

**Inhalt****Seite 5**

A. HOPPE:  
50 Jahre Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Standortbestimmung und Ausblick

**Seite 15**

J.-D. THEWS:  
Geschichte des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung 1946–1996

**Seite 39**

J.C. HESS & H.J. LIPPOLT:  
Numerische Stratigraphie permokarbonischer Vulkanite Zentraleuropas. Teil III: Odenwald

**Seite 47**

R. STRAUSS:  
Geotechnische Untersuchungen an sulfatkarstgeschädigten Tonsteinen der Röt-Folge (Oberer Buntsandstein) in Nordhessen

**Seite 67**

A.E. GÖTZ:  
Fazies und Sequenzanalyse der Oolithbänke (Unterer Muschelkalk, Trias) Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete

**Seite 87**

A.E. GÖTZ:  
Palynologische Untersuchungen zweier Geländeprofile im Unteren Muschelkalk Ost Hessens und Westthüringens

**Seite 97**

H. HAGDORN & M. SCHULZ:  
Echinodermen-Konservat-lagerstätten im Unteren Muschelkalk Ost Hessens. 1. Bimbacher Seelilienbank von Großenlüder-Bimbach

*Fortsetzung des Inhalts auf der Rückseite*

# Geologisches Jahrbuch Hessen 1996



Band 124/1996

218 Seiten, 101 Abbildungen, 32 Tabellen, 2 Tafeln, Wiesbaden 1996

ISSN 0341-4027

# **Geologisches Jahrbuch Hessen 1996**

Schriftleitung  
Dr. ANDREAS HOPPE  
Hessisches Landesamt für Bodenforschung  
Leberberg 9, 65193 Wiesbaden

#### Titelbild

Blick auf die Gebäude des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung am Leberberg in Wiesbaden. Oben sind (von links nach rechts) die Häuser 9, 11 und 5 zu sehen. Nr. 9 und 11 konnten 1960 bezogen werden, nachdem sie vorher der Firma Zellstoff Waldhof als Hauptverwaltungsgebäude gedient hatten. Das landeseigene Haus Nr. 5 wurde 1968 dem Landesamt zur Verfügung gestellt.

#### Hinweis für Autoren

Manuskripte sind entsprechend den „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, 70176 Stuttgart.

© Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1996  
ISSN 0341-4027

Printed in Germany

Die in diesem Jahrbuch veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck, Verfielfältigung 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 permission of the publisher.

Redaktion: HERMANN BRENNER, ELISABETH LOMMATZSCH  
Gestaltung: OLIVER AUMANN  
Schrift: Schneider Libretto  
Herstellung: Druckhaus „Thomas Müntzer“ GmbH  
Neustädter Straße 1-4  
99947 Bad Langensalza  
gedruckt auf chlor- und säurefreiem Papier  
Vertrieb: Hessisches Landesamt für Bodenforschung  
Leberberg 9, 65193 Wiesbaden  
Telefon: 06 11/53 70, Fax: 06 11/53 73 27

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
HOPPE, A. 50 Jahre Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Standortbestimmung und Ausblick	5
THEWS, J.-D. Geschichte des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung 1946–1996	15
HESS, J.C. & LIPPOLT, H.J. Numerische Stratigraphie permokarbonischer Vulkanite Zentraleuropas. Teil III: Odenwald	39
STRAUSS, R. Geotechnische Untersuchungen an sulfatkarstgeschädigten Tonsteinen der Röt-Folge (Oberer Buntsandstein) in Nordhessen	47
GÖTZ, A.E. Fazies und Sequenzanalyse der Oolithbänke (Unterer Muschelkalk, Trias) Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete	67
GÖTZ, A.E. Palynofazielle Untersuchungen zweier Geländeprofile im Unteren Muschelkalk Ost Hessens und Westthüringens	87
HAGDORN, H., & SCHULZ, M. Echinodermen-Konservatlagerstätten im Unteren Muschelkalk Ost Hessens. 1. Die Bimbacher Seelilienbank von Großlüder-Bimbach	97
DREHER, S. Magmatismus, Bruchstrukturen und Schollenbau im Vorderen Vogelsberg: Eine Interpretation geomagnetischer Daten	123
LEMMER, F., & RAMBOW, D. Abgedeckte geologische Karte, Höhenlage der Quartärbasis und Mächtigkeitsverteilung von pleistozänen Terrassenkiesen im Raum Kassel (Nordhessen), insbesondere im Gebiet östlich der Fulda (Bettenhausen und Waldau)	137
HOPPE, A., KÖTT, A., MITTELBACH, G. & ULMER, D. Ein Raumbild quartärer Grundwasserleiter und Grundwassernichtleiter im nördlichen Oberrheingraben	149
IVEN, H. Die Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried	159
ROSENBERG, F. & MITTELBACH, G. Geogene Arsenanreicherungen im Wiesbadener Bergkirchenviertel	175
MOLDENHAUER, K.-M. Schwermetalle und organische Schadstoffe in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen	191
BLUM, R. Das Internationale geomagnetische Referenzfeld (IGRF 1995) in Hessen für 19898.0 und 1999.0 in 300 m ü. NN	215

ANDREAS HOPPE\*

# 50 Jahre Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Standortbestimmung und Ausblick

1. Einleitung	5
2. Geologische Landesdienste im Wandel	6
3. Dienstleistungsunternehmen Geologisches Landesamt	8
4. Interdisziplinarität und Synergie	10
5. Künftige Aufgaben und Schwerpunkte	10
6. Ausblick	12

## 1. Einleitung

Der 50. Jahrestag der Wiedererrichtung eines geologischen Landesdienstes unter dem heutigen Namen „Hessisches Landesamt für Bodenforschung“ (HLfB) ist Anlaß genug, um innezuhalten und sich mit dem Stand und Entwicklungspotential der Behörde zu befassen.

Die Geschichte dieses Landesdienstes begann im Jahre 1821 mit einem Auftrag der Herzoglich Nassauischen Landesregierung an Christian Ernst Stiff zu einer „umfassenden geognostischen Untersuchung des Herzogthums“<sup>1</sup> (Abb. 1) und setzte sich fort am 13. Januar 1853 mit der Gründung der Kurhessischen Geologischen Landesanstalt in Marburg, dem ersten geologischen Landesdienst in Deutschland, und der Großherzoglich Geologischen Anstalt zu Darmstadt am 9. Dezember 1882. Seine Geschichte und seine Aufgaben sind mehrfach beschrieben worden<sup>2</sup>. An dieser Stelle wird versucht, Aufgaben und Selbstverständnis eines geologischen Landesdienstes zu beschreiben und darauf aufbauend die mögliche weitere Entwicklung vorsichtig zu umreißen.

Die staatlichen geologischen Dienste Deutschlands sind zentrale geowissenschaftliche Fachbehörden der Länder bzw. des Bundes und Dienstleistungsunternehmen an der Schnittstelle von Verwaltung, Wirtschaft und wissenschaftlicher Erforschung<sup>3</sup>. Sie wirken mit bei der in § 20a Grundgesetz formulierten Aufgabe, in Verantwortung für künftige Generationen die natürlichen

Lebensgrundlagen im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung zu schützen. Dazu ist auch ein Verständnis der Geosphäre und der Gesetzmäßigkeiten darin ablaufender Vorgänge notwendig. Erst dann lassen sich Landschaften begreifen und Risiken und Folgen menschlicher Eingriffe abschätzen.

Für den kleinen hessischen Ausschnitt auf dem Globus erfüllt das Hessische Landesamt für Bodenforschung diesen Auftrag, indem es unparteiisch das Geopotential (im Sinne eines Ertrags- und Gefährdungspotentials) des Landes ermittelt, die geowissenschaftlichen Informationen sammelt und nutzbar macht und Georisiken bewertet. Dieses Wissen stellt das Amt beratend der Landesregierung und nachgeordneten Behörden zur Verfügung, erschließt es über die Herausgabe von Karten und Schriften der Öffentlichkeit und vermittelt es gelegentlich auch auf Anfrage einzelnen Bürgern.

Von besonderem Gewicht bei diesen Aufgaben der Daseinsvorsorge ist die flächenhafte geowissenschaftliche Aufnahme und Erforschung des Landes (regionale Geologie, Bodenkunde, Hydrogeologie, Rohstoffgeologie, Ingenieurgeologie, Geophysik und Geochemie, Petrologie und Mineralogie, Paläontologie u.a.). Sie war eine der wesentlichen Grundlagen der Neuerrichtung des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung nach dem Kriege (Abb. 2).

\* Dr. A. HOPPE, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 65193 Wiesbaden

<sup>1</sup> STIFFT, C. E.: Geognostische Beschreibung des Herzogthums Nassau, in besonderer Beziehung auf die Mineralquellen dieses Landes, mit einer petrographischen Karte [1 : 125 000] und einem Niveauprofile der vorzüglichsten Mineralquellen. – 606 S., Wiesbaden 1831 (L. Schellenberg).

<sup>2</sup> vgl. F. NÖRING, Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. 81: 10, Wiesbaden 1957; E. BARGON, Geol. Jb. Hessen 115: 473, Wiesbaden 1987; J.-D. THEWS in diesem Band; Tätigkeitsbericht des HLfB 1993–1995, Geologie in Hessen 1: 44 S., Wiesbaden 1996.

<sup>3</sup> vgl. „Rechtsgrundlagen und Aufgaben der staatlichen geologischen Dienste der Bundesrepublik Deutschland“, Geol. Jb., Hannover [im Druck].

*Durchlauchtigster Herzog!*

*Gnädigster Herzog und Herr Herr!*

**E**URE HERZOGliche DURCHLAUCHT, stets mit unermüdeter Sorge für das Wohl des Landes beschäftigt, haben zu Befehlen geruht, dass die Resultate der, mir durch Höchstderselben Staatsministerium aufgetragenen, Untersuchung der geognostischen Verhältnisse des Herzogthums dem Publicum vor Augen gelegt werden sollen.

Mir wurde die gnädigste Erlaubniss zu Theil, diese, in Folge dieses Befehles ausgearbeitete, Schrift Eurer HERZOGlichen DURCHLAUCHT ehrfurchtsvollst zu Füßen legen zu dürfen.

Geruhen Höchstdieselben, für diesen neuen Beweis der höchsten Gnade, hierdurch den Ausdruck meines ehrerbietigsten Dankgefühles huldreichst anzunehmen.

Sollte es mir gelungen seyn, durch meine Arbeit den Bewohnern des Herzogthums einigen Nutzen zu gewähren: so würde dieser schöne Theil Deutschlands auch dieses Gute dem edlen Fürsten zu danken haben, der unablässig für seiner Unterthanen Wohl wacht; ich aber würde hieraus die erfreuliche Hoffnung schöpfen dürfen, den Absichten Eurer HERZOGlichen DURCHLAUCHT, nach meinen geringen Kräften, entsprochen zu haben.

Höchstderselben fortdauernden Huld mich submissst empfehlend habe ich die Gnade, mit der tiefsten Ehrfurcht zu verharren

DURCHLAUCHTIGSTER HERZOG,  
Gnädigster HERZOG und HERR,  
Eurer HERZOGlichen DURCHLAUCHT

Haag, den 20. November 1830.

unterthänigster treuehorsaamster  
C. E. Stiff.

Abb. 1. Vorwort von C.E. STIFF<sup>1</sup> zur „Geognostischen Beschreibung des Herzogthums Nassau“, gewidmet „seiner Durchlaucht, dem souverainen Herzoge zu Nassau, Wilhelm I.“.

## 2. Geologische Landesdienste im Wandel

Die Geowissenschaften – und damit auch die geologischen Landesdienste – durchlaufen eine Phase der Veränderung, bei der insbesondere drei Faktoren eine Rolle spielen: 1.) Neue Untersuchungsmethoden erlauben immer feinere zeitliche, geochemische und geophysikalische Auflösungen. 2.) Die elektronische Datenverarbeitung ermöglicht Verknüpfungen vielfältiger Informationen sowie neuartige Modellrechnungen. 3.) Mit dem Konzept der Plattentektonik hat sich vor wenig mehr als einem Vierteljahrhundert ein völlig neues geologisches Weltbild durchgesetzt, das tradierte geowissenschaftliche Gedankengebäude grundlegend verändert hat.

Mit den komplexer werdenden Fragen sind auch die Anforderungen an die geologischen Landesdienste gestiegen, was an einigen Beispielen verdeutlicht werden soll:

**Beispiel Geowissenschaftliche Landesaufnahme:** Zunächst hatte der hessische geologische Landesdienst seine Ergebnisse in einfachen, teils handkolorierten Karten mitgeteilt, die bald darauf mit ausführlichen und aufwendigen Erläuterungsbänden ergänzt wurden. Weitere Spezialisierungen führten zu Sonderkarten: Bodenkarten, hydrogeologische, geophysikalische und teils auch ingenieurgeologische Karten wurden erstellt, ebenso Rohstoffkarten und Weinbaustandortkarten für besondere Gebiete wie den Rheingau. Im Zeitalter der Datenverarbeitung sollen die vielfältigen und zahlreichen Informationen künftig in Datenbanken abgelegt und über Methodendatenbanken und geographische Informationssysteme umgesetzt werden und zugänglich sein.

**Beispiel Rohstoffgeologie:** Nicht erneuerbare Ressourcen waren und sind wesentliche Grundlage der ökonomischen Entwicklung einer Industriegesellschaft. Ihre Gewinnung kann aber zu Umweltproblemen führen und hat dies bisweilen auch getan. Mit der wachsenden Bedeutung der internationalen Rohstoffmärkte nach dem Kriege für die heimische Wirtschaft verringerte sich die Bedeutung von Erzlagerstätten und Energierohstoffen im eigenen Land. Gleichzeitig stieg der Bedarf an Baustoffen wie Kalkstein, Kies, Sand und Ton. Kiese und Sande können Grundwasser speichern, ihr Abbau verbraucht im allgemeinen große Flächen. Notwendig sind daher genaue geologische Kenntnisse, wo in Hessen welche Rohstoffe in welchen Qualitäten und Mengen vorkommen. Erst dann können Belange der Rohstoffsicherung, des Grundwasser- und Bodenschutzes gegeneinander abgewogen werden.

