS, E. (1980): Relikte des Zechstein-3-Karbonats, (Ca₃, Plattendolomit) im Odenwald. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 95–102, 4 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- (1980): Zu Fragen der Nomenklatur und der Gliederung nach Formationen im Rotliegenden, Zechstein und Buntsandstein. – Newsl. Stratigr., **9** (2) 105–113; Berlin – Stuttgart.
- GRAMANN, F., KAEVER, M., LEPPER, J., LOHMANN, H. H., MEIBURG, P., PREUSS, H., RAMBOW, D., & RITZKOWSKI, S. (1980): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Reinhardswaldes 1:50 000, 32 S., 10 Abb.; Wiesbaden.
- & SCHWEISS, D. (1980): Aluminosilikate als Indikatoren für die Perm/Triasgrenze in Südwestdeutschland. – Nachr. dt. geol. Ges., **23**: 28; Hannover.
- BARGON, E. (1980): Tätigkeitsbericht des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung für das Geschäftsjahr 1979 (1.1.–31. 12. 1979). – Geol. Jb. Hessen, **108**: 255–273; Wiesbaden.
- BARTZ, J. (1980): Der Oberrheingraben im Jungtertiär und Quartär. – Nachr. dt. geol. Ges., **23**: 1–3; Hannover.
- BAUMGARTE, D., BUSSE, E., & HORN, M. (1980): Muschelkalk und Lias des Homberger Grabens (Nordhessen). – Geol. Jb. Hessen, **108**: 121–138, 4 Abb.; Wiesbaden.
- BEBIEN, J., GAGNY, C., & ROCCI, G. (1980): La place du volcanisme dévono-dinantien dans l'évolution magmatique et structurale de l'Europe moyenne varisque au Paléozoïque. In: Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires posthercyniens. – Ann. Soc. Géol. du Nord, **99**: 213–225, 5 Abb.; Villeneuve d'Ascq.
- BEHR, H. J., WALLISER, O. H., & WEBER, K. (1980): The development of the Rheno-hercynian and Saxo-thuringian zones of the mid-European Variscides. In: Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires posthercyniens. – Ann. Soc. Géol. du Nord, **99**: 77–89, 3 Abb.; Villeneuve d'Ascq.
- & WEBER, K. (1980): The structural and metamorphic development of the Variscides with special regard to the Rhenohercynian and Saxothuringian zones. – In DFG: Mobile earth: Internat. Geodynamics Project, final report of the Federal Republic of Germany: 196–203, 3 Abb.; Boppard (Boldt).
- BELKE, D., & EULER G. (1980): Nutzraumbestimmung für eine Talsperre mit hohen Versickerungsverlusten. – Wasser u. Boden, **32** (2): 56–59, 4 Abb.; Hamburg – Berlin. [Eichelbachtalsperre i. Vogelsberg]
- BERGMANN, H., & HELLMANN, H. (1980): Beobachtung einer Schadstoff-(Endosulfan-)Welle im Rhein unter Einsatz eines automatischen Probennehmers. – Dt. gewässerkdl. Mitt., **24** (1): 31–32, 1 Abb., 1 Tab.; Koblenz.
- BERNERTH, H., & TOBIAS, W. (1980): Der Untermain – ein flußökologisches Portrait. – Kleine Senckenberg-R., **10**: 1–64; Frankfurt a. M.
- BEUTLER, G. (1980): Beitrag zur Stratigraphie des Unteren und Mittleren Keupers. – Z. geol. Wiss., **8** (8): 1001–1018, 5 Abb., 2 Tab.; Berlin.
- BLESS, M. J. M., BOUCKAERT, J., CONIL, R., GROESSENS, E., KASIG, W., PAPROTH, E., POTY, E., VAN STEENWINKEL, M., STREEL, M., & WALTER, R. (1980): Pre-Premian depositional environments around the Brabant Massif in Belgium, the Netherlands and Germany. – Sedimentary Geology, **27** (1): 1–81, 50 Abb.; Amsterdam – Oxford – New York (Elsevier).
- BLOHM, E.-K., & HOMILIUS, J. (1980): Geoelektrische Tiefensondierungen mit großen Auslagen. – Geol. Jb., **E 19**: 39–68, 16 Abb., 2 Tab.; Hannover. [Betr. auch Hessen]
- BÖRNERT, W. (1980): Die Werra – ein sterbender Fluß?. – Natur u. Mus., **110** (8): 242–251, 10 Abb., 3 Tab.; Frankfurt a.M.
- BOHN, U., & LOHMEYER, W. (1980): Solitärer Bäume als lebende Gestaltelemente in den landwirtschaftlich genutzten Gebieten der Rhön, des Vogelsberges und des Westerwaldes. – Natur u. Landsch., **55** (9): 355–361, 14 Abb.; Köln.
- BROSCHKE, K.-U., & WALTHER, M. (1980): Lößprofile von Vaake (Bl. 4523 Münden) und Albungen (Bl. 4725 Bad Sooden-Allendorf) in Nordhessen. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 143–150, 2 Abb.; Wiesbaden.
- BRÜNING, H. (1980): Die eiszeitliche Tierwelt von Mosbach. Ihre Umwelt – Ihre Zeit. – Museumsführer Nr. 6, 60 S., 38 Abb.; Mainz.

- BRUNOTTE, E., & GARLEFF, K. (1980): Tectonic and climatic factors of landform development on the northern fringe of the German Hill Country (Deutsche Mittelgebirge) since the early Tertiary. – *Z. Geomorphol., NF, Suppl.-Bd.* **36**: 104–112, 4 Abb.; Berlin-Stuttgart.
- BÜSCH, W., MATTHES, S., MEHNERT, K. R., & SCHUBERT, W. (1980): Zur genetischen Deutung der Kinzigite im Schwarzwald und Odenwald. – *N. Jb. Mineral., Abh.*, **137** (3): 223–256, 13 Abb., 4 Tab.; Stuttgart.
- BUGGISCH, W., RABIEN, A., & HÜHNER, G. (1980): Das Oberdevon im Rinkenbach-Tal S Oberscheld (Conodonten- und Ostracoden-Stratigraphie, Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge). – *Geol. Jb. Hessen*, **108**: 43–94, 5 Abb., 12 Tab.; Wiesbaden.
- BUHSE, G. (1980): Fischereibiologische Untersuchungen in der Oberweser. – *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, **43**: 1–226, 55 Abb., 18 Tab.; Frankfurt a.M.
- BUSSE, E. (1980): Ein Aufschluß im tiefsten Wellenkalk bei Reichenbach (Bl. 4824 Hessisch Lichtenau). Zur Grenzziehung Röt/Wellenkalk in Niederhessen. – *Geol. Jb. Hessen*, **108**: 111–119, 1 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden.
- CALVEZ, J.-Y., & LIPPOLT, H. J. (1980): Strontium Isotope Constraints to the Rhine Graben Volcanism. – *N. Jb. Mineral., Abh.*, **139** (1): 59–81, 9 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- DIEDERICH, G., FRINGS, H., HEITTELE, H., HEYL, K. E., HOLDERMANN, D., HUPPMANN, O., JOACHIM, H., OLSCHOCK, W.-J., TOUSSAINT, B., VILLINGER, E., VOIGT, H., & WÖRNER, U. (1980): Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum, Analyse des Ist-Zustandes. – 71 S., 12 Abb., 10 Tab., 14 Anl.; Stuttgart (Min. Ernähr. Landwirtschaft, Umwelt u. Forsten) – Wiesbaden (Minist. Landesentwickl., Umwelt, Landwirtschaft u. Forsten) – Mainz (Minist. Landwirtschaft, Weinbau u. Forsten).
- & HÖLTING, B. (1980): Grundwasserdargebot in Hessen. – *Geol. Jb. Hessen*, **108**: 197–202, 1 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- DOCKTER, J., PUFF, P., SEIDEL, G., & KOZUR, H. (1980): Zur Triasgliederung und Symbolgebung in der DDR. – *Z. geol. Wiss.*, **8** (8): 951–963, 7 Tab.; Berlin.
- DOEBL, F., MARTINI, E., SONNE, V., & WEILER, H. (1980): Mikrofauna und -flora des Unteren Meeressandes (Rupel). 2. Sandgrube am „Zeilstück“ bei Alzey–Weinheim (Mainzer Becken). – *Mainzer geowiss. Mitt.*, **8**: 31–71, 14 Abb., 6 Tab.; Mainz.
- DÖRHÖFER, G., & JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. – *Geol. Jb.*, **C 27**: 45–65, 13 Abb., 1 Tab.; Hannover. [Nordhessen]
- ECKOLDT, M. (1980): Die Lahn als Wasserstraße in ihrer geschichtlichen Entwicklung. – *Beitr. Rheinkde.*, **32**: 15–26, 10 Abb., Koblenz.
- EIKAMP, H. (1980): Ein erster Froschfund aus den Untermiozänen Hydrobienschichten des Dyckerhoff-Steinbruchs „Am Hammbusch“ in Wiesbaden-Amöneburg. 1. Nachtrag zur Wirbeltierfauna eines aquitanen Fundpunktes im Tertiär des Mainzer Beckens. – *Aufschluss*, **31**: 591–598, 6 Abb.; Heidelberg.
- EXLER, H. J., FAUTH, H., GOLWER, A., & KÄSS, W. (1980): Untersuchung und Bewertung der Grundwasserbeschaffenheit in der Umgebung von Ablagerungsplätzen. – *Müll u. Abfall*, **2**: 33–39; Berlin – Bielefeld – München. [Beispiele aus Hessen]
- FAHLBUSCH, K. (1980): Die geologischen Grundlagen der alten Wasserversorgung Darmstadts. – *Geol. Jb. Hessen*, **108**: 223–240, 5 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden.
- (1980): Ursachen der Höhenveränderungen im nördlichen Oberrheingraben (Beobachtungszeitraum 1967/1977). – *Nachr. dt. geol. Ges.*, **23**: 5–6; Hannover.
- HEIN, G., & KISTERMANN, R. (1980): Rezente Bewegungen im nördlichen Oberrheingraben. Verknüpfung von Meßdaten aus Geodäsie, Geologie und Bodenmechanik. – *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, **1980**: 460–476, 6 Abb., 6 Tab.; Stuttgart.
- FETTEL, M., & SCHNELLBÄCHER, K. (1980): Eine Paragenese mit Betechnit im nordwestlichen Odenwald. – *Aufschluß*, **31**: 134–140, 2 Abb.; Heidelberg.
- FICKEL, W. (1980), mit Beitr. v. ASTHALTER, K., & THIELICKE, G.: Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25 000, Blatt Nr. 5717 Bad Homburg v. d. Höhe, 99 S., 8 Tab., 8 Prof.; Wiesbaden.
- FINKENWIRTH, A., & JOHNSON, G. (1980): Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode bei Heringen/Werra. – *Northern Ohio Geol. Soc., Inc. c/o Dep. Geol. Case Western Reserve Univ.*: 239–249; Cleveland, Ohio, 44 106 USA.