**Beispiel Hydrogeologie:** Arbeitsschwerpunkte haben sich von der Grundwassererschließung über den

- 92 -

125

Verordnung.

Über die Errichtung des Landesamtes für Bodenforschung.

§ 1.

Zur Geologischen Durchforschung des Gross-Hessischen Staatsgebietes wird das Gross-Hessische Landesamt für Bodenforschung errichtet.

Das im Regierungsbezirk Darmstadt bestehende Hessische Geologische Landesamt, früher Zweigstelle Darmstadt des Reichsamtes für Bodenforschung und die im Regierungsbezirk Kassel und Regierungsbezirk Wiesbaden bestehenden Arbeitsstellen des früheren Reichsamtes für Bodenforschung werden in das Landesamt für Bodenforschung überführt.

§ 2.

Das Landesamt für Bodenforschung untersteht dem Minister für Wirtschaft und Verkehr, er regelt den Aufbau der Behörde, bestimmt ihren Sitz und kann bestehende Nebenstellen aufheben oder neue Nebenstellen errichten.

Im Rahmen des Aufgabenbereichs des Landesamtes für Bodenforschung kann der Minister für Wirtschaft und Verkehr auf Anfordern des Ministers für Wiederaufbau Forschungsabteilungen und Prüfstellen errichten, die vor allem für die speziellen Bedürfnisse des Wiederaufbauministeriums Forschungsaufgaben und Prüfungen durchzuführen haben.

§ 3.

Zum Aufgabenbereich des Landesamtes für Bodenforschung gehört insbesondere:

- a) Neuaufnahme und Ergänzung des geologischen Kartenwerks,
- b) Aufsuchung und geologisch-lagerstättenkundliche Beurteilung von Vorkommen nutzbarer Bodenschätze,
- c) bodenkundliche Untersuchungen,
- d) hydrogeologische Erkundungen, sowie Durchführung des Grundwasser-Beobachtungsdienstes in Zusammenwirken mit dem Ministerium für Wiederaufbau und den Wasserwirtschaftsämtern,
- e) geologische Baugrunduntersuchungen,
- f) Analysen und geophysikalische Untersuchungen im Zusammenhang mit den unter a) bis d) genannten Aufgaben,
- g) Beratung der Gross-Hessischen staatlichen und kommunalen Behörden, insbesondere Erstattung von Gutachten für die Zwecke des Ministeriums für Wiederaufbau und Beratung, soweit ein öffentliches Interesse vorliegt, auch der Privatbetriebe in allen den Aufgabenbereich des Landesamtes für Bodenforschung berührenden Fragen,
- h) Zusammenarbeit mit den geologischen Anstalten der übrigen deutschen Länder,
- i) Pflege der wissenschaftlichen Beziehungen zu den deutschen Hochschulen sowie zu geologischen Anstalten des Auslandes.

§ 4.

Der Leiter des Landesamtes für Bodenforschung kann mit Zustimmung des Ministers für Wirtschaft und Verkehr wissenschaftliche Anstalten und Privatpersonen zur Mitarbeit heranziehen und ihnen besondere Aufgabengebiete übertragen.

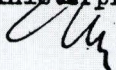
Wiesbaden, den 26. Juni 1946

Der Ministerpräsident

Gross-Hessisches Staatsministerium

Der Minister

für Wirtschaft und Verkehr



lpa. Nr. 92

Abb. 2. Die Errichtungsverordnung für das Hessische Landesamt für Bodenforschung vom 26. Juni 1946. Am 6.2.1962 wurde § 2 Abs. 2 gestrichen.

Grundwasserschutz zu Güte- und Mengenbetrachtungen verlagert. Nach dem Zweiten Weltkrieg mußten zunächst die Städte und Gemeinden mit Trinkwasser versorgt werden. Bald schlossen sich Bemühungen zum Schutz dieser Grundwasservorkommen an, und eine Phase der Ausweisung von Wasserschutzgebieten setzte ein, die in absehbarer Zeit weitgehend abgeschlossen sein wird. Untersuchungen zur Grundwasserbeschaffenheit wurden ausgedehnt. Im Hinblick auf eine nachhaltige Nutzung wurde nicht nur mit einer Qualifizierung, sondern auch mit dem Versuch einer Quantifizierung des Grundwassers begonnen, inzwischen auch mit den Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung. Mengenbetrachtungen sind bei steigendem Wasserbedarf notwendig, da „Grundwasserbergbau“ vermieden werden sollte, also die Nutzung von Wasserressourcen dort, wo sich jahrtausendealtes Grundwasser nicht innerhalb vom Menschen planbarer Zeiträume erneuern kann.

**Beispiel Modellierung:** Das Rheinische Schiefergebirge oder der Oberrheingraben mit seiner Umrahmung werden sich zwar auch künftig nicht in ein Labor stellen lassen, um in viele Millionen Jahre andauernden Versuchen Hypothesen zur Entstehung oder zu Wirkungen und Wechselwirkungen von Stoffkreisläufen testen zu können, die Möglichkeiten der Datenverarbeitung werden aber ständig verfeinerbare Modelle liefern, mit denen Hypothesen überprüft und beispielsweise geodynamische Vorgänge simuliert werden können. Die Geowissenschaften bewegen sich damit von den mehr beobachtenden, beschreibenden und qualifizierenden Ar-

beitsweisen zu quantifizierendem bzw. mathematisch beschreibbarem Vorgehen. Mathematisch-numerische Modelle und Monitoring-Verfahren werden immer bedeutsamer.

**Beispiel Zusammenarbeit:** Der „Geognost“ des vergangenen Jahrhunderts vermochte noch, sein Fach in der gesamten Breite zu überschauen. Der Fachwissenschaftler heute hat sich hingegen meist ein detailliertes Expertenwissen erarbeitet. Fachliche Tiefe und Breite sind daher nur über Zusammenarbeit erreichbar, und so hat die Arbeit in Projektgruppen im Hessischen Landesamt für Bodenforschung in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen, da komplexe Fragestellungen auf diese Art häufig besser zu lösen sind.

Den genannten, sich wandelnden Gegebenheiten und Anforderungen sind gerade Geologen in besonderem Maße gewachsen. Grundlagen dafür sind die breite naturwissenschaftliche Ausbildung sowie ein intensives Studium vierdimensionaler, d.h. zeitlich-räumlicher Entwicklungen der Erde und darin ablaufender Stofftransporte. Alle traditionellen Teildisziplinen der Geologie werden dafür benötigt, und Geologen sind mit ihnen auch für die Zukunft gerüstet als Fachleute für einen schonenden Umgang mit der Erde und ihren Ressourcen. Geologische Landesdienste sind daher unersetzliche Hilfen nicht nur in den Bundesländern, in denen sie dem Wirtschaftsministerium zugeordnet sind, sondern gerade auch dort, wo sie den für Umwelt und Naturschutz zuständigen Ressorts unterstehen, wie dies in Hessen seit 1985 der Fall ist.

### 3. Dienstleistungsunternehmen Geologisches Landesamt

Als Teil des öffentlichen Dienstes entwickelt sich auch der geologische Landesdienst von Hessen gemäß den Vorgaben der Landesregierung<sup>4</sup> zu einem modernen und effektiv arbeitenden Dienstleistungsunternehmen weiter, das die zu beratenden Landesbehörden als Kunden begreift und kunden- und ergebnisorientiert arbeitet. Er bemüht sich, seine Ergebnisse zielorientiert und kostengünstig zu erreichen und dabei gleichzeitig sicherzustellen, daß der politische Wille des Landesparlamentes bzw. der Landesregierung loyal, zügig und effektiv umgesetzt wird. Zur Zeit werden Methoden der Kosten- und Leistungsrechnung sowie die Ermittlung von Kennzahlen (Budgetierung), die erforderliche Personal- und Sachmittel beeinflussen, in einem Pilotprojekt den Besonderheiten des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung angepaßt.

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung genehmigt und erlaubt, kontrolliert und beaufsichtigt nicht, nimmt also keine hoheitsrechtlichen Aufgaben i.e.S. wahr. Der weitaus überwiegende Teil seiner Arbeiten ist aber als „ständige Aufgabe“ anzusehen, die „in der Regel Angehörigen des öffentlichen Dienstes zu übertragen“ [ist], „die in einem öffentlich-rechtlichen Dienst- und Treueverhältnis stehen“. Die Aufgaben eines geologischen Dienstes gehören also zu den hoheitsrechtlichen Aufgaben i.S.d. § 33 (4) Grundgesetz: Seine Landesaufnahme liefert in vielen Fällen wichtige oder gar alleinige Entscheidungsgrundlagen für hoheitsrechtliche Umsetzungen anderer Behörden (Planfeststellungen, Umweltverträglichkeitsprüfungen, Stellungnahmen als Träger öffentlicher Belange, Regionale Raumordnungspläne u.a.). Das Amt beschränkt dabei seine Aufgaben auf sol-

<sup>4</sup> siehe Beschlüsse zur Reform der hessischen Landesverwaltung im Staatsanzeiger Hessen 7/1995:430 sowie 17/1996:1286, Wiesbaden.



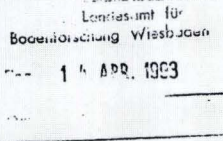


HESSISCHES MINISTERIUM  
FÜR UMWELT, ENERGIE UND  
BUNDESANGELEGENHEITEN

Hess. Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten  
Postfach 3109 · D-6200 Wiesbaden

Hessisches Landesamt  
für Bodenforschung  
Leberberg 9

6200 Wiesbaden



Aktenzeichen Bitte bei Antwort angeben

VIIA1 7 b 02 - 7/93

Bearbeiter/in Herr Blasig  
Durchwahl 815-1710

Ihr Zeichen  
Ihre Nachricht vom

Datum 8. April 1993

**Neufassung der Verordnung über die Errichtung des Landesamtes  
für Bodenforschung vom 26. Juni 1946 (GVBl. I, S. 173)**

Bei meiner Prüfung, die derzeit geltende Errichtungsverordnung für das Hessische Landesamt für Bodenforschung zu novellieren, sind Rechtsfragen aufgetreten, die im Vorfeld mit dem Ministerium der Justiz geklärt werden müssen.

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung ist die für gewissenhaftliche Fragen zuständige Dienststelle des Landes Hessen und hat darüber hinaus kraft Gesetzes bestimmte Funktionen zusätzlich wahrzunehmen (vgl. § 98 HWG). Im Vorgriff auf die beabsichtigte Novellierung und in der gebotenen einschränkenden Auslegung des § 3 Buchstabe g) der geltenden Errichtungsverordnung bitte ich, im Rahmen der Ihnen zugewiesenen Arbeitsgebiete Ihre fachübergreifende Beratung auf Behörden der Landesregierung und deren nachgeordneten Dienststellen sowie von Dienststellen des Bundes bei Projekten innerhalb der Landesgrenzen insbesondere in Fragen

- der ökologisch verträglichen Nutzung natürlicher Ressourcen,
- der Standorterkundung,
- der Landschafts- und Landesplanung,
- des Boden- und Grundwasserschutzes,
- der mineralischen Rohstoffsicherung,
- der Deponie- und Altstandorterkundung,
- der Altlastenerkundung und -sanierung,
- des Bodendenkmal-, Natur- und Landschaftsschutzes sowie bei Vorhaben,
- des Hoch- und Tiefbaues und bei deren insbesondere ingenieur-geologischen Sicherheitsüberwachung

zu beschränken. Die Beratung von Gemeinden und Verbänden kann sich zukünftig nur auf begründete Ausnahmefälle erstrecken, die ich Sie vorher mit mir abzustimmen bitte. An die Hessische Landesanstalt für Umwelt ergeht ein Erlaß im gleichen Sinne.

In Vertretung

(Rainer Baake)

Abb. 3. Erlaß des hessischen Umweltministeriums vom 8.4.1993, der die Aufgaben des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung präzisiert.

che, die nicht ohne weiteres von privaten Ingenieurbüros durchgeführt werden können (Abb. 3); es bewertet aber Gutachten Dritter und ist als alleiniger amtlicher Berater der Landesbehörden zu allen geowissenschaftlichen Fragen als integraler Bestandteil der Exekutive zu betrachten. Zusammenfassend läßt sich also sagen: Das Hessische Landesamt für Bodenforschung nimmt derzeit nur Aufgaben i.S.d. § 33 (4) Grundgesetz wahr.

Dabei verteilen sich die Arbeitskapazitäten der beschäftigten Geowissenschaftler zur Zeit in etwa wie folgt: fachliche Beratung der Regierungspräsidien sowie Wasserwirtschaftsämter und Bergämter (20 %); geowis-

senschaftliche Landesaufnahme durch das Landesamt (20 %); Ermittlung und Dokumentation geowissenschaftlicher Daten in Labors sowie Kartographie und EDV usw. im Landesamt (20 %); fachliche Beratung u.a. für das Umweltministerium (13 %); Stellungnahmen als Träger öffentlicher Belange (10 %); fachliche Beratung u.a. für das Innenministerium für den Bereich Bodenschutz (6 %); Gutachten zur Gründung von Bauwerken für die Oberfinanzdirektion bzw. das Finanzministerium (5 %); fachliche Beratung zum Verkehrswegebau und zum Rohstoffbedarf für das Wirtschaftsministerium (5 %) sowie für die Unteren Wasserbehörden (1 %).

## 4. Interdisziplinarität und Synergie

Mit zunehmender Komplexität der Untersuchungsobjekte und der eingesetzten Verfahren steigt auch die Notwendigkeit, im Team und interdisziplinär zu arbeiten. Das Hessische Landesamt für Bodenforschung hat sich daher stets anderen Landesbehörden sowie Forschungseinrichtungen an den Hochschulen und in der Industrie geöffnet, um von dort Wissen und Informationen benachbarter Fachdisziplinen einwerben bzw. mit diesen austauschen zu können. Hieraus sollte aber nicht die Notwendigkeit einer Bündelung der verschiedenen Disziplinen in einer größeren Behörde abgeleitet werden.

In der Vergangenheit hat es mehrfach – aus verschiedenen Motiven – Versuche gegeben, das Landesamt für Bodenforschung mit der Bergverwaltung oder der Landesanstalt für Umwelt zusammenzulegen<sup>2</sup>. Begründet wurden diese Überlegungen u.a. mit dem Hinweis, es seien dabei positive Synergieeffekte zu erwarten. Neben reinen Zweckmäßigkeitüberlegungen (zu Kosten, Standort, Aufgabenüberschneidung u.a.) sind aber zumindest zwei weitere Aspekte zu beachten, die sich aus den Kernaufgaben verschiedener Behörden ableiten lassen:

Zum einen ist eine Zusammenlegung mit Behörden, die Vollzugsaufgaben wahrnehmen, sehr kritisch zu prüfen. Ein geologischer Landesdienst liefert fachliche Grundlagen für hoheitsrechtliche Umsetzungen durch

andere und ist gutachtlich und beratend tätig (siehe oben). Sollte dieselbe Behörde auch für die verwaltungsrechtliche Durchführung zuständig sein (Festsetzung eines Wasserschutzgebiets, bergrechtliche Genehmigungen u.ä.), wären „Bock und Gärtner“ im selben Haus: Der Hydrogeologe empfiehlt ein Wasserschutzgebiet und setzt es anschließend auch selbst gleich fest, der Rohstoffgeologe bewertet die Lagerstätte und erteilt die Abbaugenehmigung dazu.

Zum anderen ist die Zusammenlegung mit Fachbehörden sehr kritisch zu bewerten, die ebenfalls fachlich unabhängige Gutachten und Stellungnahmen abgeben, diese aber auf andere Umweltmedien konzentrieren. Von einer beratenden Fachbehörde wird bei konkurrierenden Nutzungsinteressen auch eine fachliche Abwägung der Teilgebiete erwartet, die zu ihren originären Aufgaben gehören. Im Hessischen Landesamt für Bodenforschung sind dies beispielsweise Boden-, Grundwasser- und Rohstoff-Schutz. Eine Fachbehörde, die zusätzlich auch Fragen des Schutzes der Atmosphäre und der Biosphäre beratend beurteilt, müßte sich um fachliche Abstimmung aller Aspekte bemühen. Derartige umweltmedienübergreifende Abwägungen teils konkurrierender Interessen gehören aber nicht in eine Fachbehörde, sondern in die Ministerien oder – in Einzelfällen – auf den Kabinetttisch.

## 5. Künftige Aufgaben und Schwerpunkte

Frühere und heutige Arbeitsfelder geologischer Dienste bzw. des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung wurden bereits ausführlich beschrieben<sup>2,3</sup>. Zukünftige Aufgaben und Wege der Problembewältigung

sind zwar schwer vorauszusagen<sup>5</sup>, aber immerhin haben sich einige künftige neue oder verstärkt wahrzunehmende Aufgaben in den vergangenen Jahren abgezeichnet, die im folgenden skizziert werden:

<sup>5</sup> vgl. D.S. BOUCHARD et al.: National geological surveys in the 21st century. – Geological Survey of Canada, Miscellaneous Report 55: 154 S., Ottawa 1994 sowie P.J. COOK, Episodes 17: 106, Ottawa 1994.

Ein Aufgabenschwerpunkt wird weiterhin in der geologischen und bodenkundlichen Landesaufnahme liegen. Denn gute Beratung bedarf einer gründlichen Kenntnis der geowissenschaftlichen Gegebenheiten des Landes mit möglichst hoher Auflösung bzw. großmaßstäblicher Darstellung nach dem Stand von Wissenschaft und Technik. Erst diese Kenntnis ermöglicht auch Mengenbetrachtungen für Grundwasserbewirtschaftung, Risikoabschätzung usw. Landesaufnahme verlangt umfangreiche wissenschaftliche Kenntnisse des Bearbeiters. Alle dabei eingesetzten Methoden entsprechen denen wissenschaftlicher Forschung an den Hochschulen. Das Hessische Landesamt für Bodenforschung ist also auch eine Forschungseinrichtung außerhalb der Hochschulen. Für Hochschulen liefern geowissenschaftliche Karten wiederum Grundlagen für darauf aufbauende wissenschaftliche Untersuchungen. Die relativ hohen Gestehungskosten einer geologischen Karte ersparen häufig ein Vielfaches ihrer Kosten, so daß der Nutzen bei mehrstelligen Millionenbeträgen liegen kann<sup>6</sup>.

Von den Hessen bedeckenden 163 topographischen Karten im Maßstab 1:25000 sind 10 noch „weiß“, d.h. gedruckte geologische Karten dieser Gebiete liegen nicht vor. Diese letzten „weißen“ Blätter sollen innerhalb der nächsten 10 Jahre „gefärbt“ werden. Überarbeitungen älterer Aufnahmen, die bis in das Jahr 1876 zurückgehen und häufig den Aufwand einer Neuaufnahme erfordern, werden sich auf Ballungsgebiete in Hessen konzentrieren oder auf Sondervorhaben wie große Verkehrswegeprojekte (z.B. die ICE-Schnellbahntrasse durch das Rheinische Schiefergebirge). Mit dem Aufbau eines EDV-Systems (siehe unten) werden sich Kartierungen und Revisionen zunehmend vom Blattschnitt lösen. Ziel ist eine blattschnittfreie geologische Darstellung des gesamten Landes, die unterschiedliche Maßstäbe digitaler Karten erlaubt. Die umfangreichen Informationen an Hochschulen (Diplom- und Doktorarbeiten) und von ingenieurgeologischen Büros (Gutachten) sollen darin eingebunden werden.

Die Erarbeitung quantifizierbarer Vorgaben und von Umweltqualitätszielen für die Umweltpolitik sowie die Ermittlung und Interpretation geogener Hintergrundwerte in Böden und Gesteinen für Normsetzungen und Bodendatenbanken zur Beweissicherung werden vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung substantiell vorangebracht werden.

Infrastrukturelle Vorplanungen werden weiterhin die Kenntnisse des geologischen Landesdienstes bei Umweltverträglichkeitsprüfungen und „Öffentlichen Belangen“, Landesentwicklungsplänen, Regionalen Raumordnungsplänen und unterirdischen Raumordnungen er-

fordern. Durch Erarbeitung von Untersuchungskriterien und rechtzeitige Beteiligung an Verfahren kann er Fehlentwicklungen vermeiden helfen. Vorplanungen für eine wirtschaftliche Entwicklung und den Umweltschutz kann er beispielsweise erleichtern und verbessern durch ingenieurgeologische Karten, Suche und Bewertung von ober- oder unterirdischen Standorten für Depo-nien bzw. mögliche Verbringungsorte von Problemstoffen.

Mit seiner Daueraufgabe einer Sammlung und Dokumentation aller geowissenschaftlich relevanten Daten und treuhänderischen Verwahrung – auch im Sinne einer Beweissicherung – und seinem breiten Fachwissen ist das Hessische Landesamt für Bodenforschung als sammelnde und auswertende Institution prädestinierter Nutzer von Systemen der Datenspeicherung und Datenverarbeitung. Dazu wird ein elektronisches „Bodeninformationssystem (BIS)“ aufgebaut, das Daten und Methoden speichert, verknüpft und ständig aktualisiert wird. Es soll die bislang nur mühsam aus den analogen Archiven gewinnbaren Informationen rasch zur Verfügung stellen und anschauliche grafische Umsetzungen ermöglichen. Verstärkt werden sich damit auch Aufgaben entwickeln und zu organisieren sein, die mit der Weitergabe aggregierter und interpretierter Daten an Dritte verbunden sind.

Mit EDV-Systemen lassen sich quantitative Aussagen etwa mittels Raum- und Raum-Zeit-Modellen erarbeiten. Ein zunehmender Bedarf wird im Bereich der Hydrogeologie erwartet, wo Bestandsaufnahmen größerer Grundwasserregionen die Grundlagen für eine Grundwasserbewirtschaftung bilden. Hydrogeologische Kartierungen und Grundwassermodelle werden weitere Arbeitskapazitäten erfordern. Mengenabschätzungen und Modelle sollen auch Prognosen im Vorfeld von Rohstoffabbau, Grundwassernutzung und möglicher Nutzung geothermischer Energie untermauern. Letztere könnte den durch die Nutzung fossiler Energieträger bedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoß mindern helfen.

Die Datenbanken werden kundenorientierte Darstellungen, insbesondere thematische Karten, ermöglichen, für die ein steigender Bedarf besteht. In blattschnittfreien Darstellungen werden Ertragspotentiale und Nitratrückhaltevermögen von Böden, Setzungsempfindlichkeiten des Untergrundes, Grundwasserdarbote und Grundwasserverschmutzungsempfindlichkeiten, Rohstoffpotentiale, geogene Hintergrundwerte von Böden und Gesteinen und andere, heute noch nicht absehbare Fragestellungen flexibel aus den Datenbanken abgeleitet werden.

In den kommenden Jahren wird das Thema Bodenschutz weiter an Bedeutung gewinnen. Das Hessische

<sup>6</sup> vgl. H. SCHMID, Z. angew. Geol. 41: 106, Stuttgart 1995.

Landesamt für Bodenforschung hat bereits in den vergangenen Jahren dieser empfindlichen „Haut der Erde“ verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet, u.a. ein Netz von Bodendauerbeobachtungsflächen konzipiert und die Zusammenarbeit zahlreicher Behörden dazu koordiniert. Die Kenntnis der Funktionen eines Bodens, seiner Potentiale (Filter, Puffer, Speicher usw.) und seines derzeitigen Zustandes ist Voraussetzung einer Beurteilung von Veränderungen und einer nachhaltigen Nutzung.

Eine zentrale geowissenschaftliche Behörde des Landes wird bei dichter werdender Besiedlung auch in immer stärkerem Umfang Geo-Risiken wie das Auftreten von Erdbeben, Erdstößen und Erdfällen oder das Aufdringen von Salzwasser aus dem Untergrund abschätzen oder vorhersagen müssen. Der Mensch kann durch Anlage großer Stauseen, unsachgemäßen untertägigen Abbau, ökologisch nicht angepaßten Flußbau und Eintrag von Schadstoffen in Böden und Grundwasser Geo-Risikofaktor sein oder werden. Überwachungsverfahren sollten daher entwickelt und den Besonderheiten Hessens gemäß betrieben werden (Landeserdbebendienst, Beobachtungen von Massenverlagerungen, Monitoring von Salz-/Süßwassergrenzen u.a.).

Neben der Vorsorge sind in einer Rückschau auf die Erdgeschichte jene geowissenschaftlichen Objekte zu schützen, die diese Geschichte in besonders anschaulicher, schöner oder seltener Form „erzählen“ können. An ihnen läßt sich Erdgeschichte studieren und aus dieser Geschichte für die Zukunft lernen. Mit diesem Geotopchutz wird eine Erfassung und Bewertung geologisch schützenswerter Objekte notwendig. Ein geologischer

Dienst mit seiner kontinuierlichen Arbeit in der Fläche des gesamten Landes, seiner Einbindung in das Verwaltungshandeln und seinen vielfältigen Kontakten zu Hochschulen, geowissenschaftlichen Vereinen, anderen am geowissenschaftlichen Naturschutz Interessierten sowie Rohstoffgewinnungsbetrieben ist dazu besonders geeignet.

Prädestiniert ist dieser Dienst auch für langfristige Kontroll- und Überwachungsaufgaben. Private Büros arbeiten meist projektorientiert für einen überschaubaren Zeitraum. Bestimmte Altlasten (Rüstungsaltslasten in Stadt Allendorf und Hirschhagen bei Hessisch-Lichtenau, der „Monte Scherbelino“ bei Frankfurt u.v.a.) müssen andererseits über Jahre oder gar Jahrzehnte mit ihren Auswirkungen auf Geo-, Hydro- und Pedosphäre beobachtet werden.

Schließlich werden in länderübergreifender Zusammenarbeit mit den anderen deutschen geologischen Diensten Bodeninformationssysteme, Untersuchungs- und Auswertungsmethoden u.a. weiterentwickelt. Kenntnisse und Erfahrungen werden ausgetauscht, auch ein Teil kostenintensiver Untersuchungsverfahren in gemeinschaftlicher Anstrengung durchgeführt. Mit den „Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben“ der staatlichen geologischen Dienste, die als „Blaue Liste-Institut“ am Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover angesiedelt sind, wird die Forschungs- und Entwicklungsarbeit verstärkt werden. Koordiniert werden diese Arbeiten durch den Direktorenkreis der geologischen Landesämter sowie den Bund-Länderausschuß Bodenforschung<sup>3</sup>.