- FLICK, H., & SCHWEIZER, V. (1980): Geologische Miniaturen. Beobachtungen an Lebensspuren aus dem Buntsandstein des Neckartales. – Aufschluß, **31**: 229–234, 5 Abb.; Heidelberg. [TK 25 Nr. 6520 Zwingenberg]
- (1980): Tonsteineinschlüsse mit Strömungsmarken aus dem Buntsandstein des Neckartales. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 103–109, 3 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- FLUCK, P., MAASS, R. & RAUMER, J. F.v. (1980): The Variscan units east and west of the Rhine graben. In: Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires posthercyniens. – Ann. Soc. Géol. du Nord, **99**: 113–131, 5 Abb.; Villeneuve d'Ascq.
- FRANKE, W., & PAUL, J. (1980): Pelagic redbeds in the Devonian of Germany – deposition and diagenesis. – Sedimentary Geology, **25** (3): 231–256, 8 Abb., 2 Tab.; Amsterdam.
- FRANZEN, J. L. (1980): Neues aus Messel. – Mineralien-Magazin, **3** (7): 379; Stuttgart.
- (1980): Urpferdchen und Krokodile. Messel vor 50 Millionen Jahren. – Kleine Senckenberg-R., **7** (2. erweit. Aufl.): 1–40; Frankfurt a.M.
- FUCHS, K. (1980): The subcrustal lithosphere – mechanical properties, differentiation and dynamical processes. – In DFG: Mobile earth: Internat. Geodynamics Project, final report of the Federal Republic of Germany: 241–253, 6 Abb., 1 Tab.; Boppard (Boldt). [Rheingraben]
- FÜRST, M., BORNEFF, J., & BRASSER, T. (1980): Hydrogeologische und hydroökologische Untersuchungen im Zuge der geplanten Ostumgehung von Darmstadt. – Mainzer geowiss. Mitt., **9**: 87–116, 19 Abb., 8 Tab.; Mainz.
- GEORG, F. W. (1980): Breitscheid und die Probleme der Westerwaldlandschaft. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **41**: 261–265; Frankfurt a. M.
- GIMBEL, R., SIEDERSLEBEN, J., & SONTHEIMER, H. (1980): Beschreibung des Zustandes von Fließgewässern nach der IAWR-Methode. – Gas- u. Wasserf., **121** (9): 428–437, 8 Abb., 9 Tab.; München. [Rhein]
- GOLWER, A., MATTHESS, G., & SCHNEIDER, W. (1980): Chemical, microbiological and physical process in polluted groundwater. – Nuclear techniques in groundwater pollution research: 113–124, 6 Abb., 1 Tab.; Wien (IAEA). [Beispiele aus Hessen]
- & SEMMEL, A. (1980), mit Beitr. v. ANDERLE, H.-J., MÜLLER, K.-H., PLASS, W., PLAUMANN, S., REUL, K., & ULRICH, H.-J.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Nr. 5917 Kelsterbach, 3. Aufl., 221 S., 17 Abb., 17 Tab., 3 Taf., 2 Beibl.; Wiesbaden.
- GRÄSSL, S., & OESBERG, R.-P. (1980): Laterale Geschwindigkeitsinhomogenitäten im oberen Erdmantel Europas. – Z. geol. Wiss., **8** (4): 475–488, 11 Abb.; Berlin.
- GREINER, G. (1980): Der Rheingraben – Prinzipien der Entwicklung eines Grabensystems. – Nachr. dt. geol. Ges., **23**: 6–7; Hannover.
- HABERER, K., NORMANN, S., & OVERATH, H. (1980): Eine neuartige Kompaktanlage zur Aufbereitung von angereichertem Grundwasser in Wiesbaden-Schierstein. – Gas- u. Wasserf., **121** (6): 268–276, 12 Abb., 1 Tab.; München.
- HELLMANN, H. (1980): Auftreten, Herkunft und Abbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Rhein. – Gas- u. Wasserf., **121** (4): 178–184, 3 Abb., 6 Tab.; München.
- HENNINGSSEN, D. (1980): Schwerminerale vulkanischer Herkunft in quartären Flußablagerungen der Weser und Leine. – Eiszeitalter u. Gegenwart, **30**: 63–72, 1 Abb., 3 Tab.; Hannover.
- HENTSCHEL, G. (1980): Weitere Offretit-Vorkommen im Vogelsberg (Hessen). – Geol. Jb. Hessen, **108**: 171–176, 14 Abb.; Wiesbaden.
- HERRMANN, A. G. (1980): Geochemische Prozesse in marinen Salzablagerungen: Bedeutung und Konsequenzen für die Endlagerung radioaktiver Substanzen in Salzdiapiren. – Z. dt. geol. Ges., **131**: 433–459, 1 Abb., 2 Tab., Hannover. [Werra-Fulda-Lagerstättenbezirk]
- HERRMANN, R. (1980): Die Verfestigungsschrumpfung des mitteldeutschen Kupferschiefers. – Geol. Jb., **A 54**: 5–27, 5 Abb., 3 Taf.; Hannover.
- HERZBERG, A. (1980): Hessisches Geologisches Schrifttum 1978 mit Nachträgen aus den Jahren 1967–1977. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 241–254; Wiesbaden.
- HINZE, G., & DOHMEN, A. (1980): Planung eines Braunkohlentiefbaus der Zeche Hirschberg. – Braunkohle – Tagebautechnik – Energieversorgung, **32** (6): 151–160, 12 Abb., 1 Tab.; Düsseldorf.
- HÖLDER, H. (1980): Conellen als Relikte von Cephalopoden-Schalen – Objekte einer naheliegenden Verwechslung. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 5–9, 2 Abb.; Wiesbaden. [Fundpunkt „Großer Berg“ bei Hessisch-Lichtenau]

- HÖLTING, B. (1980): Einrichtung einer geohydrochemischen Datei. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 275–276; Wiesbaden.
- (1980): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – 340 S., 103 Abb., 26 Tab.; Stuttgart (Enke). [Beispiele aus Hessen]
- HOPPE, A. (1980): Ein Lias-Vorkommen auf Blatt 4821 Fritzlar (Nordhessen). – Geol. Jb. Hessen, **108**: 139–142, 1 Abb., 1 Taf., Wiesbaden.
- HÜHNER, G. (1980): Bohrprobenlager Villmar-Aumenu. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 277; Wiesbaden.
- HUISMANN, P. (1980): Internationale Zusammenarbeit zur Bekämpfung der Verunreinigung des Rheins. – Beitr. Rheinkde., **32**: 42–50; Koblenz.
- ILLIES, J. H. (1980): Geotektonik und Wärmeverhalten im Oberrheingraben. – Nachr. dt. geol. Ges., **23**: 20–21; Hannover.
- (1980): Plateau uplift of the Rhenish shield. – In DFG: Mobile earth: Internat. Geodynamics Project, final report of the Federal Republic of Germany: 139–141, 1 Abb., Boppard (Boldt).
- JÄHNICHEN, H., MAL, D. H., & WALTHER, H. (1980): Blätter und Früchte von *Cercidiphyllum* SIEBOLD & ZUCCARINI im mitteleuropäischen Tertiär. – Schr.-R. geol. Wiss., **16**: 357–399, 4 Abb., 2 Tab., 8 Taf., Berlin.
- JUVIGNÉ, E. (1980): Vulkanische Schwerminerale in rezenten Böden Mitteleuropas. – Geol. Rdsch., **69** (3): 982–996, 8 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- KILLE, K. (1980): Abschätzung von Hochwasserscheitelabflüssen kleiner Einzugsgebiete. – Wasser u. Boden, **32** (12): 575–577, 1 Abb., 1 Taf.; Hamburg-Berlin. [Hundertjährige Abflußspenden in Hessen]
- KLAPPER, G., & JOHNSON, G. J. (1980): Endemism and Dispersal of Devonian Conodonts. – J. Paleont., **54** (2): 400–455, 6 Abb., 13 Tab., 4 Taf.; Lawrence (Kansas).
- KOENIGSWALD, W. v. (1980): Das Skelett eines Pantolestiden (Proteutheria, Mamm.) aus dem mittleren Eozän von Messel bei Darmstadt. – Paläont. Z., **54** (3/4): 267–287, 20 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- (1980): Fossilagerstätte Messel – Literaturübersicht der Forschungsergebnisse aus den Jahren 1969–1979. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 23–38, 1 Abb.; Wiesbaden.
- KÖSTER, H. M. (1980): Kaolin Deposits of Eastern Bavaria and the Rheinische Schiefergebirge (Rhenish Slate Mountains). – Geol. Jb., **D 39**: 7–23, 2 Abb., 10 Tab.; Hannover.
- KOZUR, H. (1980): Die Korrelation des Rotliegenden und Zechsteins von Mittel- und Westeuropa mit der marinen Standardgliederung, Teil I. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **9** (10): 353–371; Innsbruck. [Cornberger Sandstein]
- KRAJEWSKI, C. (1980): Rheinchronik 1979. – Beitr. Rheinkde., **32**: 63–68, 3 Abb.; Koblenz.
- KROMER, H. (1980): Tertiary Clays in the Westerwald Area. – Geol. Jb., **D 39**: 69–84, 7 Abb., 3 Tab.; Hannover.
- KUTSCHER, F. (1980): Beiträge zur Sedimentation und Fossilführung des Hunsrückschiefers, 54: Spongien im Hunsrückschiefer. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 39–42; Wiesbaden.
- LAEMMLER, M. (1980): Die Landschaft um Burghaun, ihre natürlichen Grundlagen und ihre erdgeschichtliche Entwicklung. – In: Burghaun im Wandel der Zeiten: 92–112, 5 Abb., 1 Tab., Burghaun (Fuldaer Verlagsanstalt).
- (1980): Geologen erkunden Fuldaer Land bei neuen Straßenaufschlüssen. – Jb. Kr. Fulda 1981, **8**: 140–149, 8 Abb.; Fulda (Seidel & Haus).
- (1980): Rasdorf – Naturraum, Architektur der Landschaft und erdgeschichtliche Entwicklung. – In: Rasdorf 1200 Jahre. Beiträge zur Geschichte einer 1200-jährigen Gemeinde: 8–21, 3 Abb., 1 Taf.; Rasdorf (Seidel & Haus).
- LANGE-BERTALOT, H. (1980): Kieselalgen als Indikatoren der Gewässerqualität. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **41**: 97–110, 6 Abb.; Frankfurt a. M.
- LIESCHE, S. (1980): Die tektonische Gesteinsdeformation im Gebiet des Latroper Sattels und der Wittgensteiner Mulde im östlichen Rheinischen Schiefergebirge. – Göttinger Arb. Geol. Paläont., **21**, 89 S., 23 Abb., 4 Tab., 7 Taf.; Göttingen.
- LIPPERT, H.-J. (1980): Mineralisation related to volcanism. 21 S., 5 Abb., 3 Tab. – In: 8th International Geochemical Exploration Symposium; Hannover. [Lahn-Dill-Gebiet]

- LÜTTIG, G. W. et al. (1980): Introduction to General Geology of the Federal Republic of Germany. – Publications du 26^e Congrès Géologique International Paris 7–17 juillet 1980, Excursions: 079 C–137 A: 1–35, 25 Abb., 3 Tab., Paris.
- et al. (1980): Industrial Minerals and Rocks in the Area of the Federal Republic of Germany. – Publications du 26^e Congrès Géologique International Paris 7–17 juillet 1980, Excursions: 079C–137 A: 37–59, 18 Abb., 2 Tab., Paris.
- et al. (1980): Geoscience and Environmental Research in the Federal Republic of Germany. – Publications du 26^e Congrès Géologique International Paris 7–17 juillet 1980, Excursions: 079 C–137 A: 61–95, 22 Abb.; Paris.
- MÄLZER, H. & SCHMITT, G. (1980): Geodetic contributions to geodynamic processes in Western Germany. – In DFG: Mobile earth: Internat. Geodynamics Project, final report of the Federal Republic of Germany: 142–148, 2 Abb.; Boppard (Boldt).
- MALLE, K. G. (1980): Möglichkeiten und Grenzen einer Bilanzierung von Laststoffen im Rhein. – Gas- u. Wasserf., **121** (3): 123–125; München.
- MEIBURG, P. (1980): Subrosions-Stockwerke im Nordhessischen Bergland. – Aufschluss, **31**: 265–287, 8 Abb.; Heidelberg.
- MEISSNER, R., BARTELEN, H., & MURAWSKI, H. (1980): Seismic reflection and refraction studies for investigating fault zones along the Geotraverse Rhenoherynikum. – Tectonophysics, **64**: 59–84, 12 Abb.; Amsterdam.
- MENDEL, K. (1980): Zur Geochemie und Petrographie der Tuffe des Habichtswaldes (N-Hessen). – Fortschr. Mineral., **58**, Beih. 1: 91–92; Stuttgart.
- & POURMOAFI, M. (1980): Alkali-, Erdalkali- und 3-d-Übergangselemente in Basalten der Nördlichen Hessischen Senke. – N. Jb. Mineral., Mh., **1980** (2): 66–74, 2 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- MERZ, G. (1980): Der Untere Keuper in einigen neuen Bohraufschlüssen des Thüringer Beckens. – Z. geol. Wiss., **8** (8): 1123–1128, 2 Abb.; Berlin.
- MIRSAL, I. A. (1980): Über die Diagenese und Entstehung der Karbonatzemente in den unterkarbonischen Grauwacken der Elnhäusen-Schichten bei Marburg an der Lahn. – Geologica et Palaeontologica, **14**: 189–194, 1 Abb., 1 Taf.; Marburg a.d.L.
- MITTMEYER, H.-G. (1980): Zur Geologie des Hunsrückschiefers. – Natur u. Mus., **110** (5): 148–155, 2 Abb., 1 Tab.; Frankfurt a.M.
- MUDDMANN, J. (1980): Zur Wärmeeinleitung an thermisch belasteten Gewässern. – Wasser u. Boden, **32** (5): 225–230, 4 Abb., 4 Taf.; Hamburg – Berlin.
- MUNDT, W. (1980): The Character of the Geomagnetic Secular Variation in Europe. – Gerlands Beitr. Geophys., **89** (6): 451–466, 9 Abb., 5 Tab.; Leipzig.
- NICKEL, E., & FETTEL, M. (1980): Odenwald – Vorderer Odenwald zwischen Darmstadt und Heidelberg. – Geologische Führer, **65**, XVI, 202 S., 63 Abb., 6 Tab.; Berlin – Stuttgart.
- NÖTHLICH, K. (1980): Beitrag zur Frage der Schichtungserscheinungen von Temperatur und Sauerstoff in der Edertalsperre an der Sperrmauer. – Wasserwirtschaft., **70** (7/8): 275–280, 2 Abb., 3 Taf.; Stuttgart.
- ORTLAM, D. (1980): Erkennung und Bedeutung fossiler Bodenkomplexe in Locker- und Festgesteinen. – Geol. Rdsch., **69** (2): 581–593, 8 Abb.; Stuttgart. [Betr. auch Böden in der Hess. Senke]
- OVERATH, H. (1980): Erste Betriebserfahrungen mit der neuen Kompakt-Aufbereitungsanlage in Wiesbaden-Schierstein. – Gas- u. Wasserf., **121** (2): 65–66; München.
- PAULY, E. (1980): Bewertung und Sicherung mineralischer Rohstoffe aus oberflächennahen Lagerstätten in Hessen, Methoden und Stand. – Erzmetall, **33** (4): 222–225; Weinheim (Verl. Chemie).
- (1980): Rohstoffsicherung und Rohstoffvorsorge in Hessen. – Natursteinindustrie, **16** (5): 11–20; Baden-Baden.
- (1980): Rohstoffvorsorge und Rohstoffsicherung im Land Hessen. – In: Rohstoffversorgung der Steine- und Erden-Industrie, Aspekte, Probleme, Forderungen: 35–50; Frankfurt a. M. (Hrsg. Bundesverband Steine und Erden e.V., Frankfurt a.M.).
- PRINZ, H. (1980): Erscheinungsformen des tiefen Salinarkarstes an der Trasse der DB-Neubaustrecke Hannover – Würzburg in Osthessen. – Rock Mechanics, Suppl. **10**: 23–33, 9 Abb.; Wien – New York.