## 6. Ausblick

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung ist dem Ziel der Daseinsvorsorge verpflichtet. Mit den in der Landesaufnahme erarbeiteten geowissenschaftlichen Grundlagen ist es in der Lage, das in der Litho- und Pedosphäre enthaltene Ertrags- und Gefährdungspotential des Landes zu ermitteln. Es macht außerdem geowissenschaftliche Informationen nutzbar, bewertet Geo-Risiken und arbeitet die gesammelten und interpretierten Daten nutzbringend auf für Behörden, Wirtschaft und Wissenschaft. Mit seinem breit angelegten Sachverstand, seinem Expertenwissen, dem umfangreichen und konzentrierten Datenfundus, der erforderlichen Überparteilichkeit und Unabhängigkeit ist es zur Umsetzung (wirtschafts- und umwelt-)politischer Vorhaben der Landesregierung unersetzlich.

Fachwissenschaftlich vollzieht sich im geologischen Dienst ein Wandel von qualifizierender Beschreibung zu quantifizierbaren Modellen, da sich mit den ständig wachsenden Möglichkeiten der elektronischen Daten-

verarbeitung nun auch große Datenmengen digital speichern und miteinander verknüpfen lassen. Zur Optimierung der Organisation wurde 1996 eine „Zielfindung, Aufgabenkritik und Organisationsentwicklung“ im Sinne des Umweltressorts bzw. der Landesregierung begonnen, aus der weitere Erkenntnisse und Anstöße für eine präzisere „Standortbestimmung und Wegbeschreibung“ erwartet werden.

Auch künftig gilt: Alles unterhalb der Erdoberfläche sollte nur im Zusammenhang betrachtet und beurteilt werden: Bodenschutz läßt sich ohne Bodenkunde nicht betreiben, hydrogeologische Interpretation ist ohne geologische Landesaufnahme nicht möglich, wichtige Grundwasservorräte liegen häufig in wirtschaftlich wichtigen Sand- und Kieskörpern. Die Beispiele ließen sich fortsetzen.

Für die künftigen Aufgaben des geologischen Landesdienstes von Hessen heißt dies: Wichtig bleiben die „traditionellen“, weil unverzichtbaren Aufgaben einer geo-

wissenschaftlichen Erforschung des Landes im Sinne einer flächendeckenden Erkundung in allen ihren geowissenschaftlichen Aspekten als Grundlage aller Beratungen. Interpretation, Pflege und Dokumentation der dabei anfallenden Daten werden bleiben ebenso wie kunden- und ergebnisorientiertes Arbeiten, interdisziplinäre Betrachtungsweisen, fachliches Können sowie unabhängige und unparteiische Gutachtenerstellung und Beratungen, gerade auch im Falle der stets vorhandenen Nutzungskonflikte. Auf die Ansprüche derer, die es informiert und berät, wird sich das Hessische Landesamt für Bodenforschung noch stärker einstellen.

Die Bündelung aller geowissenschaftlichen Aspekte liegt im Interesse aller, unabhängig davon, welchem Ressort die Fachaufsicht über das Hessische Landesamt für Bodenforschung zugeordnet ist. Mit der tatkräftigen Unterstützung des fachaufsichtführenden Ressorts wird so das Landesamt eine solide und nachhaltige Beratung der Landesregierung und -verwaltung gewährleisten können. Diese Funktion ist zwar keine Garantie seines Fortbestandes als eigenständige Behörde, aber eine Beschreibung dessen, was es auch in Zukunft bleiben wird: eine unentbehrliche Institution.

JOE-DIETRICH THEWS\*

# Geschichte des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung 1946–1996

## Inhalt

1. Einleitung	15
2. Das historische Erbe	16
2.1. Vorgängerinstitutionen	16
2.2. Zusammenbruch und Neuanfang	16
3. Das Hessische Landesamt für Bodenforschung	19
3.1. Ressortzugehörigkeit	19
3.1.1. Fachaufsicht	19
3.1.1.1. Minister	19
3.1.1.2. Referenten	19
3.2. Organisation	21
3.3. Die Arbeit des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung im Wandel der Zeiten	23
3.3.1. Geowissenschaftliche Landeserkundung	23
3.3.2. Angewandte Geologie	24
3.3.2.1. Bodenkunde	24
3.3.2.2. Hydrogeologie	25
3.3.2.3. Ingenieurgeologie	25
3.3.2.4. Lagerstätten	25
3.3.2.5. Planung	26
3.3.2.6. Naturschutz	26
3.3.3. Innere Logistik	26
3.4. Unterbringung	27
3.5. Atmosphärische Streiflichter	27
4. Zeittafel	31
5. Schriftenverzeichnis	32
6. Anhang	33

## 1. Einleitung

Die Geschichte eines Landesamtes besteht aus Daten und Zahlen über Organisation, Personal, Haushalt und Dienstgebäude. Geschichte besteht aber auch aus wechselnden Ansichten und Meinungen über das Selbstverständnis des Amtes, seine Aufgabenstellung und Aufgabenerledigung. Geschichte besteht nicht zuletzt auch aus Schicksalen von Menschen. Im folgenden Teil der Geschichte des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (HLfB) wird vorwiegend der formale und äußere Ablauf dieser Geschichte beschrieben. Die Arbeit des Landesamtes (Aufgaben und Aufgabenerledigung) soll, zusammen mit der Haushalts- und Personalentwick-

lung, in einer späteren Arbeit dargestellt werden.

Den folgenden Ausführungen liegen hauptsächlich die jährlich im Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung, ab 1976 Geologisches Jahrbuch Hessen, für die Jahre 1954 bis 1992 veröffentlichten Tätigkeitsberichte über die Arbeit des Landesamtes zugrunde. Ab 1993 werden die Tätigkeitsberichte nicht mehr im Geologischen Jahrbuch Hessen, sondern in einer neuen Reihe „Geologie in Hessen“ veröffentlicht. Heft 1/1996 enthält den Tätigkeitsbericht für 1993–1995. Zusammenfassende Darstellungen erfolgten im Notizblatt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

\* Dr. J.-D. THEWS, Hans-Buttersack-Str. 15, 65197 Wiesbaden

Band 85 „10 Jahre Hessisches Landesamt für Bodenforschung“, sowie im Geologischen Jahrbuch Hessen, Band 115, „Vierzig Jahre Hessisches Landesamt für Bodenforschung“.

Die Zusammenstellung der für das HLfB verantwortlichen Referenten erfolgte unter Mithilfe der zuständigen Ministerien.

## 2. Das historische Erbe

### 2.1. Vorgängerinstitutionen

Die Geschichte des geologischen Landesdienstes in Hessen bis 1945 wurde bereits von NÖRING (1953) beschrieben. Aus dieser sehr sorgfältig recherchierten und umfassenden Veröffentlichung, die u.a. auch eine vollständige Territorialgeschichte von Hessen seit der französischen Revolution enthält, seien deshalb hier nur die wichtigsten Eckdaten wiederholt.

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts erfolgte geologische Erkundung nur durch interessierte Einzelpersonen oder wissenschaftliche Gesellschaften, wenn diese auch bereits damals teilweise staatlich gefördert wurden. So erhielt CH. E. STIFFT 1821 von der Herzoglich Nassauischen Landesregierung den Auftrag zu einer „umfassenden geognostischen Untersuchung des Herzogthums“. Das Ergebnis wurde 1831 als „Geognostische Beschreibung des Herzogthums Nassau“ vorgelegt (STIFFT 1831). Im Jahre 1853 stellte die Landgrafschaft Hessen-Homburg und im Jahre 1854 das Großherzogtum Hessen-Darmstadt dem am 5. September 1853 gegründeten Mittelrheinischen Geologischen Verein Mittel „zur geognostischen Detailaufnahme“ zur Verfügung (NÖRING 1953: 19). Der Beginn der geologischen Landesaufnahme und die Errichtung geologischer Landesämter erfolgten also manchmal zu unterschiedlichen Zeitpunkten.

Wachsender Rohstoffbedarf für die in Gang gekommene Industrialisierung, ingenieurgeologische Probleme beim Eisenbahnbau und die Modernisierung der Landwirtschaft ließen um die Mitte des 19. Jahrhunderts den Bedarf an geologischen Informationen derart ansteigen, daß es in Europa – und auch in Übersee – allenthalben zur Gründung von geologischen Staats- oder Landesdiensten kam. Folgende Gründe sprachen – und sprechen auch heute noch – für eine geologische Landeserkundung durch staatliche Dienststellen mit langer Kontinuität:

- das Gewinnen von Informationen über den Untergrund ist sehr zeit- und geldaufwendig,
- deshalb ist es wirtschaftlich sinnvoll, jede über den Untergrund gewonnene oder gewinnbare Information sorgfältig zu registrieren und für künftigen Gebrauch langfristig zu dokumentieren. Nicht dokumentierte Informationen lassen sich bei späterem Bedarf nur mit erheblichem Aufwand, wenn überhaupt, ein zweites Mal wiedergewinnen,
- für das Sammeln und Auswerten geologischer Infor-

mationen zur Landeserkundung ist deshalb eine kontinuierliche, langfristig angelegte, Arbeit erforderlich.

Als erster geologischer Landesdienst in Deutschland wurde am 13. Januar 1853 die Kurhessische Geologische Landesanstalt in Marburg gegründet. Kurfürst Friedrich-Wilhelm in Kassel genehmigte am 13. Januar 1853 die Errichtung einer „Landesanstalt für die geologische Untersuchung des Kurstaates“. Das Ministerium des Inneren brachte dies durch Ausschreibung vom 14. Februar 1853 zur allgemeinen Kenntnis (MÖLLER & FUCHS 1867). Nur England (1835) und Österreich (1849) waren mit der Errichtung geologischer Dienste vorausgegangen (NÖRING 1953: 10, 15).

Am 9. Dezember 1882 wurde im Großherzogtum Darmstadt die „Großherzogliche geologische Anstalt zu Darmstadt“ gegründet. Sie wurde die tatsächliche und rechtliche Nachfolgerin des Mittelrheinischen Geologischen Vereins.

Im Herzogtum Nassau bestand bis zu dessen Annexion durch Preußen im Jahre 1866 kein geologischer Landesdienst.

Die Kurhessische Geologische Landesanstalt ging später in der am 1. Januar 1873 gegründeten Preußischen Geologischen Landesanstalt auf. Durch Verordnung vom 10. März 1939 wurde mit Wirkung vom 1. April 1939 aus einer Dienststelle des Vierjahresplanes und zehn geologischen Landesanstalten die Reichsstelle für Bodenforschung gebildet, die ab 12. Dezember 1941 die Bezeichnung „Reichsamt für Bodenforschung“ führte. Dabei wurde die Hessische geologische Landesanstalt zu Darmstadt zur „Zweigstelle Darmstadt“ (UDLUFT 1968).

### 2.2 Zusammenbruch und Neuanfang

Während der letzten Monate des 2. Weltkrieges entstanden durch Auslagerung vor Bombenangriffen oder den heranrückenden alliierten Truppen auf dem Gebiet des heutigen Landes Hessen verschiedene Arbeits- oder Dienststellen des Reichsamtes für Bodenforschung:

- Zweigstelle Darmstadt unter WALTER SCHOTTLER, nach Ausbombung verlagert nach Reichelsheim, Kr. Erbach.
- Arbeitsstelle Metz unter OTTO BURRE, im Oktober

1944 verlegt nach Fürth, Kr. Bergstraße.

- Arbeitsstelle Limburg an der Lahn, Kr. Limburg unter FRANZ MICHELS ab Anfang 1945.
- Arbeitsstelle Heringen/Werra, Kreis Hersfeld unter HANS UDLUFT seit März 1945. Dorthin waren in eine Grube der Gewerkschaft Wintershall in Heringen große Teile der Bibliothek und der Vertriebsstelle sowie andere Arbeitsmittel des Reichsamtes für Bodenforschung in Sicherheit gebracht worden. UDLUFT erwarb sich große Verdienste um die Erhaltung dieser Bestände beim Einrücken der Amerikaner. Sie bildeten eine wesentliche Grundlage für die Arbeit des später gegründeten Hessischen Landesamtes für Bodenforschung. Im Jahre 1962 gingen die Bibliotheksbestände, nach Zustimmung der Länder, durch einen Vertrag zwischen dem Bund und dem Land Hessen in den Besitz des Landes Hessen über. Für die Sacharbeit des Landesamtes nicht benötigte Bibliotheksbestände wurden am 13. Dezember 1988 der Fachhochschule Kassel übereignet. Die Bestände der Vertriebsstelle des Reichsamtes wurden, soweit sie außerhessisches Territorium betrafen, an die Geologischen Landesämter der Länder der Bundesrepublik und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe abgegeben.

Es ergab sich durch Zufall, daß in jedem der zunächst von den Amerikanern errichteten Regierungsbezirke mindestens eine Dienststelle des Reichsamtes für Bodenforschung besetzt war. Die Leiter aller Dienststellen unterstellten sich den betreffenden Regierungspräsidenten als den damals höchsten Vertretern der deutschen Staatsgewalt. In Erkenntnis der Bedeutung eines staatlichen geologischen Dienstes, vor allem für den beginnenden Wiederaufbau, unterstützten alle Regierungspräsidenten die Arbeitsaufnahme an den verschiedenen Dienststellen des Reichsamtes für Bodenforschung und brachten sie in eine den neuen politischen Verhältnissen entsprechende Form.

Die Regierung in Darmstadt verfügte am 16. November 1945: „Prof. Dr. OTTO BURRE in Fürth/Odw. wurde mit Wirkung vom 27. Juli 1945 zum Leiter des Hessischen Geologischen Landesamtes und Bergamtes.... bestellt.“ Das Bergamt wurde jedoch schon im Dezember 1945 wieder vom Geologischen Landesamt in Darmstadt getrennt.

Durch Erlaß vom 2. Oktober 1945 wurde die Außenstelle Heringen „Amt für Bodenforschung“ und damit geologischer Dienst für den Bereich des Regierungspräsidenten in Kassel. Vom 2. Oktober 1945 bis Februar 1946 wurde das Amt von Heringen nach Eibach, Dillkreis (postalisch Oberscheld) in Räume der Buderus'schen Eisenwerke verlegt und führte ab 15. Oktober 1945 die Bezeichnung „Amt für Bodenforschung, Arbeitsstelle Marburg (Marburg/Lahn, Geologisches Institut der Uni-

versität), Ausweichstelle Oberscheld/Grube Beilstein“, blieb aber dem Ober- und Regierungspräsidenten der Provinz Kurhessen in Kassel unterstellt.

In den Namen der Dienststellen in Darmstadt und Oberscheld zeigt sich interessanterweise, um wieviel stärker sich die Nordhessen der Tradition ehemaliger Dienststellen des Reiches verpflichtet fühlten als die Südhessen.

Obwohl MICHELS bereits im Mai 1945 von der Arbeitsstelle Limburg aus Verbindung mit dem Regierungspräsidium in Wiesbaden aufgenommen hatte, kam es im Regierungsbezirk Wiesbaden nicht zur Gründung eines eigenen geologischen Dienstes, vermutlich weil MICHELS von der Arbeitsstelle Limburg aus von vornherein auf ein „gesamthessisches“ Landesamt hinarbeitete. Er setzte sich gegenüber seinen – z.T. dienstälteren – Konkurrenten in Darmstadt und Oberscheld durch. Ob dies an der größeren Durchsetzungsfähigkeit seiner Persönlichkeit lag oder an der größeren Nähe zum Sitz der Militär- und der Landesregierung ist schwer nachzuvollziehen. Wer MICHELS kannte, wird zu der Ansicht neigen, daß beide Faktoren eine Rolle gespielt haben. Möglicherweise spielte bei der Bevorzugung von MICHELS auch mit, daß dieser aus der NS-Zeit nicht vorbelastet war, ein für die damalige Zeit wichtiger Faktor. Jedenfalls wurde MICHELS bereits am 1. Juli 1945 von der in Bildung begriffenen großhessischen Staatsregierung mit der Organisation eines Landesamtes für Bodenforschung in Groß-Hessen beauftragt.

Seine Vorarbeiten führten am 18. Dezember 1945 zu dem Kabinettsbeschluß, ein Großhessisches Landesamt für Bodenforschung zu errichten und mit dessen Leitung Prof. Dr. FRANZ MICHELS zu beauftragen. Am 6. August 1946 genehmigte die Militärregierung das Amt (Abb. 1). Die endgültige Errichtung erfolgte durch Verordnung vom 26. Juni 1946 (GVBl. Groß-Hessen Nr. 25 vom 4.10.1946, veröffentlicht im Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. VI, 1, 1950: 275–277; NÖRING 1953: 39 f.). Der 26. Juni gilt seither als der „Geburtstag“ des Landesamtes. Diese Errichtungsverordnung ist heute noch gültig, mit ihr begann die neuere Geschichte des geologischen Landesdienstes in Hessen. Im Rahmen des Gesetzes zur Bereinigung des Hessischen Landesrechts vom 6. Februar 1962 wurde lediglich der zweite Absatz des § 2 der Errichtungsverordnung gestrichen, der die Zusammenarbeit zwischen dem Wirtschafts- und dem Wiederaufbauministerium regelte. Veröffentlicht ist diese Fassung im GVBl. Teil II, Hauptsachgebiet 5, Sachgebiet 53, Ziffer 53–10, S. 25–26.

Erwähnt werden muß hier, daß es damals auch engagierte Versuche von ALFRED BENTZ gab, in der entstehenden Bundesrepublik einen länderübergreifenden Geologischen Dienst zu gründen (PFEIFFER 1987).



176.

OFFICE OF MILITARY GOVERNMENT  
FOR GREATER HESSE  
LEGAL DIVISION

TE/EP

In Reply  
Refer to (Legal)  
312.1

*with*

Der Ministerpräsident  
des Staates Großhessen  
WIESBADEN  
Eing.: - 9 AUG. 1946  
M 579/46 Anlegen

6 Aug 1946  
APO 633

SUBJECT: ORDINANCE (NO. 131) CONCERNING THE ESTABLISHMENT OF THE  
LAND OFFICE FOR GEOLOGICAL RESEARCH

TO: MINISTER PRESIDENT OF LAND GREATER HESSE  
ATTN: MINISTER OF JUSTICE

1. This Office has no objections to the enactment of the subject ordinance concerning the establishment of the Land Office for Geological Research as per copy enclosed.

BY ORDER OF THE DIRECTOR:

*Charles E. Stewart*  
CHARLES E STEWART  
LT Col FA  
Executive Officer

Incl: Text of law in  
Engl & Germ

Der Minister  
für Wirtschaft und Verkehr  
Eing. 21. AUG. '46  
Nr. 567/46  
Anl. 1/1

*B2*  
Circular stamp:  
OUT  
7 AUG 1946  
LEGAL  
202

Urschriftlich  
an den Herrn Minister für  
Wirtschaft und Verkehr

Wsbd., 15.8.46.

*Dr. Hermann Brill*  
*mit separaten neuffen Hinf.*  
*zur morgigen für*  
*No 25*  
*2. D. A.*  
*6.9.46.*

*J. G. Bodesheim.*

Telephone: Wiesbaden 7151-2-3-4-5  
Extension: 243

1031a/83

Abb. 1. Genehmigung der Militärregierung vom 6. August 1946 zur Errichtung eines Geologischen Dienstes in Hessen.

## 3. Das Hessische Landesamt für Bodenforschung

### 3.1. Ressortzugehörigkeit

Von der Gründung bis zum 13. Dezember 1985 ressortierte das Landesamt beim „Wirtschaftsministerium“ (das im Laufe der Jahre mit seinen Aufgaben mehrfach den Namen änderte), seit dem 13. Dezember 1985 beim „Umweltministerium“ (ebenfalls mit Namensänderungen). Die Umsetzung zum Umweltministerium war sinnvoll. Nicht nur wegen der stark gestiegenen Aufgaben des Amtes im Umweltbereich, sondern weil bei der Neugliederung der Ministerien die Wasserwirtschaftsverwaltung, einer der „Hauptkunden“ des Amtes, vom Landwirtschafts- zum Umweltministerium kam. Hierdurch wurden Dienstwege verkürzt und die Aufgabenkoordination verbessert.

Der Arbeitsausschuß für die Automation von Verwaltungsaufgaben des Landes Hessen hat übrigens im November 1973 ein Dienststellenverzeichnis zur Verwendung vorgeschlagen, wonach das Hessische Landesamt für Bodenforschung nicht „Behörde“ sondern „Einrichtung“ des Landes Hessen sei (NÖRING 1974: 335). Die Landesregierung folgte diesem Vorschlag.

Besondere Ereignisse im Verhältnis zwischen Amt und Ministerium waren Besuche der vorgesetzten Minister bzw. Ministerin: am 21. Januar 1981 hielt der Ausschuß für Wirtschaft und Technik des Hessischen Landtages mit Staatsminister HEINZ-HERBERT KARRY und Staatssekretär OTTO KIRST im HLfB eine Sitzung ab, in der Amtsangehörige über die Arbeit des Amtes berichteten. Der Minister für Wirtschaft und Technik KLAUS-JÜRGEN HOFFIE, Nachfolger des am 11. Mai 1981 ermordeten Ministers HEINZ-HERBERT KARRY, besuchte am 17. August 1981 das Amt. Sein besonderes Interesse galt der geplanten Wiederaufarbeitungsanlage Wethen und den Problemen um den Flughafen Frankfurt Main. Minister JOSCHKA FISCHER nahm am 9. Oktober 1986 am Festkolloquium zur Feier des 60. Geburtstages von Prof. Dr. ERNST BARGON teil. Der Minister RUPERT VON PLOTTNITZ und die Ministerin MARGARETHE NIMSCH ließen sich am 10. November 1994 bzw. dem 1. April 1996 im Amt über die Arbeiten des geologischen Landesdienstes berichten.

#### Wirtschaftsministerium

Datum	Abteilung	Gruppe
15.7.1956	IV Technische Abt.	
1.7.1959	IV Technische Abt.	
1.3.1962	IV Technische Abt.	

#### 3.1.1. Fachaufsicht

##### 3.1.1.1. Minister

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung unterstand folgenden Ministern/Ministerinnen

##### Wirtschaftsministerium

Dr. RUDOLF MUELLER, 1945–1946  
 Dr. WERNER HILPERT, 1946–1947  
 Dr. HARALD KOCH, 1947–1949  
 ALBERT WAGNER, 1949–1951  
 HEINRICH FISCHER, 1951–1955  
 GOTTHARD FRANKE, 1955–1963  
 ALBERT OSSWALD, 1963–1964  
 RUDI ARNDT, 1964–1970  
 HEINZ-HERBERT KARRY, 1970–1981  
 KLAUS-JÜRGEN HOFFIE, 1981–1982  
 HERIBERT REITZ, 1982–1984  
 DR. ULRICH STEGER, 1984–1987

##### Umweltministerium

JOSCHKA FISCHER, 1985–1986  
 KARLHEINZ WEIMAR, 1986–1991  
 JOSCHKA FISCHER, 1991–1994  
 RUPERT VON PLOTTNITZ, 1994–1995  
 IRIS BLAUDEL, 1995  
 RUPERT VON PLOTTNITZ, 1995  
 MARGARETHE NIMSCH, ab 1995

##### 3.1.1.2. Referenten

Über die Fachaufsicht und die hierfür zuständigen Referenten sagen die ersten Organisationspläne des Ministeriums nichts aus. „Geologie“ oder „Bodenforschung“ werden nicht erwähnt. Erst im Organisationsplan von 15. Juli 1956 wird Prof. Dr. MICHELS als Referent erwähnt. Es ist anzunehmen, daß bis längstens 1962 der Amtsleiter in Personalunion auch zuständiger Referent im Ministerium war. Danach waren folgende Zuständigkeiten gegeben (das angegebene Datum ist das Datum, an dem der jeweilige Organisationsplan erstellt wurde, die Daten des Inkrafttretens sind nicht mehr feststellbar):

Datum	Abteilung	Gruppe	Referat	Referent
15.7.1956	IV Technische Abt.		IV c Geologischer Landesdienst (Bodenforschung)	Prof. Dr. MICHELS
1.7.1959	IV Technische Abt.		IV c Geologischer Landesdienst	WAGNER
1.3.1962	IV Technische Abt.		IV d Forschungsförderung, Rationalisierung, Bergwesen, Geologischer Landesdienst	CAROSELLI

Datum	Abteilung	Gruppe	Referat	Referent
1.1.1965	II Wirtschaft	II c Wirtschaftsordnung	II c 1 Energie, Bergbau u. Geologie	WAGNER
15.2.1970	IV Technik	IV b Technische Aufsicht	IV b 2 Bergbau, Boden- und Wasserforschung, Eichwesen	BLASIG
1.6.1973	IV Technik	IV b Technische Aufsicht	IV b 2 Bergbau, Bodenforschung, Eichwesen	BLASIG
1.10.1976	IV Technik	IV b Technische Aufsicht	IV b 2 Bergbau, Bodenforschung, Eichwesen, Pipelines	BLASIG
1.7.1981	IV Technik	IV b Energie, Bergbau, Technische Aufsicht	IV b 2 Bergbau, Bodenforschung, Eichwesen, Pipelines	BLASIG
1.2.1982	IV Technik	IV b Energie, Bergbau, Technische Aufsicht	IV b 2 Bergbau, Bodenforschung, Eichwesen, Pipelines, Techn.Überwachung II	BLASIG
10.5.1984	V Energiewirtschaft	V a Energiepolitik, Energieaufsicht	V a 5 Bergbau, Bodenforschung, Eichwesen, Pipelines, Techn. Überwachung II	BLASIG

### Umweltministerium

Dez. 1986	I Zentralabteilung	I B Aufgaben übergeordneter Art	I B 3 Bergbau, Eichwesen, Bodenforschung, Techn. Überwachung	BLASIG
1.4.1989	I Zentralabteilung	I B Aufgaben übergeordneter Art	I B 3 Bergbau, Bodenforschung, Eichwesen	BLASIG
15.6.1992	VII Altlasten, Boden, Bergbau	VII A Bodenforschung, Bergbau, Planung, Fachbezogene Verwaltung	VII A 1 Bodenforschung, Bodeninformation, Bergbau, Altlastenplanung	BLASIG
1.1.1993	VII Altlasten, Boden, Bergbau	VII A Bodenforschung, Bergbau, Planung, Fachbezogene Verwaltung	VII A 1 Bergbau, Bodenforschung, Bodeninformation, Bodenschutz	BLASIG
1.5.1996	X Altlasten, Boden, Bergbau	X A Bodenforschung, Bergbau, Planung, Fachbezogene Verwaltung	X A 1 Bergbau, Bodenforschung, Bodeninformation, Bodenschutz	FINKE
14.11.1996	III Wasserwirtschaft	III A Fachbezogene Verw., Bodenforschung, Bodeninformation	III A 1 Fachbezogene Verwaltung, Bodenforschung, Bodeninform.	WILLRICH

Seit der Zugehörigkeit zum Umweltministerium wird die Fachaufsicht über das Arbeitsgebiet Bodenschutz vom Landwirtschafts- und Naturschutzministerium wahrgenommen, soweit nicht Belange des Immissions-

und Strahlenschutzes, der Wasser- und Abfallwirtschaft sowie der Altlasten betroffen sind. Die gespaltene Fachaufsicht erwies sich bisher nicht als nachteilig. Die Dienstaufsicht liegt ganz beim Umweltministerium.