- WESTRUP, J. (1980): Zusammenhänge zwischen den festgestellten Höhenwertänderungen und anthropogenen Einflüssen im nördlichen Oberrheingraben. – Z. Vermessungswesen, (8): 377–382; Stuttgart.
- PUFF, P., & RADZINSKI, K.-H. (1980): Ergebnisse und Probleme stratigraphischer Untersuchungen im mittleren Buntsandstein der DDR. – Z. geol. Wiss., **8** (8): 965–983, 5 Abb., 4 Tab.; Berlin.
- RAAB, M. (1980): Die Geologie der Grube Messel. Gegenwärtiger Kenntnisstand. – Aufschluß, **31**: 181–204, 8 Abb.; Heidelberg.
- RAIKES, S. (1980): Teleseismic Evidence vor Velocity Heterogeneity Beneath the Rhenish Massif. – J. Geophys., **48** (2): 80–83, 3 Abb., 1 Tab.; Berlin–Heidelberg–New York.
- RICHTER, G., & STORCH, G. (1980): Beiträge zur Ernährungsbiologie eozäner Fledermäuse aus der „Grube Messel“. – Natur u. Mus., **110** (12): 353–367, 29 Abb.; Frankfurt a. M.
- RIEPEL, O. (1980): Ein Lacertilier aus dem Eozän von Messel bei Darmstadt. – Beitr. naturkd. Forsch. SW-Dtld., **39**: 57–69, 5 Abb.; Karlsruhe.
- ROLL, A. (1980): A critical study of subsidence and shoulder uplift of the Upper Rhine Graben by a volume balance in time and space. – In DFG: Mobile earth: Internat. Geodynamics Project, final report of the Federal Republic of Germany: 149–154, 2 Abb., 1 Tab.; Boppard (Boldt).
- ROMBERG, W. (1980): Dichtungsprobleme bei Talsperren im hessischen Mittelgebirge. – Wasserwirtschaft., **70** (3): 120–123, 5 Abb.; Stuttgart.
- SCHÄFER, P. (1980): *Nonionoides* n. gen. *demens* (BIK, 1964), eine bisher verkannte Foraminiferenart aus dem Aquitan des Mainzer Beckens. – Mainzer geowiss. Mitt., **8**: 193–200, 3 Abb.; Mainz.
- SCHAEFFER, R. (1980): Die Eisenkiesel bei Laisa in Nordhessen – ein unterkarbonisches Quarz-Hämatit-Erz des „Lahn-Dill-Typs“. – Aufschluß, **31**: 205–210, 4 Abb.; Heidelberg.
- (1980): Vulkanogen-sedimentäre Manganerzlager im Unterkarbon bei Laisa (Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge). – Geol. Jb. Hessen, **108**: 151–170, 12 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- SCHANZ, W. (1980): Wasserwirtschaftliche Planung zur Sicherung der Trinkwasserversorgung – Diskussionsbeitrag „Hessen“. – Gas- u. Wasserf., **121** (11): 540–542; München.
- SCHMIDT, H., & BALKE, K.-D. (1980): Möglichkeiten der künstlichen Grundwasser-Anreicherung und -Speicherung in der Bundesrepublik Deutschland. – Z. dt. geol. Ges., **131**: 93–109, 6 Abb., 1 Tab.; Hannover.
- SCHMITT, O. (1980): The Messel oil-shape pit near Darmstadt (especially with regard to the rubbish disposal area planned there). – In: G. W. LÜTTIG: General Geology of the Federal Republic of Germany, with two Excursions to Industrial Mineral Rocks and Environmental Research: 78–80, 1 Abb.; Stuttgart (Nägele u. Obermiller).
- SCHOTTLER, W. † (1980), mit Beitr. v. ABEL, H., EHRENBERG, K.-H. FRIEDRICH, K., PLAUMANN, S., SCHRADER, L., STENGEL-RUTKOWSKI, W., STRECKER, G., & ULRICH, H.-J.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt Nr. 54 18 Gießen, 2. Aufl., 163 S., 9 Abb., 11 Tab.; Wiesbaden.
- SCHRÖDER, H. (1980): Aufschluß und Betrieb des Tagebaus Ostheim der Preußischen Elektrizitäts-AG, Abteilung Borken. – Braunkohle, **32** (3): 37–42, 11 Abb.; Düsseldorf.
- SCHULZ-DOBRICK, B. (1980): U-, Th- und K-Gehalte von Sedimentgesteinen des Rheinischen Schiefergebirges und deren Wärmeproduktionsraten. – Fortschr. Mineral., **58**, Beih. 1: 121–123, 1 Tab.; Stuttgart.
- SEIB, G. (1980): Das älteste natürliche geologische Profil Hessens. Archivalischer Fund erhellt Entstehungsgeschichte der Schichtenfolge des Richelsdorfer Gebirges. – Hessische Heimat, **30** (2): 59–66, 6 Abb.; Marburg a.d.L.
- SEIDENSCHWANN, G. (1980): Zur pleistozänen Entwicklung des Main-Kinzig-Kahl-Gebietes. – Rhein-Main. Forsch., **91**, 194 S., 18 Abb., 2 Tab., 1 Kt.; Frankfurt a.M.
- SIDKI, K. (1980): Geologisch-Hydrogeologische Untersuchung zur Geometrie des Aquifers im Rhein-Neckar-Gebiet. – Gas- u. Wasserf., **121** (1): 23–31, 4 Abb., 2 Tab., München.
- SIMON, W. (1980): Erdgeschichte am Rhein. – Aufschluß, **30** (Koblenz): 109–118, 1 Tab.; Heidelberg.
- SOMMER, H. (1980): Erosionsuntersuchungen bei Brüchen an unterströmten Rheindeichen. – Wasserwirtschaft., **70** (3): 100–103, 9 Abb.; Stuttgart.
- SONNE, V. (1980): *Excornebovina doebli* n. sp., eine neue Foraminifere aus dem Unteren Meeressand (Rupel) des Mainzer Beckens. – Mainzer geowiss. Mitt., **8**: 201–208, 8 Abb., 1 Tab.; Mainz.

- (1980): Zur Erforschungsgeschichte des Mainzer Beckens. – Mainzer geowiss. Mitt., **9**: 177–185, 1 Tab.; Mainz.
- STÄBLEIN, G. (1980): Studies in the periglacial environment: A review of geomorphodynamic, cryopedological and Quaternary research in Germany. – Z. Geomorphol., NF, Suppl.-Bd. **36**: 84–95, 4 Abb.; Berlin-Stuttgart.
- STENGLER-RUTKOWSKI, W. (1980): Die hydrogeologischen Verhältnisse im basaltischen Tertiär des östlichen Westerwaldes. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 177–195, 5 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- STOPPEL, D. (1980): Kupferschiefer, sedimentary deposits, impregnations, vein deposits. 4 S., 1 Abb. – In: 8th International Geochemical Exploration Symposium; Hannover. [Rheinisches Schiefergebirge]
- Subgroup Lithostratigraphy and Maps (1980): A Lithostratigraphic Scheme for the NW-European Tertiary Basin. – Newsl. Stratigr., **8** (3): 236–237, 1 Tab.; Berlin–Stuttgart.
- SUCH, W., & HAMPEL, W. (1980): Sicherstellung der Trinkwasser-Notversorgung durch Verbundmaßnahmen im Rahmen des Programms für Zukunftsinvestitionen. – Wasser u. Boden, **32** (4): 145–150, 2 Abb., 1 Tab.; Hamburg–Berlin.
- TEYSSEN, T., & VOSSMERBÄUMER, H. (1980): Schrägschichtungsanalyse am Beispiel des Buntsandstein in Nordbayern. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1980**: 620–642, 9 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- THOME, K. N. (1980): Der Vorstoß des nordeuropäischen Inlandeises in das Münsterland in Elster- und Saale-Eiszeit. Strukturelle, mechanische und morphologische Zusammenhänge. – Westfälische geogr. Stud., **36**: 21–40, 9 Abb.; Münster. [Betr. auch Hessen]
- THORMANN, A. (1980): Anfall und Beseitigung von Klärschlamm in der Bundesrepublik Deutschland. – Wasser u. Boden, **32** (11): 502–507, 5 Taf.; Hamburg–Berlin.
- TOBIEN, H. (1980): Säugerfaunen von der Grenze Pliozän/Pleistozän in Rheinhessen. 1. Die Spaltenfüllungen von Gundersheim bei Worms. – Mainzer geowiss. Mitt., **8**: 209–218, 3 Abb.; Mainz.
- (1980): A Note on the Mastodont Taxa (Proboscidea, Mammalia) of the „Dinotheriensande“ (Upper Miocene, Rheinhessen, Federal Republic of Germany). – Mainzer geowiss. Mitt., **9**: 187–201, 11 Abb.; Mainz.
- (1980): Taxonomic Status of some Cenozoic Mammalian Local Faunas from the Mainz Basin. – Mainzer geowiss. Mitt., **9**: 203–235, 1 Abb., 1 Tab.; Mainz.
- (1980): Ein anthracotherioider Paarhufer (Artiodactyla, Mammalia) aus dem Eozän von Messel bei Darmstadt (Hessen). – Geol. Jb. Hessen, **108**: 11–22, 1 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden.
- TOUSSAINT, B. (1980): Die Auswirkung der Starkregen im Mai 1978 auf die Grundwasserstände der hessischen Oberrheinebene. – Geol. Jb. Hessen, **108**: 203–222, 7 Abb., 3 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- VIERTEL, B. (1980): Die Amphibien des hessischen Naturschutzgebietes Kühkopf-Knoblochsaue. – Natur u. Mus., **110** (1): 19–27, 7 Abb.; Frankfurt a.M.
- WALLISER, O. H. (1980): The geosynclinal development of the Variscides with special regard to the Rhenohercynian zone. – In DFG: Mobile earth: Internat. Geodynamics Project, final report of the Federal Republic of Germany: 185–195, 3 Abb.; Boppard (Boldt).
- WEBER, K. (1980), mit Beitr. v. ANDERLE, H. J., & MEISL, S.: Guide to Excursion Rheinisches Schiefergebirge April 12–14, 1980. – Microtectonics '80, Guide to Excursion No. 1, 65 S., 53 Abb.; 1 Tab.; Göttingen.
- WEDEPOHL, K. H., & RITZKOWSKI, S. (1980), mit Beitr. v. KORITNIG, S., MENGEL, K., & SCHULZ, K. H.: Die nördliche hessische Senke (Tertiär-Vulkanite, Kupferschiefer und Variskischer Spilit). DMG-Tagung 1980, Exkursion E 1. – Fortschr. Mineral., **58**, Beih. 2: 3–31, 2 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.
- WEILER, H., & SONNE, V. (1980): Ein Fund von kalkigen Dinoflagellaten-Zysten im unteren Meeressand (Rupel) der Sandgrube am „Zeilstück“ bei Alzey – Weinheim (Mainzer Becken). – Mainzer geowiss. Mitt., **8**: 219–221, 1 Abb.; Mainz.
- WENDLAND, F. (1980): Zur Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalks in der thüringischen Vorderöhn (Bezirk Suhl, DDR). – Z. geol. Wiss., **8** (8): 1057–1078, 7 Abb., 3 Tab.; Berlin.
- WESTPHAL, F. (1980): *Chelotriton robustus* n. sp., ein Salamandride aus dem Eozän der Grube Messel bei Darmstadt. – Senckenbergiana lethaea, **60** (4/6): 475–487, 4 Abb.; Frankfurt a.M.
- WILL, V. (1980): Haldenfunde im Hunsrückschiefer. – Aufschluß, **30** (Koblenz): 101–108, 6 Abb.; Heidelberg.

- ZIEGLER, P. A. (1980): Northwestern Europe: Subsidence patterns of Post-Variscan basins. In: Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires posthercyniens. – Ann. Soc. Géol. du Nord, **99**: 249–280, 10 Abb.; Villeneuve d'Ascq.
- ZIEHR, H., MATZKE, K., OTT, G., & VOUTTSIDIS, V. (1980): Ein stratiformes Fluoritvorkommen im Zechsteindolomit bei Eschwege und Sontra in Hessen. – Geol. Rdsch., **69** (2): 325–348, 11 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.
- ZITZMANN, A. (1980): Die Geologische Übersichtskarte 1:200 000. – Aufschluss, **31**: 289–297, 1 Abb., 1 Tab.; Heidelberg.
- ZOTH, G. (1980): Temperaturfeld und Wasserbewegungen im Oberrheingraben. – Nachr. dt. geol. Ges., **23**: 27–28; Hannover.
- Baumschäden im Vogelsberg. – Umschau, **80** (2): 60, 1 Abb.; Frankfurt a.M. 1980.
- Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Rheingebiet, Abschnitt Main (mit einem Anhang: Bayer. Elbegebiet). Abflußjahr 1975. – 122 S., 1 Kt.; München (Bayer. L.-Amt. Wasserwirtsch.) 1980.
- Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Sonderh. Land Baden-Württemberg, Hoch- und Oberrhein mit Neckar, Anteile des Maingebietes und der Donau bis Ulm. Abflußjahr 1979. – 251 S., 1 Kt.; Karlsruhe (L.-Anst. Umweltschutz Baden-Württemberg, Inst. Wasser- u. Abfallwirtsch.) 1980.
- Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Weser- und Emsgebiet. Abflußjahr 1979. – 300 S., 1 Kt.; Hannover (L.-Stelle Gewässerkde.) 1980.
- Die Rheinverschmutzung nimmt langsam ab. – Wasserwirtsch., **70** (1): 26–27, 3 Abb.; Stuttgart 1980.
- Gefährden Wärmepumpen die Trinkwasserversorgung im Rhein-Main-Gebiet? – Wasser u. Boden, **32** (1): 36–37; Hamburg–Berlin 1980.
- Grundwasserschutz beim Kies- und Sandabbau in Hessen. – Wasserwirtsch., **70** (11): 386–387; Stuttgart 1980.
- Hessen. In: Berichte aus den Bundesländern zur Auswahl, Einrichtung und Bestandserfassung der Naturwaldreservate. – Natur u. Landsch., **55** (4): 137, 1 Abb.; Stuttgart 1980.
- Hessen. Jahresbericht der Wasserwirtschaft, Rechnungsjahr 1979. – Wasser u. Boden, **32** (6/7): 289–292, 4 Abb.; Hamburg–Berlin 1980.
- Internationale Kommission zum Schutzes des Rheins gegen Verunreinigung. – Gas- u. Wasserf., **121** (3): 154; München 1980.
- Kies- und Sandgruben können Grundwasser gefährden. – Gas- u. Wasserf., **121** (3): 157; München 1980. [Sanierung von Seeflächen in Hessen]
- Neue Ergebnisse aus der Grube Messel bei Darmstadt. – Präparator, **26** (2): 247–248, 1 Abb.; Bochum 1980.
- Noch immer schwimmt viel Salz im Rhein. – Gas- u. Wasserf., **121** (5): 249; München 1980.
- Reineres Wasser aus dem Rhein. – Umschau, **80** (14): 432–433, 2 Abb.; Frankfurt a.M. 1980.
- Sixième Journée (24 juillet 1980): Francfort–Göttingen. Hydrogéologie et aménagement. – Publications du 26^e Congrès Géologique International Paris 7–17 juillet 1980: 21–22, 3 Abb.; Paris. [S-Bahn Frankfurt a.M. und Pumpwert Waldeck II]
- Weitere Maßnahmen für Rheinsanierung erforderlich. – Wasserwirtsch., **70** (9): 324; Stuttgart 1980.