### Landwirtschafts- und Naturschutzministerium - Fachaufsicht Bodenschutz

15.9.1987	V Naturschutz und Landschaftspflege	V B Landschaftspflege und Bodenschutz	V B 1 Bodenschutz und Landschaftspflege	BORNEMANN
1.6.1988	V Naturschutz und Landschaftspflege	V B Landschaftspflege und Bodenschutz	V B 1 Bodenschutz	ALLIE
15.4.1989	V Naturschutz und Landschaftspflege	V B Landschaftspflege und Bodenschutz	V B 3 Bodenschutz, Landschafts- planung, Vertragsnaturschutz	BORNEMANN
1.10.1989	VI Landschaftsökologie und Landschaftspflege	VI 4 Bodenschutz		Dr. RÜCKERT
1.11.1990	VI Landschaftsökologie und Landschaftspflege	VI 4 Bodenschutz		Dr. ARNOLD

### 3.2. Organisation

Der älteste und wahrscheinlich auch erste Organisationsplan des HfB stammt vom 31. Dezember 1948 (s. Anhang). Er ist durch das Bestehen der Außenstellen in Darmstadt und Oberscheld (für das Regierungspräsidium in Kassel) geprägt. Neben den Organisationseinheiten Verwaltung und Bibliothek enthält er die Referate I bis III für die Gebiete der Regierungspräsidien Wiesbaden, Darmstadt, Kassel, wobei neben den in jedem Referat genannten Aufgaben wissenschaftliche Geologie und Kartierung einzelne Referate verschiedenen Sonderaufgaben zugeordnet sind.

Für die Jahre 1945 bis 1950 wurden in den Tätigkeitsberichten des Amtes nur bei der Auflistung des Personalbestandes Angaben zur Organisation gemacht. Es werden erwähnt: der Direktor des Amtes mit Sitz in Wiesbaden (MICHELS), der ständige Vertreter und Leiter der Außenstelle Darmstadt (BURRE), die Leiter der Arbeitsstellen Oberscheld (UDLUFT) und Gießen (SCHENK). An Arbeitseinheiten werden genannt Laboratorium, Bibliothek und Vertriebsstelle, Zeichenbüro, Verwaltung, Schreibbüro (in Wiesbaden) und Archive (in Oberscheld).

Im Tätigkeitsbericht für die Zeit vom 1.1.–31.3.1951 wird erstmals eine Gliederung des Amtes erwähnt. Sie erfolgte nach regionalen Gesichtspunkten, nämlich der Verteilung der Außen- und Arbeitsstellen. Daneben werden auch Hauptreferate genannt (Anh.). Ein Vergleich der Regionalgliederung und der Hauptreferate zeigt, daß bis auf Prof. Dr. BURRE, der gleichzeitig Leiter der Außenstelle Darmstadt war, alle Referatsleiter zur Zentrale in Wiesbaden gehörten.

Im Jahre 1954 wurde durch die Zusammenfassung des Amtes an einer Stelle (s. Abschnitt 3.4) ein neuer Organisationsplan erforderlich. Es erfolgte eine Gliederung in drei Abteilungen sowie zahlreiche Sonderreferate (Anh.). Diese Gliederung war, insbesondere durch die Sonderreferate, dem Zeitgeist und der Persönlichkeit von MICHELS entsprechend, noch stark auf die hierarchische Stellung des Amtsleiters zugeschnitten. In der Gliederung in drei Abteilungen und in den Aufgaben dieser Abteilungen entspricht sie interessanterweise weitgehend dem am 1. Januar 1994 eingeführten Organisationsplan. Die Sonderreferate wurden allerdings im modernen Organisationsplan in die Fachabteilungen eingegliedert.

1955 wurden die Sonderreferate Bodenkunde und Hydrogeologie in Abteilungen umgewandelt. Es bestanden fünf Abteilungen (Anh.). 1956 wurden die restlichen Sonderreferate in die Abteilungen eingegliedert, wodurch die Einrichtung einer 6. Abteilung: Petrographie und Lagerstätten notwendig wurde. Die Ingenieurgeologie verblieb als Referat Baugrundgeologie und Boden-

mechanik zusammen mit dem Referat Steine und Erden in der Abt. II Angewandte Geologie.

Die nächste Organisationsänderung erfolgte 1959. Die bisherige Zentralabteilung, die im wesentlichen Verwaltung, Bibliothek und Vertrieb umfaßte, wurde aufgelöst. Diese Arbeitseinheiten wurden wieder dem Amtsleiter direkt unterstellte Hauptreferate. Übrig blieben fünf Fachabteilungen. Durch Zusammenfassung der bisherigen Abteilungen III Angewandte Geologie sowie IV Petrographie und Lagerstätten in einer Abteilung wurde Raum geschaffen für eine eigene Abteilung IV Ingenieurgeologie (Anh.). Vom Organisationsplan Herbst 1962 an wurden die Abteilungen II Lagerstätten, Petrologie und Geochemie sowie V Bodenkunde stärker in Referate differenziert.

Um die Verwaltung und die übrigen amtsinternen Dienstleistungsbereiche besser zu koordinieren, wurde durch Erlaß des Ministeriums für Wirtschaft und Verkehr vom 9. Oktober 1963 mit Wirkung vom 1. Dezember 1963 die Abteilung A Allgemeine Aufgaben genehmigt. Sie entstand aus der bisherigen Zentralabteilung unter Einbeziehen des Archivs und der Werkstatt und erhielt einen eigenen Abteilungsleiter, während die Zentralabteilung vorher dem Amtsleiter unmittelbar unterstellt war. Es gab wieder sechs Abteilungen. In der Organisation der Fachabteilungen änderte sich wenig, lediglich die Ingenieurgeologie wurde stärker in Referate gegliedert (Anh.).

Durch Erlaß des Ministers für Wirtschaft und Verkehr vom 1. September 1966 wurde die Abteilung I Regionale Geologie, Paläontologie und Geophysik mit der Abteilung V Bodenkunde zusammengefaßt zur Abteilung I Geologische Landesaufnahme. Zusammengelegt wurden auch die Abteilungen III Hydrogeologie und IV Ingenieurgeologie zur Abteilung III Angewandte Geologie. Es bestanden jetzt vier statt vorher sechs Abteilungen (Anh.).

Mit dem Haushaltsjahr 1973 wurden Hydrogeologie und Ingenieurgeologie wieder jeweils eigene Abteilungen. Es bestanden fünf Abteilungen.

Ab dem Haushaltsjahr 1978 wurde die Abteilung A aufgelöst, es blieben vier Fachabteilungen. Verwaltung, Bibliothek und Archiv wurden Sonderreferate.

Durch Erlaß vom 28. September 1979 setzte das Ministerium für Wirtschaft und Technik mit Wirkung vom 1. Oktober 1979 einen neuen Organisationsplan in Kraft, der auch einen neuen Geschäftsverteilungsplan erforderte (Anh.). Der neue Organisationsplan brachte einschneidende Änderungen. Es bestanden nur noch drei Fachabteilungen (I Geologische Landesaufnahme, II Rohstoffgeologie und Ingenieurgeologie, III Hydrogeologie und Geotechnologie), zahlreiche Dezernate wur-

den inhaltlich neu geordnet und formal neu zugeordnet. Neu wurden als eigene Arbeitsbereiche erwähnt:

- Bodenphysik,
- Geotechnologie, unterirdische Speicher und Depo-  
nien,
- Infrastrukturgeologie,
- Luftbild- und Fotogeologie,
- Lagerstättenschutz,
- Vollzug des Lagerstättengesetzes,
- Zentrale Laboratorien.

Am 1. Mai 1984 kam das Fachbereichsdezernat Koordination in Sachen ADV hinzu.

Mit dem neuen Organisationsplan wurde ein auf der Errichtungsverordnung aufbauender neuer Aufgabenkatalog in Kraft gesetzt.

1988 wurde der Geschäftsverteilungsplan aktualisiert (Anh.). Einzelne Dezernate wurden anderen Abteilungen zugeordnet, innerhalb der Abteilungen wurden z.T. die Dezernate neu gegliedert und umbenannt. Als neue Arbeitsbereiche werden genannt:

- Bodenprobenbank,
- Fernerkundung,
- Deponiestandorte,
- Grundbautechnik für Stauanlagen.

Eine weitere Organisationsänderung erfolgte mit dem Organisationsplan vom 1. Januar 1994. Die drei Abteilungen wurden neu gegliedert: I Landesaufnahme und Landesforschung (unter Einschluß der Rohstoffgeologie), II Angewandte Geowissenschaften (mit Hydrogeologie und Ingenieurgeologie) und III Zentrale Aufgaben. In dieser Abteilung wurden alle internen Dienstleistungsbereiche des Amtes zusammengefaßt. Die Zuordnung der Referate zu den Abteilungen wurde völlig neu geordnet. Am 1. August 1996 wurde der Organisationsplan erneut geändert, bemerkenswert ist die Einrichtung eines neuen Referates „Bodenschutz“ sowie die Umsetzung der Rohstoffgeologie von der Abteilung I in die Abteilung II (Anh.).

Geowissenschaftliche Arbeiten, die entweder länderübergreifend sind, besonderen apparativen Aufwand oder den Einsatz von Bearbeitern mit Spezialkenntnissen erfordern, werden von den „Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsaufgaben“ ausgeführt, die organisatorisch zum Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung gehören. Die Gemeinschaftsaufgaben wurden ursprünglich aufgrund der „Höchster Vereinbarungen“ vom 1. Juni 1948 im Rahmen des „Königsteiner Staatsabkommens“ vom 30./31. März 1949 eingerichtet. Später wurden die Gemeinschaftsaufgaben weitergeführt aufgrund der „Rahmenvereinbarung zwischen Bund und Ländern über die gemeinsame Förderung der Forschung nach Artikel 91b des Grundgesetzes“ vom 28. November 1975 im Rahmen der Ausführungsvereinbarungen Forschungseinrichtungen („Blaue Liste“ der Ausfüh-

rungsvereinbarungen). Näheres hierzu siehe PFEIFFER (1988). In dieser Arbeit sind die Höchster Vereinbarungen und Folgedokumente im Wortlaut wiedergegeben.

Die Bemühungen der Landesregierung, angesichts knapper Kassen eine effiziente Behördenarbeit zu gewährleisten, beschränkte sich nicht auf die Kürzung von Personal- und Haushaltsmitteln. Das Landesamt wurde in verschiedene Überlegungen zur Reorganisation der Landesverwaltung einbezogen. Für die betroffenen Mitarbeiter war dieser Teil der Geschichte des Landesamtes auch eine „Geschichte der Leiden“, denn für Erhebungen, Berichte und Stellungnahmen zu diesen Überlegungen wurden stets Arbeitskapazitäten gebunden, die an anderer Stelle dringend gebraucht worden wären. Sie hatten aber auch die positive Wirkung, daß die Leitung des Hauses sich immer wieder gezwungen sah, die Priorität von Aufgaben und die Art der Aufgabenerfüllung zu reflektieren, was einer dynamischen und kreativen Denkweise zugute kam.

Im einzelnen waren dies folgende Maßnahmen und Überlegungen:

Durch Erlaß der Hessischen Minister für Landwirtschaft und Forsten und für Wirtschaft und Verkehr vom 18. September 1956 wurde der Landesgrundwasserdienst an die Wasserwirtschaftsverwaltung abgegeben.

1964: Untersuchung über eine Zusammenlegung mit dem Hessischen Landesamt für Gewässerkunde (NÖRING 1971: 393).

Ende 1968 wurde von einer Landtagsfraktion wiederum angeregt, das HLFB mit dem Hessischen Landesamt für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung (das später in der Hessischen Landesanstalt für Umwelt aufging) zusammenzulegen. Davon wurde Ende 1970 Abstand genommen.

1972: Vorschlag zur Zusammenlegung mit dem Hessischen Landesvermessungsamt.

Ab März 1973: Arbeitsgruppe für eine funktionsbezogene Neugliederung des Landesamtes. Der 150 Seiten starke Bericht dieser Arbeitsgruppe wurde im Juni 1974 vorgelegt (NÖRING 1976: 303).

Mai 1973: Erörterung einer engen Zusammenarbeit der Länder Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland auf dem Gebiet des geologischen Landesdienstes.

17. Januar 1974: Große Anfrage (Hessischer Landtag, 7. Wahlperiode, Drucksache 7/4716) die u.a. die Aufsuchung von Primärenergieträgern, von Eisen, von NE-Metallen, von oberflächennahen Lagerstätten, die Erschließung von Versenkräumen für Kali-Endlaugen und die erforderliche Mittelausstattung des Landesamtes für Bodenforschung behandelte. Die Antwort der Landesregierung erfolgte am 22. April 1974 (Drucksache 7/5219).

4. November 1975: Auf dem Bericht der Arbeitsgruppe für eine funktionsbezogene Neugliederung aufbauend begann der Hessische Rechnungshof eine Organisations-

überprüfung des Landesamtes. Der Bericht des Rechnungshofes wurde am 10. Oktober 1977 vorgelegt. Die letzte Stellungnahme des Ministeriums an den Hessischen Rechnungshof erfolgte am 10. April 1978. Die Organisationsüberprüfung führte zu der oben erwähnten Organisationsänderung.

Am 12. Juni 1975 wurde den fünf dem Hessischen Minister für Wirtschaft und Technik nachgeordneten Behörden (Eichdirektion, Oberbergamt, Landesamt für Bodenforschung, Landesamt für Straßenbau, Landesvermessungsamt) die beabsichtigte Zusammenfassung zu einem Landesamt für Wirtschaft und Technik mitgeteilt, die bis Ende 1976 vollzogen sein sollte. Später wurde jedoch von dieser Zusammenlegung Abstand genommen.

September 1976: Erneute Gespräche zwischen den Ländern Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland mit dem Ziel, die Arbeit der geologischen Dienste durch eine länderübergreifende Zusammenarbeit zu intensivieren.

23. Oktober 1991: Untersuchung über die Möglichkeit einer Eingliederung des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung in die Hessische Landesanstalt für Umwelt. Entscheidung des Umweltministeriums über die Selbständigkeit des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung am 25. März 1992.

Ab 1995 wird ein Pilotprojekt „Kosten- und Leistungsrechnung/Controlling“ durchgeführt, um zu mehr Kostentransparenz zu kommen, die als Grundlage wirtschaftlichen Handelns erforderlich ist.

1996 beginnt der Prozeß einer Zielbildung, Aufgabenkritik und Organisationsentwicklung/Vollzug im gesamten Bereich des Umweltressorts.

### **3.3. Die Arbeit des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung im Wandel der Zeiten**

Aufgaben und Aufgabenerfüllung des HlFB sollen, zusammen mit der Personal- und Haushaltsentwicklung, in einem späteren Beitrag ausführlicher beschrieben und quantifiziert werden. Im folgenden werden deshalb nur die Grundzüge der Aufgabenentwicklung in stark pauschalisierender Form skizziert, wobei die Gliederung nicht nach den – zeitlich wechselnden – organisatorischen Zuordnungen im Landesamt erfolgt, sondern aus der Sicht der Anwender von Arbeiten des Amtes.

#### **3.3.1. Geowissenschaftliche Landeserkundung**

Die erste umfangreiche Aufgabe für die Landesaufnahme war 1946 bis 1949 eine Kartierung der Wassernut-

zung und Wasserversorgung in Hessen 1:100000 im Auftrag der Militärregierung. Ihr folgte für den gleichen Auftraggeber die Kartierung aller betriebenen und betriebsfähigen Gewinnungsstellen der Steine und Erden im gleichen Maßstab, die 1947 begonnen und kurzfristig zu Ende geführt wurde.

Die Kernaufgaben der geowissenschaftlichen Landeserkundung, die bodenkundliche und geologische Kartierung in größeren Maßstäben, kam nur langsam in Gang, da in den Nachkriegsjahren die gesamte Arbeitskraft zunächst für die zum Wiederaufbau notwendigen praktischen Fragen eingesetzt werden mußte.

Um möglichst rasch eine Übersicht über das bodenkundliche Inventar in Hessen zu erhalten, wurde 1951 die Bodenkundliche Übersichtskarte von Hessen 1:300000 herausgegeben, der drei Jahre später eine monographische Erläuterung folgte (SCHÖNHALS 1954). Bei bodenkundlichen Spezialkartierungen wurde zunächst mit verschiedenen Maßstäben und Methoden experimentiert. Kartierungen im Maßstab 1:25000 begannen 1959 mit dem Bl. 5914 Eltville, das 1963 (Karte) und 1966 (Erläuterungen) veröffentlicht wurde. Die bodenkundliche Landesaufnahme wird erst im Tätigkeitsbericht für 1962 als Schwerpunktaufgabe genannt und blieb es bis 1985. Neben den Aufnahmen im Maßstab 1:25000 wurde 1981 bis 1987 (Abschluß der Feldaufnahme) bzw. 1990 (Veröffentlichung) eine Bodenkarte der Nördlichen Oberrheinebene 1:50000 bearbeitet, aus der mehrere Anwendungskarten abgeleitet wurden. Ab 1987, verstärkt ab 1989, wurde eine bodenkundliche Übersichtsaufnahme 1:200000 in Angriff genommen, um die immer stärker geforderten flächendeckenden Aussagen über die Böden im Lande Hessen wenigstens übersichtsweise liefern zu können.

Eine Bodenprobenbank sowie Boden-Dauerbeobachtungsflächen (beide zur Zeit im Aufbau) dienen der Dokumentation des Istzustandes der Böden sowie der Feststellung langfristiger Veränderungen

Für die geologische Landesaufnahme wurden erst 1954 zwei Planstellen bewilligt. Auch hier war die erste Aufgabe die Erarbeitung einer geologischen Übersichtskarte 1:300000, die 1961 erschien und bis 1989 in vier Auflagen gedruckt wurde. Erste neu bearbeitete Karte 1:25000 war das Bl. 4622 Kassel West (1958). Ihm folgte 1963 das Bl. 5223 Queck, für dessen Aufnahme zuvor allerdings erst eine brauchbare moderne Gliederungsmethode für den Buntsandstein erarbeitet werden mußte, was auch der Grund für die Auswahl gerade dieses Blattes war. Auch in den Folgejahren mußten Kartierarbeiten immer wieder zugunsten von Prioritäten der angewandten Geologie eingeschränkt werden, so daß durchschnittlich nur ein bis drei neuaufgenommene Blätter veröffentlicht werden konnten. Um die Nachfrage nach geologischen Karten wenigstens behelfsweise

befriedigen zu können, wurde 1992 damit begonnen, vergriffene ältere Blätter der Geologischen Karte 1:25000 als Faksimile-Drucke herauszugeben und mit Kopien der Originaltexte von Erläuterungen zu liefern.

Heute steht die Landesaufnahme insofern im Umbruch, als die Ergebnisse künftig nicht mehr nur als gedruckte Karten, sondern auch digital vorgehalten werden sollen (s.a. HOPPE 1996).

Geowissenschaftliche Landesaufnahme i.w.S. umfaßt jedoch nicht nur die bodenkundliche und geologische Kartierung, sondern auch die Sammlung und Auswertung von Daten aus allen geowissenschaftlichen Arbeitsbereichen, die teils durch besondere Feldaufnahmen, teils durch die Sammlung und Dokumentation geowissenschaftlicher Daten verschiedener Art erfolgt.

Ab 1957 wird für jede in Bearbeitung befindliche geologische Karte eine im Hessischen Landesamt für Bodenforschung entwickelte hydrogeologische Feldkartierung ausgeführt, durch die alle hydrogeologisch wichtigen Parameter eines Blattgebietes erfaßt werden. Ein nach diesem Konzept erarbeitetes Kapitel Hydrogeologie wurde erstmals in der Erläuterung zur Geologischen Karte von Hessen, Bl. 5223 Queck (1963) veröffentlicht. Seitdem enthalten alle vom HLFB herausgegebenen geologischen Karten ein Kapitel Hydrogeologie mit Textbeiträgen, Datensammlungen in Tabellen und Kartenbeilagen, die den jeweiligen geologischen Verhältnissen angepaßt sind.

Regelmäßige Grundwasserbeobachtungen, zunächst als Grundwasserstandsmessungen, wurden in Hessen bereits im Jahre 1866 begonnen. Anfänglich wurden sie von Wasserwerken und anderen Einrichtungen ausgeführt. Im Jahre 1911 begann unter der Aufsicht der Hessischen geologischen Landesanstalt zu Darmstadt der Landesgrundwasserdienst im Großherzogtum Darmstadt als staatliche Dauereinrichtung. Im Jahre 1914 begannen gleichartige Messungen in den bis 1945 preußischen Landesteilen. Weitere Angaben zur Entwicklung des Landesgrundwasserdienstes siehe NÖRING (1956). Der Landesgrundwasserdienst (so bezeichnet ab 1952) wurde nach 1945 vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung weitergeführt und laufend erweitert. Durch gemeinsamen Erlaß der Hessischen Minister für Landwirtschaft und Forsten und für Arbeit, Wirtschaft und Verkehr vom 18. September 1956 (StAnz. 42, S. 1097, Ziff. 976) wurde der Landesgrundwasserdienst an die Wasserwirtschaftsverwaltung abgegeben.

Weitere Arbeiten zur hydrogeologischen Landeserkundung waren u.a.: hydrogeologische Karten in verschiedenen Maßstäben, für verschiedene Kartenwerke und zu verschiedenen Themen, verschiedene drittmittelfinanzierte Forschungsvorhaben, insbesondere zu Grundwasserbeeinträchtigungen durch anthropogene Eingriffe, Isotopenuntersuchungen zur Feststellung der

Herkunft und Verweildauer des Grundwassers. Sie wurden 1967 mit der Untersuchung von Mineralwässern auf  $^{90}\text{Sr}$  und  $^{14}\text{C}$  begonnen, durch Tritium- und S-Isotopenuntersuchungen ergänzt und in den Folgejahren (bis heute auch für normale Grundwässer) fortgesetzt. In den Jahren 1987 bis 1989 wurde im Buntsandstein Nord- und Ost Hessens ein Forschungsvorhaben über die Versauerung des Grundwassers durch saure Deposition in Böden mit mangelnder natürlicher Pufferkapazität durchgeführt. Gleiche Untersuchungen folgten 1992 bis 1994 im hohen Taunus.

Auf dem Lagerstättensektor wurden in den 60er und 70er Jahren begrenzte Arbeitskapazitäten zur Dokumentation von Aufschlüssen des Braunkohlen-, Eisenerz- und Kaliabbaus sowie der Erdölexploration eingesetzt, besonders, um Unterlagen über den geologischen Bau von Betrieben zu sichern, deren Einstellung absehbar war.

Die 1972 einsetzenden Arbeiten zur Erkundung, Bewertung und Sicherung oberflächennaher Lagerstätten lieferten sowohl Neuerkenntnisse zur Landesaufnahme, erfolgten aber auch unter besonderen wirtschaftsgeologischen und planerischen Gesichtspunkten. Sie werden deshalb im Abschnitt 3.3.2.4. Lagerstätten beschrieben.

Auf eine systematische Landeserkundung zielende ingenieurgeologische Untersuchungen wurden bisher nicht vorgenommen. Zur Landeserkundung können regionale Untersuchungen über Vorkommen und Entstehungsmechanismen von Erdfällen und Rutschungen gerechnet werden. Diese Problematik wurde im Rahmen von lokalen angewandten Fragestellungen aufgeworfen und danach auf das gesamte Landesgebiet ausgedehnt. Soweit sinnvoll, werden auch ingenieurgeologische Kapitel für die Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:25000 geliefert.

Neben den obengenannten Arbeiten tragen alle Arbeitsbereiche durch die Sammlung und Bearbeitung von Schichtenverzeichnissen, die petrologische, paläontologische und chemische Untersuchung von Böden, Gesteinen und Grundwasser sowie geophysikalische und bodenmechanische Messungen zur Landeserkundung bei.

### 3.3.2. Angewandte Geologie

#### 3.3.2.1. Bodenkunde

Als erste große angewandte Aufgabe der Bodenkunde erfolgte 1948 bis 1957 die bodenkundliche Kartierung der hessischen Weinbaugebiete im Maßstab 1:2000 und 1:2500 („Weinbergskartierung“). Weitere Auftragsarbeiten wurden während der nächsten Jahrzehnte nur in geringem Umfang ausgeführt. Die Tätigkeitsberichte nennen zwischen zwei und sechs Gutachten im Jahr. Ab

Ende der 70er Jahre und verstärkt ab 1985 wird die Bodenkunde immer mehr für Projektarbeiten, besonders im Umweltbereich, herangezogen, weshalb ab 1985 die Bearbeitung der Bodenkarte 1:25000 vorübergehend fast ganz eingestellt wurde. Diese Arbeiten betrafen vorwiegend den anthropogenen Eintrag von Schadstoffen und dessen Folgen. In diesem Zusammenhang wurden auch umfangreiche regionale Untersuchungen über die geogene (von Natur aus gegebene) Schadstoffbelastung der Böden vorgenommen, um anthropogene und geogene Belastungen voneinander unterscheiden zu können. Ab 1981 wurden die Gutachten zur Friedhofseignung von der Hydrogeologie an die Bodenkunde übertragen. Dadurch stieg die Zahl der bodenkundlichen Gutachten stark an.

### 3.3.2.2. Hydrogeologie

Aufgaben der Hydrogeologie bilden von Anfang an (und bis heute) einen wesentlichen Schwerpunkt der angewandten Geologie im HLfB. Bei der Beratungstätigkeit stand zunächst die Trink- (und Mineralwasser)-Erschließung im Vordergrund. Als Folge der Wassererschließungsmaßnahmen waren Fragen zu Grundwasserstandsänderungen, des Grundwasserentzuges, von Auswirkungen der Grundwasserentnahmen auf die Landeskultur sowie von Gebäudeschäden durch Grundwasserabsenkungen zu bearbeiten. In der ersten Hälfte der 50er Jahre gewann der Grundwasserschutz an Bedeutung. Am Anfang waren vorrangig Vorschläge für das Ausweisen von Trinkwasserschutzgebieten zu erarbeiten. Mit zunehmender Zahl festgesetzter Schutzgebiete nahmen Gutachten zu Ausnahmegenehmigungen in Wasserschutzgebieten zu. Einzelfragen des Grundwasserschutzes wurden anfangs in zahlreichen Gutachten zum Bau von Heizöllagertanks und zur Anlage von Mülldeponien bearbeitet. Die Arbeiten zum Grundwasserschutz wurden später immer komplexer und umfangreicher. Probleme der quantitativen und qualitativen Grundwassergefährdung, der Beurteilung und Sanierung von Grundwasserschadensfällen sowie der Kaliabwasserversenkung erfordern im Einzelfall z.T. jahrelange aufwendige Arbeiten, ebenso die Untersuchungen für die Untertage-Sondermülldeponie Herfa-Neurode sowie für die Planung und Aussolung des Gaskavernenspeichers Reckrod. Weitere aufwendige Arbeiten waren regionale Grundwasserbilanzen, die für Anforderungen der Landesplanung erstellt wurden.