Tätigkeitsbericht

des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung für das Geschäftsjahr 1981 (1.1.–31.12. 1981)

Nachdem der Leiter der Abteilung III – Hydrogeologie und Geotechnologie – Ltd. Geologiedirektor Dr. O. SCHMITT, am 31. Oktober 1981 in den Ruhestand versetzt worden ist, wurde Geologiedirektor Dr. B. HÖLTING am 1. November 1981 zum neuen Abteilungsleiter bestellt. Er übernahm gleichzeitig auch die Leitung des Dezernates „Angewandte Hydrogeologie“. Das Dezernat „Allgemeine Hydrogeologie“ wurde am 16. Dezember 1981 Geologieoberrat Dr. W. STENGEL-RUTKOWSKI übertragen.

Am 1. Juli 1981 konnten dem Dezernat I 2 – Bodenkunde – im landeseigenen Dienstgebäude Viktoriastraße 41, Wiesbaden, neue Diensträume zur Verfügung gestellt werden.

Zu den herauszustellenden Ereignissen des Jahres 1981 gehört der Besuch des Hessischen Ministers für Wirtschaft und Technik, Herrn Staatsminister KLAUS-JÜRGEN HOFFIE, am 17. August 1981 im Hessischen Landesamt für Bodenforschung (HLfB), dem Nachfolger des am 11. Mai 1981 einem Mordanschlag zum Opfer gefallenen Herrn Staatsministers HEINZ-HERBERT KARRY. Der Minister ließ sich über die Arbeiten des HLfB berichten und interessierte sich ganz besonders für die geologischen Grundlagen des als Standort für eine Wiederaufarbeitungsanlage von abgebrannten Kernbrennstoffen vorgesehenen Geländes bei Wethen (Bl. 4520 Warburg) und für hydrogeologische, aufgrund jüngerer wissenschaftlicher Untersuchungen erzielter Ergebnisse in Zusammenhang mit Sanierungs- und Neubaumaßnahmen im Bereich des Flughafens Frankfurt am Main.

Dem Besuch des Ministers war eine Sitzung des Ausschusses für Wirtschaft und Technik des Hess. Landtages am 21. Januar 1981 im HLfB vorausgegangen. Zum Kreis der Sitzungsteilnehmer gehörten die dem Ausschuß angehörenden Landtagsabgeordneten, Herr Staatsminister HEINZ-HERBERT KARRY und Herr Staatssekretär OTTO KIRST. Nach einführenden Begrüßungsworten durch den Direktor des HLfB, Prof. Dr. BARGON, wurde über folgende aktuelle, in den Aufgabenbereich des Hessischen Ministers für Wirtschaft und Technik fallende Arbeiten des Landesamtes berichtet:

- Rohstoffsicherung oberflächennaher Lagerstätten, Nutzung oberhessischer Braunkohlenlagerstätten, Exploration auf Buntmetalle (GD Dr. E. PAULY)
- Kupferschieferprospektion (GD Dr. J. KULICK)
- Aussichten weiterer Erdöl- und Erdgasexplorationen im Lande Hessen (Ltd. GD Dr. D. THEWS)

- Bundesbahnneubaustrecke (Ltd. GD Prof. Dr. H. PRINZ)
- Geologische Aspekte der Gewinnung und Speicherung alternativer Energien (GD Dr. B. HÖLTING)
- Geothermische Energie am Beispiel des Pilotprojektes Viernheim (GD Dr. A. FINKENWIRTH)

I. Geologische Landesaufnahme

I 1. Geologische Kartierung

Geologische Karte 1:25 000

Blatt-Nr. u. -Name	Ausgeführte Arbeit	Blatt-Nr. u.-Name	Ausgeführte Arbeit
4520 Warburg	Druckvorbereitung	5320 Burg-Gemünden	Feldaufnahme
4521 Liebenau	Arbeiten unterbrochen	5325 Spahl	Arbeiten unterbrochen
4722 Kassel-Ndzw.	Arbeiten unterbrochen	5326 Tann	Arbeiten unterbrochen
4723 Oberkaufungen	Herausgabe	5518 Butzbach	Herausgabe
4821 Fritzlar	Arbeiten unterbrochen	5619 Staden	Feldaufnahme
4925 Sontra	Druckvorbereitung	5621 Wenings	Feldaufnahme
5018 Wetter (Hessen)	Arbeiten unterbrochen	5622 Steinau	Druckvorbereitung
5216 Oberscheld	Arbeiten unterbrochen		

Herausgegeben wurden die Blätter der Geologischen Karte von Hessen 1:25 000 mit Erläuterungen

4723 Oberkaufungen (2., neu bearbeitete Auflage) und 5518 Butzbach.

Damit verbleiben in Hessen 16 noch unveröffentlichte Blätter. Mitarbeiter der geologischen Landesaufnahme wurden in verstärktem Umfang zu Beiträgen für objektbezogene Arbeiten eingesetzt, so daß die Arbeit an den eigentlichen Kartieraufgaben noch weiter eingeschränkt werden mußte. Zu den bereits in den Vorjahren genannten traten Arbeiten im Vorfeld der Kohlenwasserstoffexploration im Vogelsberg sowie verschiedene Beratungen des Hessischen Ministers für Wirtschaft und Technik.

Wissenschaftler des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung arbeiteten wie im Vorjahr in der Stratigraphischen Kommission der Deutschen Union der Geologischen Wissenschaften mit. Die Zusammenarbeit mit einzelnen Hochschul-instituten bei der Betreuung von Diplomkartierungen für die Herausgabe geologi-scher Karten wurde fortgesetzt.

In Zusammenarbeit mit der BGR wurden Vorbereitungsarbeiten zur Herausgabe des Bl. Frankfurt Ost der Geologischen Übersichtskarte 1:200 000 der Bundesrepublik Deutschland geleistet.

Biostratigraphie, Paläontologie

Bei der geologischen Landesaufnahme und zur Untersuchung von Bohrungen und wichtigen Aufschlußprofilen wurden zahlreiche Gesteinsproben entnommen, um mit Hilfe der Fossilien eine Alterseinstufung der Gesteinsschichten und eine Klärung ihrer Lagerungsverhältnisse vorzunehmen. Das im Berichtsjahr bearbei-tete Material stammt aus folgenden Gesteinsschichten und Blattgebieten:

- 135 Kalkstein- und Schieferproben aus devonischen und unterkarbonischen Gesteinsfolgen von Bl. 5216 Oberscheld.
- 445 Sand-, Mergel- und Tonproben aus känozoischen Gesteinsfolgen der Bl. 4522 Hofgeismar, 4723 Oberkaufungen, 5219 Amöneburg, 5318 Allendorf/Lumda, 5418 Gießen, 5718 Ilbenstadt, 5817 Frankfurt a. M. West, 5818 Frankfurt a. M. Ost, 5819 Hanau, 5918 Neu-Isenburg, 5919 Seligenstadt und 6019 Babenhausen.

Die paläontologisch-biostratigraphische Untersuchung von Proben der Bl. 5216 Oberscheld, 5718 Ilbenstadt, 5818 Frankfurt a. M. Ost und 5918 Neu-Isenburg wurde in erster Linie für die geologische Landesaufnahme vorgenommen, um die stratigraphische, tektonische und paläogeographische Situation der Arbeitsgebiete zu klären. Die Bearbeitung von Proben auf den Bl. 4522 Hofgeismar und 4723 Oberkaufungen war u. a. im Zusammenhang mit den Voruntersuchungen zur Neubaustrecke Kassel–Würzburg der Deutschen Bundesbahn erforderlich. Ein Großteil der Proben wurde untersucht, um Aufschlüsse und vor allem Bohrungen zur Erkundung oberflächennaher Lagerstätten oder zur Erstellung hydrogeologischer und ingenieurgeologischer Gutachten einzustufen und zu deuten.

Schriftleitung und Kartendruck

Im Jahre 1981 sind folgende Schriften und Karten veröffentlicht worden:

- Geologisches Jahrbuch Hessen:
Band 109, 238 S., 48 Abb., 22 Tab., 4 Taf., 1 Bild
- Geologische Abhandlungen Hessen:
Band 81, 166 S., 89 Abb., 17 Tab., 9 Taf.
- Geologische Karte von Hessen 1:25 000:
Blatt 4723 Oberkaufungen und Erläuterungen, 2., neu bearbeitete Auflage, 212 S., 15 Abb., 17 Tab., 3 Taf., 1 Beibl.
- Blatt 5518 Butzbach und Erläuterungen, 214 S., 30 Abb., 13 Tab., 3 Taf.
- Bodenkarte von Hessen 1:25 000:
Blatt 5418 Gießen und Erläuterungen, 124 S., 8 Tab., 6 Prof.
- Weinbau-Standortkarte Rheingau 1:5 000:
Blatt Erbach
- Informationsfaltblatt: In 4 Stunden durch 400 Mio. Jahre, 3. Auflage, 16 S.

Bibliothek

Der Zuwachs im Jahre 1981 betrug 2304 Einheiten. Davon entfallen 1929 auf Bände und 375 auf Karten. Die Anzahl der Tauschpartner hat sich von 408 auf 409 erhöht. – Ausgeliehen wurden im Berichtsjahr 2583 Bände und 394 Karten.

Vertriebsstelle

Vom 1. Januar–31. Dezember 1981 wurden verkauft:

1 182 Geologische Karten 1:25 000	1 257 Übersichtskarten
237 Bodenkarten 1:25 000	743 sonstige Veröffentlichungen (davon 116 Sonderdrucke)

I 2. Bodenkunde

Bodenkarte 1:25 000

Blatt-Nr. u. -Name	Ausgeführte Arbeit	Blatt-Nr. u. -Name	Ausgeführte Arbeit
4523 Münden	Druckvorbereitung	5519 Hungen	Druckvorbereitung
4622 Kassel West	Arbeiten unterbrochen	5718 Ilbenstadt	Arbeiten unterbrochen
4722 Kassel-Ndzw.	Arbeiten unterbrochen	5819 Hanau	Druckvorbereitung
4921 Borken (Hessen)	Arbeiten unterbrochen	5918 Neu-Isenburg	Druckvorbereitung
5217 Gladenbach	Arbeiten unterbrochen	6117 Darmstadt West	Feldaufnahme
5417 Wetzlar	Druckvorbereitung	6118 Darmstadt Ost	Druckvorbereitung
5418 Gießen	Herausgabe		

Herausgegeben wurde das Blatt der Bodenkarte von Hessen 1:25 000 mit Erläuterungen

5418 Gießen
sowie die Weinbau-Standortkarte Rheingau 1:5 000, Blatt Erbach.

Der Schwerpunkt der bodenkundlichen Arbeiten lag 1981 jedoch nicht bei der Veröffentlichung von Bodenkarten, sondern bei der bodenkundlichen Objektkartierung „Hess. Ried“. Die in einem 4-Jahresprogramm vorgesehenen Untersuchungen dienen der Beurteilung von Fragen im Zusammenhang mit der Grundwasseranreicherung und der Nutzung von Rheinwasser zur Beregnung. Nach Abschluß dieser Kartierung sollen die teilkartierten Blätter vervollständigt und im Rahmen der Bodenkarte von Hessen 1:25 000 veröffentlicht werden.

Parallel mit den genannten Kartierungen laufen Vorbereitungen für ein Programm zur Untersuchung der geogenen Schwermetallgehalte in Hessen. – Umfangreiche bodenkundliche Kartierarbeiten erfolgten auch im Rahmen des forsthydrologischen Beweissicherungsverfahrens Startbahn 18 West für die Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Institut für Forsthydrologie in Hann. Münden.

Im Berichtsjahr wurden 42 bodenkundliche Gutachten erstattet. Sie umfaßten Untersuchungen zur Herkunft des Blut-Bleigehaltes einer Familie bei Schlüchtern (1), Fragen des Einflusses von Grundwasserentnahmen bzw. Vorflutänderungen auf die Landeskultur (2) sowie die Beurteilung von Flächen zur Friedhofseignung (39). Im Rahmen des Sachverständigen-Ausschusses für die Durchführung des Weinwirtschaftsgesetzes im Lande Hessen erfolgten bei Anträgen auf Neuanpflanzungen von Weinreben außerhalb der parzellenscharfen Abgrenzung der Rebflächen bodenkundliche-weinbauökologische Beurteilungen landwirtschaftlicher Nutzflächen.

I 3. Luftbildgeologie und Geophysik

Luftbildgeologie

Im Zuge der Vereinbarung mit der Deutschen Bundesbahn verlagerte sich der Schwerpunkt gefügetektonischer Luftbildauswertung auf die bruchtektonische Bearbeitung von Tunneltrassen der Neubaustrecke Hannover–Würzburg. Anhand großmaßstäbiger Luftbilder (panchromatisch und Infrarotcolor) wurde analytisch

die Verteilung von Verwerfungen und bruchtektonisch kritischen Trassenabschnitten im Maßstab 1:2000 zur weiteren Verwendung in der ingenieurgeologischen Planung festgestellt. Abgeschlossen wurden die Untersuchungen über die Tunneltrassen Dietershan, Schwarzenfels, Eichberg, Ganzberg, Wildsberg, Sulzhof, Mühlbach, Schmitteberg und Richthof. Nur teilweise bearbeitet sind die Tunneltrassen Hainrode, Krämerskuppe, Witzelshöhe und Mühlberg. In Zusammenarbeit mit Dez. II 3 wurde eine Grundlage zur Koordinierung der luftbildgeologischen Analysenkriterien für graduelle Gebirgsbeanspruchung mit den Kriterien der ingenieurgeologischen Erfassung des tektonischen Zerrüttungsgrades vor Ort geschaffen. U. a. konnte hierfür die Untersuchung des großen Straßenbau-Aufschlusses zur Ortsumgehung der B 27 bei Marbach genutzt werden. – Zur Unterstützung der ingenieurgeologischen Beratung ist im Bereich der geplanten Ernstbach-Talsperre eine luftbildtektonische Gefügeuntersuchung fertiggestellt worden, wie auch die Voruntersuchung für einen geplanten Straßentunnel.

Die angewandte Forschung wurde im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Fernerkundung, physikalische und methodische Grundlagen“ fortgeführt. Wichtigste Ergebnisse sind ein Flußdiagramm zur automatischen Erfassung von gefügetektonisch relevanten Fernerkundungsdaten sowie erste Definition der Merkmale von tektonischen Strukturbildern, die einerseits mit der Erkennung von Einbruchsschloten, andererseits mit der von tektonischen Gräben zusammenhängen. Die Rechenprogramme zur automatischen Bildkorrektur mußten in Zusammenarbeit mit der HZD auf den Fall des Schrägfluges ausgedehnt werden, um gelegentliche Lokationsfehler auszuschalten.

Geophysik

Geoelektrische Widerstandsmessungen wurden als Beitrag zur ingenieurgeologischen Beurteilung der geplanten Bundesbahnneubaustrecke Würzburg–Hannover auf den Bl. 5424 Fulda, 5324 Hünfeld, 5323 Schlitz, 5223 Queck, 5123 Niederaula, 5023 Ludwigseck und 4923 Altmorschen durchgeführt. Vorwiegend verfolgten sie den Zweck, unbekannte Solutionsstrukturen festzustellen.

Zur Unterstützung der geologischen Landesaufnahme sind magnetische Anomalien auf den Bl. 4520 Warburg, 5622 Steinau und 5621 Wenings vermessen worden. Seismische Messungen auf Bl. 5515 Weilburg und die Auswertung von Elektrik-Sondierungen aus dem Raum des Limburger Beckens dienen der Erkundung oberflächennaher Lagerstätten.– Für amtliche Belange wurden 32 Bohrlöcher, davon 19 zwischen 250 m und 450 m tief, geophysikalisch vermessen.

Mehrere Rechenprogramme wurden als Interpretationsstütze für seismische, geoelektrische und geomagnetische Probleme entwickelt.

II. Rohstoffgeologie und Ingenieurgeologie

II 1. Mineralische Rohstoffe

Das Bundesbohrprogramm, Unterprojekt Kupferschiefer, wurde im Jahre 1981 mit folgenden Bohrungen weitergeführt:

Bohrung		Endteufe (m)	Bearb. Abschn. (m)	Proben- zahl
Wulften	Bl. 4327 Gieboldehausen	696,65	9,55	63
Escherode	Bl. 4624 Hedemünden	683,00	15,0	55
Quentel	Bl. 4723 Oberkaufungen	444,7	15,0	32
Küchen	Bl. 4824 Hess. Lichtenau	533,0	12,0	58
Ützhausen	Bl. 5322 Lauterbach	422,0	9,0	60
Queck	Bl. 5223 Queck	392,7	9,64	87
Sterbfritz	Bl. 5623 Schlüchtern	735,0	6,0	40
Burgjoß	Bl. 5723 Altengronau	608,7	8,88	69

Dabei wurden in Hessen 5 Bohrungen mit insgesamt 2 127,4 Bohrmetern niedergebracht. Die Brg. Wulften und Escherode liegen in Niedersachsen, die Brg. Burgjoß in Bayern. Die Bearbeitung erfolgte jedoch ebenfalls im HLfB.

Im Rahmen des seit 1974 laufenden Programms zur Untersuchung der oberflächennahen Lagerstätten in Hessen wurden 1981 insgesamt 16 Bohrungen mit 684,90 lfm niedergebracht. Der Kostenaufwand betrug DM 201 012,31. Untersuchungsobjekte waren Lagerstätten auf Ton unter Basaltüberdeckung, Quarzitlagerstätten, Vorkommen von Quarzsand und ein Kalksteinvorkommen.

Im Zuge der Lagerstättenkartierung Hessen i. M. 1:25 000 (LK 25) sind 18 Blätter aufgenommen, zu den Erläuterungen der GK 25 Hessen, Bl. 5622 Steinau, ist das Kapitel Lagerstätten verfaßt worden. – Lagerstättenwirtschaftliche Gutachten wurden zu 3 Projekten erstattet.

Für die Arbeiten zur Rohstoffsicherung im Rahmen der Raumordnung und Landesplanung wurde für den Bereich der ehemaligen Planungsgemeinschaft Untermain die Karte „Vorranggebiete oberflächennaher Lagerstätten“ i. M. 1:100 000 fortgeschrieben und aktualisiert. Dabei erfolgte die Unterteilung in „Vorranggebiete oberflächennahe Lagerstätten“ und „Vorranggebiete für den Abbau oberflächennaher Lagerstätten“. Die Karte ist Grundlage der Fortschreibung der SL-Karte des genannten Raumordnungsplanes.

Für die verschiedenen Planungsverfahren: 703 Stellungnahmen abgegeben, an 24 Erörterungsterminen teilgenommen, 28 Abbaustellen befahren und zu 27 Wasserschutzgebietsgutachten lagerstättenwirtschaftliche Stellungnahmen gefertigt.

Im Rahmen der praxisbezogenen Forschung wurden die Arbeiten an der Rohstoffkarte Hessen (RK 50) fortgeführt. Z. Z. sind die Bl. L 5318 Amöneburg, L 5518 Gießen, L 5716 Bad Homburg v. d. H. und L 5718 Friedberg in Arbeit. Diese Karte dient als Grundlage landesplanerischer Entscheidungen, soweit sie vom Geopotential her beeinflußt werden. – Die Grundlagenarbeiten zur Quantifizierung und Bilanzierung von Rohstoffvorräten wurden weitergeführt.

Für den Hessischen Minister für Wirtschaft und Technik ist eine Ausstellung „Mineralische Rohstoffe aus oberflächennahen Lagerstätten in Hessen und ihre Verwendung“ zusammengestellt worden.

II 2. Mineralogie und Petrologie

Im Bundesbohrprogramm, Unterprojekt Kupferschiefer, wurden 1981 insgesamt 17 Bohrungen (Rohrbach, Marjoß, Hahausen, Wildeck, Sieglos, Buchenau, Ahl, Braunsen, Ufhausen, Wulften, Quentel, Küchen, Escherode, Sterbfritz, Burgjoß, Ützhausen und Queck) in den lagerstättenkundlich relevanten Bereichen abschnittsweise analysiert und geochemisch bearbeitet. Dabei sind 1 053 Proben auf 15, ca. 600 davon auf 16 Elemente, teilweise durch Doppelbestimmungen abgesichert, mit insgesamt 17 992 Einzelbestimmungen untersucht worden (s. auch Dez. II 4). Bis auf die Brg. Ützhausen und Queck sind alle Proben parallel auch mit dem ICP-Emissionsspektrometer analysiert worden. Bis auf wenige Ausnahmen ergab sich eine zufriedenstellende Übereinstimmung der mit den verschiedenen Methoden erzielten Analysenwerte. Die Elemente Si, Ag und V wurden ausschließlich mit diesem Gerät bestimmt.

Für die Brg. Rohrbach, Ahl, Braunsen, Quentel und Küchen wurden 1 739 Mineralanalysen mit der Mikrosonde zur erzmikroskopischen Bearbeitung durchgeführt. Im Falle der Brg. Braunsen ergab sich dabei eine erstmals im Kupferschiefer des SE-Harzvorlandes erkannte zonierte Paragenesen-Abfolge in Abhängigkeit von der räumlichen Lage der „Rote-Fäule“-Fazies. Die petrographische Untersuchung der begleitenden Zechsteinsedimente (rd. 250 Dünnschliffe) ist noch nicht abgeschlossen.

Im Zusammenhang mit der geochemischen Auswertung der analytisch-chemischen Daten sind Korrelationsdiagramme und zahlreiche Profile, z. T. unter Zuhilfenahme von EDV-Programmen, für die meisten hier angeführten Bohrungen erarbeitet worden. Für die geologische Landesaufnahme wurden Teilflächen petrologisch bearbeitet und die Erläuterungsbeiträge zur GK 25, Bl. 4520 Warburg („Petrographie der basaltischen Gesteine“) sowie Bl. 5518 Butzbach („Petrographie der Vulkanite“ und „Verwitterungsbildungen der Vulkanite“) erstellt. Die Ergebnisse der Arbeiten an den Forschungsbohrungen im Hohen Vogelsberg sind in der Reihe Geol. Abh. Hessen, **81**, 1981 veröffentlicht.

Zur Unterstützung der petrologischen Arbeiten an basaltischen Gesteinen erfolgten mit der Mikrosonde 473 Mineralanalysen an Plagioklasen, Pyroxenen und Gläsern der Basalte von Bl. 5518 Butzbach und 105 Mineralanalysen von den gleichen Mineralen in Basalten des Bl. 5721 Gelnhausen. 208 Mikrosonden-Analysen sind zum Nachweis des Nb-Trägers in Phonolithen, 408 Analysen von Uranmineralen durchgeführt worden. In diesem Zusammenhang wurde in 97 Proben mit dem Gamma-Spektrometer das radioaktive Gleichgewicht bzw. Ungleichgewicht zwischen Uran und seinen Folgeprodukten überprüft. Insgesamt wurden mit der Mikrosonde 3 650 Mineralanalysen erstellt und 171 Sekundärelektronen bzw. Element-Verteilungsbilder angefertigt.

Mit dem Röntgenfluoreszenz-Sequenzspektrometer sind 117 Basaltproben auf 8 Komponenten (936 Einzelbestimmungen), in gleicher Weise 29 Tonproben auf 8 Komponenten analysiert worden (232 Einzelbestimmungen). An 98 weiteren tonigen Sedimentproben wurden die Tonminerale röntgenographisch halbquantitativ bestimmt. Zusätzlich wurden 4 Verwitterungsbildungen von Basalten und 8

Basaltproben röntgenographisch auf Analcim untersucht und in 34 Proben aus Kupferschieferbohrungen Karbonatminerale halbquantitativ bestimmt.

Auf dem Gebiet der Datenverarbeitung sind weitere Rechenprogramme im Rechner PDP 11/34 modifiziert und installiert worden, und zwar für die statistische und graphische Auswertung von RF-Gesteinsanalysen und Mikrosonden-Analysen. Darüberhinaus wurde das Betriebssystem des PDP-11 Rechners an der Mikrosonde modifiziert und neue Programme dortselbst installiert. In abteilungsübergreifender Zusammenarbeit wurden Programme zur Datenerfassung und für die statistische Auswertung von Daten in der Geohydrochemie geändert, getestet und angewendet.

Darüberhinaus sind neue Programme zur Übernahme von ICP-Daten auf den Rechner PDP 11/34 sowie zur Umrechnung und graphischen Darstellung von Sulfid-Mineralanalysen (Mikrosonde, Kupferschieferprojekt) erarbeitet worden.

II 3. Ingenieurgeologie

Im Berichtszeitraum sind

- 146 Gutachten (283/272/176*)
- 63 Stellungnahmen mit gutachtlichem Aussagewert (74/80/66)
- 533 Stellungnahmen zu Bauleit- und Flächennutzungsplänen

erstellt worden.

Die Zahlen der Gutachten verteilen sich wie folgt:

- 65 Behördenbauten (32/42/48), 1 Universitätsneubau (8/4/1), 20 Bauvorhaben der inneren und äußeren Sicherheit (35/35/10), 1 Gerichtsgutachten (-), 4 Bauvorhaben der Landkreise und Kommunen (54/30/19), 4 Bauvorhaben nach den RSG, FBG und WVVO (14/9/14), 1 Allgemeine Straßenbauvorhaben (22/14/5), 1 Gutachten für Ingenieurbauwerke (66/65/22), 3 Gutachten für Straßentunnel, 11 Gutachten für Talsperren und HRB (9/15/14), 31 Gutachten für Aufsichtsbehörden (36/39/30), 4 Gutachten über Rutschungen (3/5/5).

Außerdem wurde im Berichtszeitraum das ingenieurgeologische Kapitel für die Erläuterungen zur GK 25, Bl. 5518 Butzbach erstellt.

Bei folgenden Talsperren- und Hochwasserrückhaltebecken fand eine mehr oder weniger ständige Beratung statt:

Ernstbach-Tsp.:	Vorbereitung Untersuchungsphase E
Twiste-Tsp.:	Probestau, Freigabe in Dauerbetrieb
Antritt-Tsp.:	Probestau, Freigabe in Dauerbetrieb
Kirchheim:	Probestau, Freigabe in Dauerbetrieb
Kinzig-Tsp.:	Vorbereitung des Probestaues
Marbach/Erbach:	Bauarbeiten
Lich:	Bauarbeiten
Eichelbach-Tsp.:	Weitere Untersuchungen zur baureifen Planung
Gilsa:	Vorbereitung des Untersuchungsprogramms
Jugenheim:	Überprüfung der Dichtigkeit
Reichenbach:	Überprüfung der Dichtigkeit

* Vergleichszahlen 1978, 1979, 1980.

Ab Mitte des Berichtszeitraumes begann die laufende Abnahme der Tonoberfläche in der Sohle der Industriemülldeponie Mainflingen.

Besonders erwähnt werden sollen an dieser Stelle die umfangreichen Arbeiten für die Neubaustrecke Hannover–Würzburg der Deutschen Bundesbahn. Im Juni 1981 wurde mit der Deutschen Bundesbahn eine neue Vereinbarung über diese Arbeiten für die nächsten 3 Jahre abgeschlossen, welche auch die Finanzierung der Mittel für 7 außerplanmäßige Mitarbeiter sicherstellt. Ziele und fachlicher Inhalt dieser Vereinbarung sind, daß die Beiträge und Belange des Gesamtbereichs Geologie bereits während der Erkundungs- und Entwurfsarbeiten der Ingenieurbüros in die Planung einfließen und damit die Raumordnungs- und Planfeststellungsverfahren ohne Verzögerung laufen können und daß das spezielle Fachwissen im HlFB der Planung zugute kommt. Das HlFB wirkt damit sowohl als Fachaufsicht für den Regierungspräsidenten als auch als koordinierende Stelle für die Deutsche Bundesbahn. Außerdem werden einige spezielle geologische Leistungen direkt vom HlFB erbracht, wie

- stratigraphische Einstufung aller Bohrungen
- geoelektrische Erkundung von Tunnelstrecken und Talbrücken auf Folgeerscheinungen des tiefen Salinarkarstes
- luftbildgeologische Bearbeitung von Tunnelstrecken hinsichtlich des tektonischen Beanspruchungsgrades.

Die Arbeiten waren im Berichtsjahr in vollem Gange. Mit dem Beginn der Tunnelbauarbeiten ist 1982 zu rechnen. Insgesamt wurden für die DB im Berichtszeitraum 27 Berichte und Stellungnahmen mit gutachtlichem Aussagewert abgegeben.

II 4. Zentrale Laboratorien

In den zentralen Laboratorien werden die zur Erfüllung der Aufgaben des Amtes notwendigen Boden-, Gesteins- und Wasseranalysen und die Bestimmung von Erdstoff- und Gesteinskennwerten ausgeführt.

Im bodenmechanischen Labor wurden 163 Kornverteilungen, 24 Plastizitätsgrenzen, 64 Kompressionsversuche, 20 Einaxiale Druckversuche, 30 Dreiaxiale Druckversuche, 10 Wiener Routine-scherversuche, 24 Proctorversuche, 8 Glühverluste, 12 Durchlässigkeitsversuche durchgeführt und bestimmt.

Im chemischen Labor wurden 493 Böden auf insgesamt 5 226 Einzelbestandteile (für oberflächennahe Lagerstätten, Bodenkunde, Schwermetallbelastung), 138 Gesteine auf insgesamt 1 633 Einzelbestandteile (meist für geol. Landesaufnahme), 351 Wasseranalysen mit 3 819 Einzelbestimmungen (für Hydrogeologie und Ingenieurgeologie) und 704 Bohrkern auf insgesamt 17 992 Einzelbestandteile (Kupferschieferprogramm) untersucht.

III. Hydrogeologie und Geotechnologie

III 1. Allgemeine Hydrogeologie

Verfolg von Bohrungen

Im Jahresverlauf wurden 186 Bohrungen, vorwiegend zur Grundwassererschließung und zur Einrichtung von Grundwasserstandsmeßstellen niedergebracht, im

Gebiet des Landes Hessen verfolgt und Schichtenverzeichnisse von insgesamt 708 Bohrungen in das Archiv gegeben.

Grundlagentätigkeit

Auf Bl. 5616 Grävenwiesbach fand eine hydrogeologische Feldkartierung mit Abflußmessungen und Wasserprobenahmen statt. – Die Bearbeitung der hydrogeologischen Erläuterungsanteile zum Bl. 5518 Butzbach wurde abgeschlossen und die zu den Bl. 4520 Warburg, 5616 Grävenwiesbach und 5622 Steinau begonnen.

Zur Standortkarte im Rahmen der agrarstrukturellen Vorplanung sind die Bl. L 5514 Weilburg, L 5516 Wetzlar, L 5518 Gießen und L 5714 Limburg a. d. Lahn mit den Themeninhalten „Grundwasserergiebigkeit“ und „Verschmutzungsgefährdung“ als hydrogeologische Karten erstellt worden. Die Bearbeitung der hydrogeologischen Themenkarten zu den Bl. L 5314 Dillenburg, L 5316 Gladenbach und L 5716 Bad Homburg v. d. Höhe wurde begonnen.

Eine hydrogeologische Karte der Grundwasserstockwerksgliederung im hessischen Oberrheingrabenanteil wurde für das vorgesehene Grundwassermodell des Hessischen Riedes fertiggestellt. Die Arbeiten an einer Übersichtskarte zur Einsatzmöglichkeit von Grundwasser-Wärmepumpen in Hessen einschließlich eines Erläuterungsberichtes sind abgeschlossen.

Für das DFG-Forschungsprogramm zur Erkundung der natürlichen Lösungsinhalte an Metallen und Halbmetallen in Grundwässern wurden die Wasserprobenahmen beendet und ein Abschlußbericht erstellt, der im Geologischen Jahrbuch veröffentlicht wird. – Im Rahmen des Drei-Länder-Untersuchungsprogramms „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung im Rhein-Nekkar-Raum“ wurde die Stufe 2 mit Besprechungen begonnen und ein Dreijahres-Arbeitsprogramm erstellt. – Das Forschungsprogramm „Wasser- und Stoffhaushalt in Abfalldeponien und deren Wirkung auf Gewässer“ ist abgeschlossen, eine Veröffentlichung vorgesehen. Zu dem vorgesehenen Erkundungsprogramm „Qualitatives und quantitatives Grundwasserdargebot in Hessen“ fanden Besprechungen statt.

Archiv und Dokumentation

Der Zuwachs an Archivmaterial betrug 4 717 Stück, davon 550 Gutachten, Berichte und Schreiben mit gutachtlichem Aussagewert sowie 3 292 Schichtenverzeichnisse von Bohrungen und Sondierungen. Ausgeliehen: 1 513 Archivstücke; in dieser Zahl sind die in den Archivräumen eingesehenen Archivalien nicht enthalten.

Unter Einsatz des DV-Verfahrens ABOHRKA (Aufschluß- und Bohrkataster Hessen) wurde in Zusammenarbeit mit der Hessischen Zentrale für Datenverarbeitung (HZD), Wiesbaden, die Überarbeitung des Bohrarchivs fortgeführt. Die Bl. 4520 Warburg und 5616 Grävenwiesbach mit insgesamt 720 Bohrungen sind revidiert, Listenwerke und Bohrpunktkarten verschiedener Maßstäbe erstellt worden. Außerdem wurden Nachträge und Umstellungen auf den inzwischen

erweiterten Datensatz von insgesamt 1000 Bohrungen der Bl. 5518 Butzbach und 5622 Steinau vorgenommen.

An eigenen DV-Anlagen und bei der HZD erfolgte der Einsatz verschiedener Programme und Programmsysteme, vor allem für gefügekundliche/tektonische Untersuchungen (Programmsystem GELI) sowie für geochemische, ingenieurgeologische, geohydrochemische und geophysikalische Berechnungen und Auswerteverfahren. Einen besonderen Schwerpunkt bildete der Einsatz von DV-Verfahren für die Luftbildgefügeanalyse. – Für die Neukonzeption der DV-unterstützten Auswertung von geohydrochemischen Analysendaten fand entsprechend den Anforderungen des hessischen DV-Verbundes (DV-Leitsätze) eine Aufgabenuntersuchung statt. Ein Einsatzprüfungsbericht wurde für den Bereich „Standsicherheitsuntersuchungen von Böschungen“ erstellt.

Als Bestandteil der Geschäftsordnung des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung ist eine Archivbenutzungsordnung erarbeitet worden.

III 2. Angewandte Hydrogeologie

Die 182 erstatteten Gutachten (Vorjahr 211) verteilen sich folgendermaßen auf die Sachgebiete:

1. Wassererschließung	24
2. Uferfiltratgewinnung, künstliche Grundwasseranreicherung	1
3. Beurteilung vorhandener Wassergewinnungsanlagen	4
4. Wasserschutzgebiete	44
5. Beurteilung grundwassergefährdender Einrichtungen und Maßnahmen in qualitativer Hinsicht	62
6. Erlaubnisse, Bewilligungen und Genehmigungen zum Bau oder Betrieb von Wassergewinnungsanlagen	6
7. Beurteilung grundwassergefährdender Einrichtungen und Maßnahmen in quantitativer Hinsicht	4
8. Beurteilung von Grundwasserständen und Grundwasserstandsänderungen	2
9. Heil- und Mineralquellen (Erschließungen, Schutzgebiete)	3
10. Ausnahmegenehmigungen in Schutzgebieten (Heilquellen, Trinkwasser)	24
11. Untersuchung größerer Gebiete, Rahmen-, Sonder-, Generalpläne	2
12. Landwirtschaftlicher Wasserbau, Dränung, Bewässerung, Beregnung	2
13. Vernässung, Wasserhaltung oder Bauwerkswasserfragen	4

182

Außerdem wurde in 195 Schreiben mit gutachtlichem Aussagewert (Vorjahr 258) zu Fragen der angewandten Hydrogeologie Stellung genommen.

Gegenüber dem Vorjahr zeigen sich merkliche Veränderungen vor allem auf den Sachgebieten 1, 4 und 5. Während der Rückgang um 9 Gutachten des Sachgebietes 1 „Wassererschließung“ durch die entsprechende Zunahme der Erstattungen beim Sachgebiet 4 ausgeglichen wird, ist die Minderung um 19 Gutachten beim Sachgebiet 5 als echter Rückgang anzusehen. Jedoch brachten gerade Gutachten und Beratungen zu Einrichtung oder Erweiterung von Kreismüll- oder größeren städtischen Deponien, wie z. B. Brandholz/Hochtaunuskreis, Grube Mölter/Kreis Darmstadt-Dieburg, Bodenkippe West/Stadt Darmstadt, Gelnhausen-Hailer/Main-Kinzig-Kreis, Schelder Wald/Lahn-Dill-Kreis, Flörsheim-Wicker/Main-Taunus-Kreis, einen ungewöhnlich starken Arbeitsanfall. Hinzu kommen die aufwendigen Beratungen von Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen (Lager-

flüssigkeiten) in Kassel, Bad Orb, Hanau, Eschborn, Frankfurt einschließlich Flughafen und Raunheim sowie die Mitwirkung bei Planung und Neukonzeption eines Entwässerungssystems für die vorgesehene Startbahn 18 West auf dem Frankfurter Flughafen, wobei allein durch nach hydrogeologischen Gesichtspunkten richtige Auswahl der unumgänglichen Auflagen Kosteneinsparungen von nahezu 100 Mio. DM erreicht werden konnten.

Weitere ganzjährige Beratungsschwerpunkte bildeten hydrogeologische Fragen im Bereich der Bundesbahnneubaustrecke Kassel–Würzburg, die vorgesehenen Grundwasserentnahmen im Vogelsberg durch Wasserverband Kinzig und Oberhessische Versorgungsbetriebe AG, die geplanten Grundwasseranreicherungsmaßnahmen im Hessischen Ried und im Landkreis Offenbach sowie Erkundung und Überwachung der Arbeiten zur Sohldichtigkeit der Sonderabfalldeponie Mainhausen-Mainflingen/Kreis Offenbach.

In 18 von Abteilungsangehörigen angesetzten und hydrogeologisch beratenen Wasserbohrungen wurden rd. 193 l/s (ca. 6,1 Mio. m³/a) gewinnbaren Grundwassers nachgewiesen.

III 3. Geotechnologie und Infrastrukturgeologie

Geotechnologie

Voruntersuchungen und Besprechungen fanden statt für das Kavernenspeicher-Projekt im Salinar Osthessens sowie im Zusammenhang mit der vorgesehenen Wiederaufnahme des Braunkohlenabbaues auf dem Meißner. – Die Kaliabwasserversenkung im Werra-Kalirevier und die Haldenabwasserversenkung im Fulda-Kalirevier wurden laufend überwacht.

Infrastrukturgeologie

Im Berichtszeitraum waren in diesem Fachgebiet 1 415 Auftragseingänge zu verzeichnen (Vorjahr 1 094). Sie wurden nach infrastrukturgeologischen Gesichtspunkten überprüft, abgestimmt und federführend bearbeitet. In 680 Fällen sind schriftliche Stellungnahmen (Vorjahr 837) abgegeben worden. Sie verteilen sich auf 402 Bebauungspläne, 99 Flächennutzungspläne, 54 Raumordnungs-/Planfeststellungs-/Planverfahren, 22 Flurbereinigungsverfahren bzw. agrarstrukturelle Vorplanungen, 4 Regionale Raumordnungspläne, 11 Landschafts(rahmen)pläne und Fachpläne, 61 Naturschutzverfahren, 24 Abweichungsverfahren und 3 parlamentarische Anfragen. – Weiterhin wurden mehrfach Stellungnahmen zu verschiedenen Standorten für Industrieansiedlungen abgegeben.

Veröffentlichungen von Angehörigen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

- ANDERLE, H.-J. (1981): Klüfte. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.: 112–114, 1 Tab.; Wiesbaden.
- BARGON, E. (1981): Tätigkeitsbericht des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung für das Geschäftsjahr 1980 (1. 1.–31. 12. 1980). – Geol. Jb. Hessen, **109**: 219–235; Wiesbaden.

- BEURER, M. (1981): Ingenieurgeologie. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5518 Butzbach: 149–157, 5 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- BLUM, R. (1981): Gravity Calculation for 2-D bodies, in: Manual of Geophysical Hand-calculator Programs, Soc. of Exploration Geophys.; Tulsa/Oklahoma.
- (1981): Geophysik. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5518 Butzbach: 107–114, 7 Abb.; Wiesbaden.
- BÖKE, E., & LINDSTEDT, H. J. (1981): Zur Grundwasserneubildung in Waldgebieten der Rhein-Main-Niederung. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 179–189, 2 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- DIEDERICH, G., & HICKETHIER, H. (1981): Das Buntsandsteinprofil der Tiefbohrung Ahl (Nordspesart) und seine paläogeographische Stellung. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 57–72, 1 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- EHRENBERG, K.-H. (1981): Ein tertiärer Vulkankrater bei Hungen-Langd (Vogelsberg). – Geol. Jb. Hessen, **109**: 103–113, 4 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- FROMM, K., GRUBBE, K., HARRE, W., HENTSCHEL, G., HÖLTING, B., HOLTZ, S., KREUZER, H., MEISL, S., NÖRING, F., PLAUMANN, S., PUCHER, R., STRECKER, G., SUŠIĆ, M., & ZSCHAU, H.-J. (1981): Forschungsbohrungen im Hohen Vogelsberg (Hessen). Bohrung 1 (Flösser-Schneise), Bohrung 2/2A (Hasselborn). – Geol. Abh. Hessen **81**, 166 S., 89 Abb., 17 Tab., 9 Taf.; Wiesbaden.
- & STRECKER, G. (1981): Vulkanische Gesteine. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.: 70–84, 2 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- FICKEL, W. (1981): Untersuchungen über Erosionseinflüsse bei landwirtschaftlich genutzten Böden Frankreichs (Bericht über ein Colloquium vom 20. bis 23. 9. 1978 in Straßburg). – Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **30**: 255–260; Göttingen.
- in ZAKOSEK, H., BECKER, H., FICKEL, W., BRANDNER, E. (1981): Weinbau-Standortkarte Rheingau 1:5 000, Bl. Erbach; Wiesbaden.
- FINKENWIRTH, A. (1981): Untertage-Deponie in aufnahmefähigen Schichten. – In: Ulmanns Encyclopädie der technischen Chemie, **6**, 4. Aufl., 3 S., 1 Tab.; Weinheim (Verlag Chemie).
- GOLWER, A. (1981): Versickerungsverhalten und Ausbreiten von Mineralölen und Chemikalien im Untergrund. – Ber. Tagung Ver. z. Förderung d. Wasser- und Lufthygiene (VFWL) am 19./20. März in Brugg-Windisch: 27–33, 4 Abb., 3 Tab.; Zürich.
- Versickerungsverhalten und Ausbreitung von Mineralölen und Chemikalien im Untergrund. – Erdöl u. Kohle–Erdgas–Petrochemie, **34**: 455, 1 Bild; Leinfelden-Echterdingen.
- HENTSCHEL, G. (1981): s. EHRENBERG, K.-H., et al.
- HERZBERG, A. (1981): Hessisches Geologisches Schrifttum 1979 mit Nachträgen aus den Jahren 1973–1978. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 205–214; Wiesbaden.
- HICKETHIER, H. (1981): s. DIEDERICH, G., & HICKETHIER, H.
- HÖLTING, B. (1981): Vorkommen und Verbreitung von tiefen Grundwässern des Na₂-SO₄-Typs in Hessen. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 139–146, 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- (1981): Hydrogeologische Ergebnisse der Bohrung 2/2A. – Geol. Abh. Hessen, **81**: 122–126, 1 Abb., 1 Tab.; Wiesbaden.
- (1981): Geophysikalische Bohrlochmessungen in der Bohrung 2/2A. – Geol. Abh. Hessen, **81**: 126–129, 2 Taf.; Wiesbaden.
- (1981): Hydrogeologische Probleme bei der Wassererschließung in Klufftgrundwasserleitern. – bbr, **32** (5): 165–198, 3 Abb.; Köln.
- HOLTZ, S. (1981): Technische Durchführung der Bohrungen. – Geol. Abh. Hessen, **81**: 25–27; Wiesbaden.
- HORN, M., in BUSSE, E., & HORN, M. (1981): Fossilführung und Stratigraphie der Gelben Basisschichten (Oberer Muschelkalk) im Diemelgebiet. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 73–84, 1 Abb.; Wiesbaden.
- KARSCHNY, A., & KUTSCHER, F. (1981): OSKAR ROSE †. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 216–218, 1 Bild; Wiesbaden.
- KÜMMERLE, E. (1981): Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt 5518 Butzbach; Wiesbaden.
- mit Beiträgen von ABEL, H., BEURER, M., BLUM, R., SCHARPFF, H.-J., SCHRADER, L., SCHRICKE, W., STRECKER, G., WIEGAND, K. (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt 5518 Butzbach, 214 S., 30 Abb., 13 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.

- KULICK, J. (1981): Burg Eisenberg bei Goldhausen. – Archäol. Denkmäler Hessen, **17**, 12 S., 10 Abb.; Wiesbaden.
- (1981): Zechstein. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.: 15–17; Wiesbaden.
- in LEIFELD, O. u. KULICK, J. (1981): Regionale Erkundung des Kupferschiefers in Hessen im Vorfeld industrieller Exploration. – Rahmenprogramm, Rohstoffforschung, Statutseminar 1981 Mineralische Rohstoffe: 281–290, 1 Abb.; Jülich.
- KUPFAHL, H.-G., MATTHESS, G., RÖSING, F., & THEWS, J.-D. (1981a): Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.; Wiesbaden.
- mit Beiträgen von ANDERLE, H.-J., BUSSE, E., EHRENBERG, K.-H., HAHNER, A., JANSSEN, R., KULICK, J., PLAUMANN, S., RAMBOW, D., REICHMANN, H., RITZKOWSKI, S., RÖSING, F., STRECKER, G., ULRICH, H.-J., VAUPEL, O. (1981b): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25 000, Blatt 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl., 212 S., 15 Abb., 17 Tab., 3 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- LINDSTEDT, H. J. (1981): s. BÖKE, E., & LINDSTEDT, H. J.
- MEISL, S., & PÖSCHL, W. (1981): Radioactive Disequilibrium in Uranium Occurrences of the Odenwald, West-Germany. – In: Ore Genesis – The State of the Art (Ed. by G. C. AMSTUTZ et al.): 590–597; Berlin–New York–Heidelberg (Springer).
- MOTZKA-NÖRING, R., & WEBER, K. (1981): Das Paläozoikum und die phyllitischen Gesteine von Welda (Bl. 4925 Sontra). – Geol. Jb. Hessen, **109**: 19–22, 1 Taf.; Wiesbaden.
- PAULY, E. (1981): Der Abbau oberflächennaher Lagerstätten im Rahmen der Landnutzung und der Regionalplanung. – In: Probleme bei der Fortschreibung der Regionalen Raumordnungspläne; Arbeitskreise zur Landentwicklung in Hessen, L 3: 107–135; Wiesbaden.
- (1981): Wege zur gesicherten Versorgung mit heimischen mineralischen Rohstoffen aus oberflächennahen Lagerstätten. – Erzmetall, **34**, Nr. 10: 511–518; Weinheim.
- PÖSCHL, W. (1981): s. MEISL, S., & PÖSCHL, W.
- PRINZ, H., REUL, K., & SCHOLZ, N. (1981): Neue Wege zur Erkundung tektonischer Strukturen im Tunnelbau. – Rocks Mechanics, **11**: 9–32, 10 Abb.; Wien (Springer).
- RABIEN, A., in BUGGISCH, W., RABIEN, A., & HÜHNER, G. (1981): Zum Alter des unterkarbonischen Deckdiabases (Effusiv-Diabas) bei Oberscheld (Dillmulde, Rheinisches Schiefergebirge). – Geol. Jb. Hessen, **109**: 37–55, 3 Abb., 2 Tab.; Wiesbaden.
- RAMBOW, D. (1981): Hydrogeologie. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.: 132–146, 3 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- REICHMANN, H. (1981): Böden. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.: 127–131; Wiesbaden.
- REUL, K. (1981): s. PRINZ, H., et al.
- RÖSING, F. (1981): s. KUPFAHL, H.-G., et al. 1981a
- in BUSSE, E., RÖSING, F., VAUPEL, O. (1981): Muschelkalk. – Erl. geol. Kt. von Hessen 1:25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl.: 41–47, 1 Tab.; Wiesbaden.
- SCHARPFF, H.-J. (1981): Mineralwässer. – Erl. geol. Kt. 1:25 000, Bl. 5518 Butzbach: 130–139, 1 Abb., 2 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- SCHRADER, L. (1981): Böden. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5518 Butzbach: 144–148; Wiesbaden.
- (1981): Bodenkarte von Hessen 1:25 000, Blatt 5418 Gießen; Wiesbaden.
- mit Beiträgen von ASTHALTER, K., HENTSCHEL, G., THIELICKE, G. (1981): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25 000, Bl. 5418 Gießen, 124 S., 8 Tab., 6 Prof.; Wiesbaden.
- SCHRICKE, W., & STRECKER, G. (1981): Vulkanische Gesteine. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5518 Butzbach: 52–77; Wiesbaden.
- in KÜMMERLE, E., & SCHRICKE, W. (1981): Verwitterungsbildungen der Vulkanite, Basalteisenstein, Bauxitknollen, Roterden. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5518 Butzbach: 78–79; Wiesbaden.
- STENGEL-RUTKOWSKI, W. (1981): Erd- und Landschaftsgeschichte. – Camberg – 700 Jahre Stadtrechte: 11–16, 3 Abb., 1 Tab.; Camberg.
- (1981): Bodenschätze, Wasser und Baugrund. – Camberg – 700 Jahre Stadtrechte: 155–158; Camberg.

- Wandern im Taunus – Wandern über 300 Millionen Jahre Erdgeschichte. – Wander-Almanach „Wiesbaden wanderbar“: 94–96, 1 Abb.; Wiesbaden.
- STRECKER, G. (1981): s. EHRENBERG, K.-H., & STRECKER, G.
- (1981): s. EHRENBERG, K.-H., et al.
- (1981): s. SCHRICKE, W., & STRECKER, G.
- SUSIC, M. (1981): s. EHRENBERG, K.-H., et al.
- THEWS, J.-D. (1981): s. KUPFAHL, H.-G., et al. 1981 a
- THIELICKE, G. (1981): Ergänzung zu einer Goldbestimmung. – Geol. Jb. Hessen, **109**: 137; Wiesbaden.
- WEIDNER, E. (1981): Geomorphologisch bedingte Differenzierungen der Bodengesellschaften am Südfuß des Himalayas (Süd-Nepal). – Z. Geomorph., N. F., Suppl.-Bd. **39**: 123–137; Berlin–Stuttgart.
- WIEGAND, K. (1981): Hydrogeologie. – Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5518 Butzbach: 115–143, 5 Abb., 6 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden.

Nachtrag

- HENTSCHEL, G. (1980): Neue Mineralfunde aus dem Laacher Vulkangebiet. – Mainzer geowiss. Mitt., **9**: 121–125; Mainz.

Fachvorträge von Angehörigen des Landesamtes

- BARGON, E.: Möglichkeiten der Bodenkunde zur Lösung von Umweltproblemen. – Fachbereiche Geowissenschaften und Biologie der TH Darmstadt, 4. 2. 1981.
- BARTH, W.: Sind Rohstoff-Gewinnungsstellen aus oberflächennahen Lagerstätten Landschaftsschäden? – DGG-Symposium „Skylia und Charybdis“, Erlangen, 28. 4. 1981.
- EHRENBERG, K.-H.: Exkursionsführung: Geologisch-petrologische Exkursion in den Vogelsberg. – Mineral. Inst. Univ. Freiburg/Breisgau, 13.–14. 10. 1981.
- FICKEL, W.: Die Bedeutung der Bodenkarte für planerische Arbeiten in kommunalen Ballungsgebieten, dargestellt an der Bodenübersichtskarte Frankfurt am Main. – Tagung der DBG, Berlin, 9. 9. 1981.
- GOLWER, A.: Versickerungsverhalten und Ausbreiten von Mineralölen und Chemikalien im Untergrund. – Tagung des Vereins zur Förderung der Wasser- und Lufthygiene, Brugg-Windisch, Schweiz, 19. 3. 1981.
- Verunreinigungen des Grundwassers. – Akademie für Pharmazeutische Fortbildung der Landesapothekerkammer Hessen, Darmstadt, 13. 6. 1981.
- HOLTZ, S.: Twiste-Talsperre – Errichtung der Stauanlage und Ergebnis des Probestaus. – Geol. Inst. TH Darmstadt, 25. 11. 1981.
- Grundlagen der ingenieurgeologischen Untersuchungsmethodik zur Felsdurchlässigkeit bei Talsperren. – Techn. Akademie Wuppertal, 3. 12. 1981.
- SCHENK, V., SCHRANZ, H.: Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen für die geplante Ernstbachtalsperre im Taunus. – 3. nat. Tagung Ingenieurgeologie, Ansbach, 8. 5. 1981.
- KÜMMERLE, E.: Vulkane und Erdbeben – sind wir davor sicher?. – Pfarrgemeinde Eltville-Martinsthal, 27. 1. 1981.
- Bodenschätze und Bergbau im Rheingau. – Gesellschaft zur Förderung der Rheingauer Heimatforschung, Rüdeshheim a. Rh., 15. 12. 1981.
- KULICK, J., LEIFELD, O.: Regionale Erkundung des Kupferschiefers in Hessen im Vorfeld industrieller Exploration. – Berlin 19. 5. 1981.
- LAEMMLEN, M.: Die Neubaustrecke Kassel – Fulda der Deutschen Bundesbahn und ihre geologischen Probleme. – Melsungen, 22. 10. 1981.
- PAULY, E.: Steine- und Erden-Lagerstätten in Hessen. Entstehung, Gewinnung und Verarbeitung. – Nass. Ver. Naturkunde, Wiesbaden, 24. 2. und 24. 3. 1981.
- Wie entstand die Landschaft unserer Heimat? – Volkshochschule Wiesbaden, 13. 5., 20. 5. und 3. 7. 1981.
- Die Heilquellen Bad Schwalbachs und ihre geologische Entstehung. – Ver. nass. Altertumskunde und Geschichtsforschung e. V. Bad Schwalbach, 15. 8. 1981.

- Die Landschaft in Hessischen Vulkangebieten. – Volkshochschule Wiesbaden, 9. 9. und 16. 9. 1981.
- Die geologischen Verhältnisse im Taunus und Westerwald und ihre Bedeutung für die Entwicklung im Gebiet des früheren Herzogtums Nassau. – Nass. Ver. Naturkunde, Wiesbaden, 13. 10. 1981.
- Bodenschätze im Usinger Land, Entstehung und Nutzung. – Geschichtsverein Usingen e. V., Usingen, 21. 10. 1981.
- PRINZ, H.: Entstehung großer Erdfälle bei tiefliegenden löslichen Schichten. – Berg- u. Hüttenmännischer Tag 1981 in Freiberg/S. (DDR), 25. 6. 1981.
- Allgemeiner Überblick über die Böden in Hessen und deren Eigenschaften – Erfahrungen und Probleme im Erdbau. – VSV Hessen, Friedberg, 1. 10. 1981.
- REICHMANN, H.: Die Veröffentlichungen naturkundlicher Vereine im Wandel der Zeit. – 7. Jahrestagung Arbeitskreis naturwiss. Vereinigungen im hessisch-fränkischen Raum, Coburg, 10. 10. 1981.
- Darstellung der Bodenkunde in den naturwissenschaftlichen Sammlungen von Museen. – 7. Jahrestagung Arbeitskreis naturwiss. Vereinigungen im hessisch-fränkischen Raum, Coburg, 10. 10. 1981.
- REUL, K.: Neue Erkenntnisse über bruchtektonische Merkmale und deren Analyse in der Fernerkundung. – DFG Kolloquium im Schwerpunktprogramm „Fernerkundung: Physikalische und methodische Grundlagen“, Bonn, 28./29. 4. 1981.
- Die Anwendung der rechnergesteuerten tektonischen Luftbildanalyse im Tunnelbau. – Frühjahrstagung des Arbeitskreises Fernerkundung und Photointerpretation der DGPF, Berlin 9. 5. 1981.
- RÖSING, F.: Die Vulkanruinen Nordhessens und ihre Bedeutung für den Natur- und Landschaftschutz. – Ges. Freunde Naturkundemuseum im Ottoneum zu Kassel e. V., Kassel, 2. 12. 1981.
- STENDEL-RUTKOWSKI, W.: Schutzgebietsbestimmung aus geologischer und hydrogeologischer Sicht. – Lehrgang d. Wasserwirtschaftsverwaltung im hess. Landwirtsch. Beraterseminar in Rausholzhausen, Krs. Marburg-Biedenkopf, 16. 11. 1981.
- Geologie und Wasserversorgung im Gebiet des früheren Herzogtums Nassau. – Nass. Ver. Naturkunde, Wiesbaden, 8. 12. 1981.
- WEIDNER, E.: Jungpleistozäne und holozäne Auenentwicklung des Untermaingebietes. – Inst. phys. Geographie Univ. Frankfurt a. M., 9. 2. 1981.

Personalbestand

Der Personalbestand wurde zuletzt im Geologischen Jahrbuch Hessen, **108** (1980): 272–273 veröffentlicht. Die nächste Übersicht wird im Band 111 (1983) gegeben.

Hochschultätigkeit

- Direktor des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung Prof. Dr. BARGON
als Honorarprofessor an der Technischen Hochschule Darmstadt (Bodenkunde).
- Geologieoberrat Dr. BERNHARD
als Lehrbeauftragter an der Gesamthochschule Kassel (Ingenieurgeologie).
- Geologieoberrat Dr. GOLWER
als Lehrbeauftragter an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a. M. (Hydrogeologie).
- Geologiedirektor Dr. HÖLTING
als Lehrbeauftragter an der Philipps-Universität Marburg/Lahn (Allgemeine Hydrogeologie I).
- Geologiedirektor Prof. Dr. MEISL
als Honorarprofessor an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a. M. (Petrologie, Geochemie).
- Geologieoberrat Dipl.-Ing. MÜLLER
als Lehrbeauftragter an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a. M. (Baugrundgeologie).
- Ltd. Geologiedirektor Prof. Dr. PRINZ
als Honorarprofessor an der Philipps-Universität Marburg/Lahn (Ingenieurgeologie I).

Geologiedirektor Dr. RÖSING

als Lehrbeauftragter an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a. M. (Germanische Trias).

Ltd. Geologiedirektor Dr. THEWS

als Lehrbeauftragter an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz (Wirtschaftliche Aspekte bei geologischen Arbeiten).

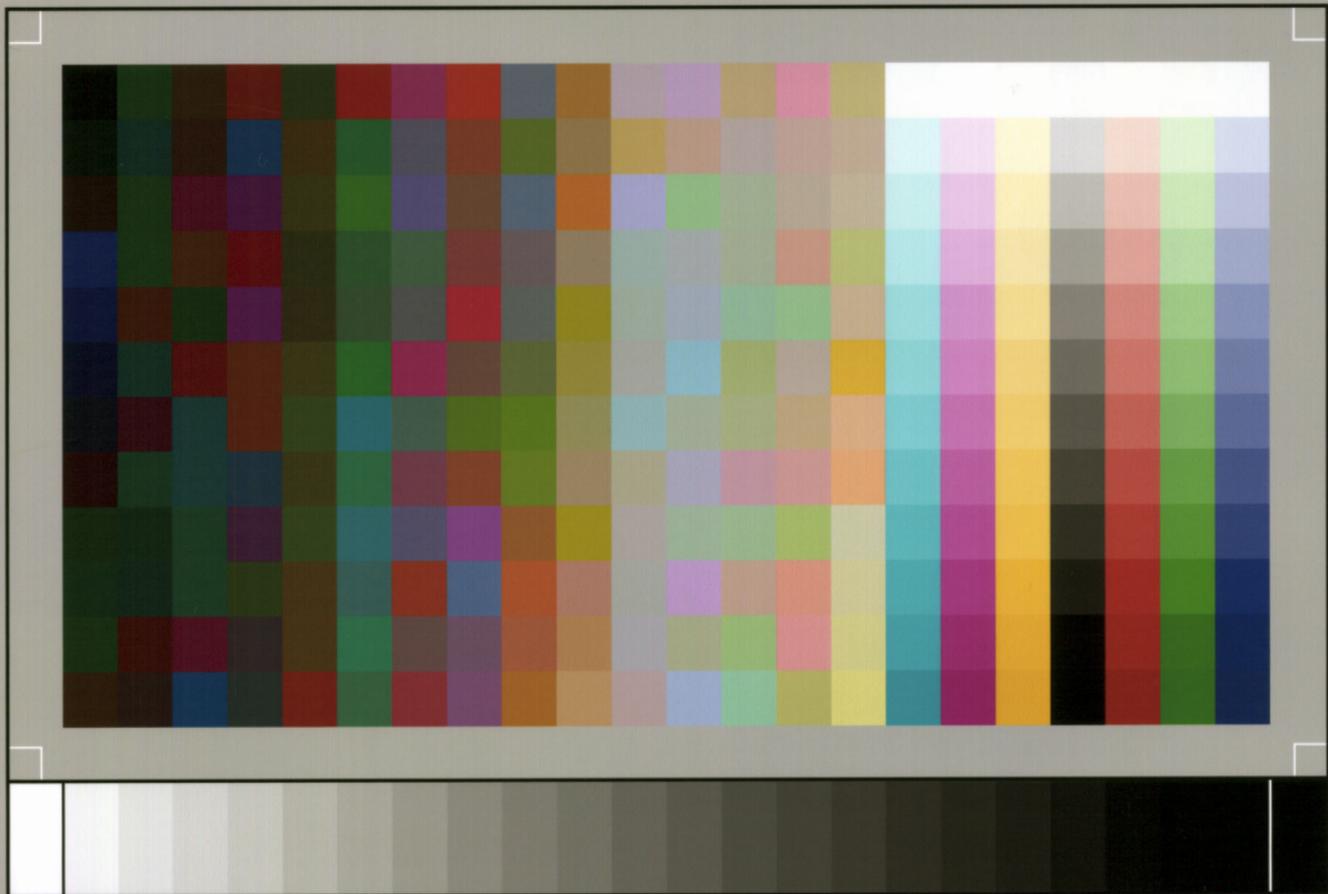
ERNST BARGON

NOTIZBLATT DES HESSISCHEN LANDESAMTES
FÜR BODENFORSCHUNG ZU WIESBADEN

VI. Folge, Heft 1, 1950: 344 S., 35 Abb., 6 Tab., 11 Taf.	17,50 DM
VI. Folge, Heft 2, 1951: 256 S., 18 Abb., 21 Taf.	16, – DM
VI. Folge, Heft 3, 1952: 476 S., 30 Abb., 24 Taf.	20, – DM
Band 81 (VI/4), 1953: 464 S., 66 Abb., 18 Taf.	20, – DM
Band 82, 1954: 411 S., 50 Abb., 10 Taf.	20, – DM
Band 83, 1955: 420 S., 58 Abb., 26 Taf.	20, – DM
Band 84, 1956: 492 S., 58 Abb., 24 Tab., 35 Taf.	20, – DM
Band 85, 1957: 555 S., 100 Abb., 55 Tab., 26 Taf., 2 Bilder	25, – DM
Band 86, 1958: 444 S., 63 Abb., 23 Tab., 20 Taf.	25, – DM
Band 87, 1959: 462 S., 72 Abb., 14 Prof., 32 Tab., 23 Taf., 1 Bild	25, – DM
Band 88, 1960: 430 S., 73 Abb., 25 Tab., 23 Taf.	25, – DM
Band 89, 1961: 504 S., 97 Abb., 16 Tab., 25 Taf.	25, – DM
Band 90, 1962: 558 S., 75 Abb., 31 Tab., 36 Taf., 1 Bild	30, – DM
Band 91, 1963: 427 S., 104 Abb., 27 Tab., 27 Taf.	30, – DM
Band 92, 1964: 340 S., 63 Abb., 19 Tab., 15 Taf.	30, – DM
Band 93, 1965: 404 S., 88 Abb., 4 Diagr., 29 Tab., 21 Taf.	40, – DM
Band 94, 1966: 456 S., 86 Abb., 13 Tab., 22 Taf.	40, – DM
Band 95, 1967: 324 S., 44 Abb., 18 Diagr., 8 Tab., 11 Taf., 2 Bilder	40, – DM
Band 96, 1968: 424 S., 61 Abb., 17 Tab., 15 Taf., 1 Bild	40, – DM
Band 97, 1969: 468 S., 99 Abb., 20 Diagr., 32 Tab., 15 Taf.	40, – DM
Band 98, 1970: 348 S., 59 Abb., 18 Tab., 19 Taf., 2 Bilder	40, – DM
Band 99, 1971: 444 S., 57 Abb., 34 Tab., 29 Taf.	40, – DM
Band 100, 1972: 332 S., 53 Abb., 38 Tab., 14 Taf.	40, – DM
Band 101, 1973: 426 S., 105 Abb., 29 Tab., 30 Taf.	40, – DM
Band 102, 1974: 355 S., 76 Abb., 14 Tab., 13 Taf.	74, – DM
Band 103, 1975: 400 S., 152 Abb., 19 Tab., 18 Taf., 1 Bild	81, – DM

GEOLOGISCHES JAHRBUCH HESSEN

Band 104, 1976: 328 S., 53 Abb., 18 Tab., 19 Taf., 1 Bild	72, – DM
Band 105, 1977: 294 S., 47 Abb., 7 Tab., 16 Taf., 3 Bilder	65, – DM
Band 106, 1978: 460 S., 91 Abb., 57 Tab., 30 Taf.	98, – DM
Band 107, 1979: 330 S., 93 Abb., 15 Tab., 4 Taf.	88, – DM
Band 108, 1980: 277 S., 68 Abb., 22 Tab., 10 Taf.	62, – DM
Band 109, 1981: 238 S., 48 Abb., 22 Tab., 4 Taf., 1 Bild	40, – DM



SP050509001

ScanPrint® *autopilot* Scan Target v2.0