### 3.3.2.3. Ingenieurgeologie

Ingenieurgeologische Beratungen begannen, zunächst mit bescheidenem Einsatz von Personal und Laborausstattung, mit Baugrunduntersuchungen für Hoch- und

Tiefbauten sowie Untersuchungen zur Verhütung und Sanierung von Rutschungen und Bergrutschen. Ab 1952/53 kamen Gutachten für Straßenneubauten hinzu, die später für die Neubaustrecken der Bundesautobahnen ganz erheblichen Umfang annahmen. Ab 1979 wurde die Gutachtertätigkeit für den Straßenbau und nicht-staatliche Bauvorhaben eingeschränkt. An ihre Stelle traten die Beratung bei der Planung und dem Bau von Bundesbahn-Neubaustrecken, Überwachung der Wirksamkeit von Deponieabdichtungen, Gebäudeschäden durch Austrocknung des Untergrundes und von 1983 bis 1989, zur Zeit der Reagan-Administration, von US-Bauvorhaben. Ab 1951 werden zahlreiche Arbeiten für Talsperren, Rückhaltebecken und Staustufen erwähnt. An diesen Projekten erfolgte zunächst überwiegend nur die ingenieurgeologische Beratung, seit 1987 auch die bodenmechanische Prüfung von Sperrenplanungen und die Überwachung bestehender Sperren im Rahmen der „Verwaltungsvorschriften über die Wasseraufsicht bei Planung, Bau, Betrieb und Unterhaltung von Talsperren“ (StAnz. 42/1991, S. 2357). Insgesamt zeigte sich bei den ingenieurgeologischen Arbeiten, ebenso wie in der Hydrogeologie, der Trend, daß die Zahl der bearbeiteten Gutachten eher ab-, der Aufwand im Einzelfall aber stark zunahm. Interessant ist, daß der Auftragseingang für ingenieurgeologische Arbeiten ein relativer Frühindikator der konjunkturellen Entwicklung war. Er ging vor Beginn von Rezessionsphasen zurück und belebte sich wieder vor dem Beginn einer neuen Aufschwungsphase.

### 3.3.2.4 Lagerstätten

Die ersten Arbeiten im Bereich Lagerstätten waren sehr stark von den Erfordernissen des Wiederaufbaus nach dem Kriege bestimmt. Importe waren nur in sehr geringem Umfang möglich. Die Wirtschaft war weitgehend auf die Nutzung heimischer Rohstoffe angewiesen. Deren Gewinnung unterlag aber noch den Bedingungen der Planwirtschaft. Die Haupttätigkeit erstreckte sich auf die Ausarbeitung von Gutachten im Auftrag staatlicher und kommunaler Behörden. Dabei ging es im wesentlichen um Vorräte und deren Erweiterung, Bauwürdigkeiten und das Ausscheiden nicht bauwürdiger Lagerstätten. Die Gutachten dienten für Entscheidungen über die Zuweisung von Material und Arbeitskräften in der Aufbauphase vor der Währungsreform sowie für die Gewährung von Staatskrediten. In den ersten zehn Jahren wurden 170 Gutachten dieser Art erstattet.

Eine Prospektion auf „klassische“ bergbauliche Lagerstätten wurde und wird vom HLfB nicht betrieben. Dies wird als ureigenste Aufgabe der interessierten Wirtschaftsunternehmen angesehen. Im Vorfeld wirtschaftlicher Nutzung wurden jedoch verschiedene Lagerstätten



untersucht, d.h. die Untersuchungen sollten allgemeine Gesetzmäßigkeiten der Entstehung und Verbreitung von Lagerstätten klären, um Risiken der Prospektion für interessierte Firmen zwar nicht kalkulierbar, aber überschaubar zu machen und damit weitere Arbeiten von Firmen anzuregen, was auch z.T. gelungen ist. Die Arbeiten wurden von den jeweils dafür zuständigen Bundesministerien finanziert. Neben anderen wurden als wichtigste untersucht: mögliche Uranlagerstätten im Landesgebiet 1957 bis 1962, die Gold-Kupfer-Selen-Lagerstätte am Eisenberg bei Korbach 1974 bis 1978 und der Kupferschiefer in Hessen 1979 bis 1983.

Auf dem Gebiete der oberflächennahen Lagerstätten (Sand und Kies, Ton, Kalkstein u.ä.) sind in den Anfangsjahren nur wenige Arbeiten ausgeführt worden. Gelegentlich wurden Gutachten zur Vorratsermittlung und Bewertung von Steine- und Erden-Betrieben erstattet, bei denen meist die Frage des Pachtzinses für das in Anspruch genommene Gelände im Vordergrund stand. Die Zahl der erstatteten Gutachten war jedoch im Vergleich mit anderen Arbeitsgebieten des HLFb sehr gering. Ab 1972/73 wurden diese Aktivitäten erheblich verstärkt. Mit dem erwachenden Umweltbewußtsein wurden Abbaubetriebe, besonders solche von oberflächennahen Lagerstätten, mehr und mehr als negative Eingriffe in die Landschaft empfunden. Um den Planungs- und Genehmigungsbehörden objektivierbare Daten für eine möglichst sparsame, sinnvolle und raumschonende Nutzung der benötigten oberflächennahen Lagerstätten geben zu können, wurden die genutzten und potentiellen Lagerstätten erfaßt, in einem seit 1973 laufenden umfangreichen Bohrprogramm untersucht und bewertet und den Planungsträgern in Karten entsprechenden Maßstabes zur Verfügung gestellt. Diese Arbeiten betreffen also die Aufgabengebiete Geologische Landeserkundung, angewandte Geologie und Planung in gleicher Weise, werden aber nur hier erwähnt.

### 3.3.2.5. Planung

Erste wesentliche Arbeiten für planerische Zwecke waren ab 1952/53 geowissenschaftliche, insbesondere hydrogeologische Beiträge zu wasserwirtschaftlichen General-, Rahmen- und Sonderplänen. Die Bearbeitung und Fortschreibung dieser Pläne beschäftigte in den Folgejahren bis heute die Abteilung Hydrogeologie in erheblichem Umfang. Seit Oktober 1979 ist das HLFb konsequent in die Beurteilung aller raumbedeutsamen Planungen auf kommunaler, regionaler und Landesebene eingeschaltet. Zu den erforderlichen Stellungnahmen, deren Zahl weit über 1000 jährlich beträgt, liefern alle Arbeitsbereiche des Amtes Beiträge aus ihrer fachlichen Sicht. Diese, in ihren inhaltlichen Forderungen z.T. kontroversen, Beiträge wurden von dem mit dem Organisa-

tions- und Geschäftsverteilungsplan 1. Oktober 1979 eingerichteten Dezernat Infrastrukturgeologie koordiniert, fachlich abgestimmt und abschließend bearbeitet. 1994 wurde dazu ein Dezernat „Geowissenschaftliche Belange der Raumordnung und Landesplanung“ eingerichtet. Parallel dazu leistet das HLFb fachliche Beiträge für das Erstellen und die Fortschreibung der Regionalen Raumordnungspläne.

### 3.3.2.6. Naturschutz

Aktivitäten zum Naturschutz werden im Tätigkeitsbericht für 1972 erstmals erwähnt. Es handelte sich um Stellungnahmen zur Unterschutzstellung geologisch bedeutsamer Aufschlüsse in einzelnen Landkreisen. 1978 erhielten die Bezirksdirektion für Forsten und Naturschutz in Kassel und die sechs hessischen Planungsgemeinschaften umfangreiche Listen über geologisch bedeutsame, schutzwürdige Aufschlüsse und Landschaftsteile. Diese Listen wurden in den Folgejahren durch exakte Zustandsbeschreibungen und Bewertungen der Objekte sowie Begründungen für die Schutzwürdigkeit ergänzt.

### 3.3.3. Innere Logistik

Die Arbeiten eines geologischen Landesdienstes zur Landesaufnahme und zur angewandten Geologie sind nicht denkbar ohne verschiedene Einrichtungen der inneren Logistik. Diese Einrichtungen sollen hier nur aufzählend genannt werden. Eine detaillierte Beschreibung ihrer Aufgaben und Arbeiten erfolgt in einem späteren Beitrag. Einrichtungen der inneren Logistik sind die Dezernate bzw. Fachbereiche (in alphabetischer Reihenfolge):

- Bibliothek
- Büro für Landkartentechnik
- Datenverarbeitung
- Dokumentationszentrale („Archiv“)
- Geochemie
- Geophysik
- Laboratorien
- Luftbildgeologie
- Öffentlichkeitsarbeit
- Paläontologie
- Petrologie
- Sammlungen
- Veröffentlichungen und Vertrieb
- Verwaltung
- Werkstatt und Bohrtrupp

Diese Arbeitseinheiten liefern durch die Untersuchung, Bestimmung, Analyse und Beschreibung von Böden, Gesteinen, Lagerstätten und Grundwasser mit

den unterschiedlichsten Methoden wichtige Beiträge zu fast allen Arbeiten des Amtes, führen aber auch verschiedene Aufgaben der Landesaufnahme und angewandten Geologie in eigener Zuständigkeit aus. Erst die obengenannten Untersuchungen liefern eine objektivierbare Datenbasis für moderne quantifizierende Aussagen.

### 3.4. Unterbringung

Am wechsellvollsten war die Geschichte des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung im Hinblick auf die räumliche Unterbringung.

Am Anfang war die Zentrale des Amtes in der Parkstraße 28 untergebracht, Bibliothek und Vertriebsstelle befanden sich in der Bodenstedtstraße 4 und das chemische Laboratorium des HlFB in der Hessischen Lehr- und Forschungsanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau in Geisenheim. Von dort wurde es im September 1949 in das Museum in Wiesbaden, Rheinstraße 10 verlegt. Die Außenstelle Darmstadt sowie die Arbeitsstellen Gießen und Oberscheld (mit Archiv) bestanden weiterhin.

Am 1. Juli 1954 zog die Zentrale in die Mainzer Straße 25 um. Dabei konnten auch die Außenstellen nach Wiesbaden verlegt werden. Bibliothek und Laboratorium verblieben an den bisherigen Standorten.

Im Dezember 1960 zog der größte Teil des Amtes in die landeseigenen Gebäude Leberberg 9 und 11 um. Hier konnten auch die Laboratorien untergebracht werden. Die Werkstatt verblieb in der Mainzer Straße 25.

Infolge Raummangels am Leberberg mußte ab 1964 die Abteilung Bodenkunde in der Adolfsallee 32 untergebracht werden.

Am 1. März 1968 wurde auch das landeseigene Gebäude Leberberg 5 dem Landesamt zur Verfügung gestellt und im Mai 1968 bezogen. Dabei wurden die Diensträume in der Adolfsallee 32 aufgegeben, die von der Bodenkunde genutzt worden waren.

Das Haus Leberberg 9 ist in seinen Grundmauern das älteste der o.g. Gebäude. Es wurde 1860 errichtet. 1951 wurde im Zuge der Beseitigung von Bombenschäden der Dachgarten ausgebaut. Das Haus diente zunächst als Wohngebäude, danach als Beherbergungsbetrieb. Die Bauzeit des Hauses Leberberg 5 ist nicht mehr genau zu ermitteln. Das Haus dürfte etwa gleichzeitig oder kurz nach dem Haus Leberberg 9 errichtet worden sein. Es diente als Pension, später als Wohnhaus. Die auf dem Gelände gelegenen Häuser Leberberg 7 und 11 wurden im Krieg zerstört und nicht wieder aufgebaut. Das heutige Haus Leberberg 11 ist ein Neubau aus den Jahren 1951–52.

Die Grundstücke Leberberg 5–11 wurden nach dem Krieg von der Firma Zellstoff Waldhof erworben, die

hier die Hauptverwaltung unterbrachte. Ostern 1960 verlegte die Firma Zellstoff Waldhof ihre Verwaltung nach Mannheim-Waldhof zurück, die Liegenschaft wurde vom Land Hessen erworben. Zwischen 1960 und 1968 wurde das Haus Leberberg 5 vom Sozialgericht Wiesbaden genutzt.

1970 wurde das Gelände der ehemaligen Eisenerzgrube Strichen bei Aumenau angemietet und das Bohrkernlager von der Grube Beilstein bei Oberscheld nach Strichen verlegt. Am 1. Juli 1983 wurde das ehemalige Straßenmeisterdienstgehöft in Limbach, Gemeinde Hünstetten, Rheingau-Taunus-Kreis, übernommen und nach umfangreichen Renovierungs-, Anbau- und Umbauarbeiten als Bohrkernlager sowie für grobe Aufbereitungsarbeiten der Laboratorien genutzt. Das angemietete Bohrkernlager Strichen wurde für die mittlerweile sehr umfangreiche Bohrkerndokumentation beibehalten. Ab 1986 wurde laufend eine Liste der eingelagerten Bestände veröffentlicht, wichtig für Wissenschaftler außerhalb des Landesamtes zur Nutzung und Bearbeitung dieser wertvollen Bestände, wie sich zeigte, mit großem Erfolg.

1971 mußte das Gebäude Bodenstedtstraße 4 aufgegeben werden. Die Verwaltung der Bibliothek zog in die Schöne Aussicht 57, für den Hauptteil der Bibliotheksbestände wurde ein ehemaliges Kino in der Barbarossastraße 21 in Wiesbaden-Erbenheim angemietet. Das Lager der Vertriebsstelle befand sich in Diensträumen des Hessischen Eichamtes, Hasengartenstraße 26, bis im September 1980 auf dem Gelände Hasengartenstraße 26 ein bescheidener Neubau für die Vertriebsstelle errichtet werden konnte.

1972 mußte die Abteilung Bodenkunde wiederum umziehen, diesmal in die Sonnenberger Straße 24, wo sie verblieb, bis sie am 1. Juli 1981 im landeseigenen Gebäude Viktoriastraße 41 untergebracht werden konnte.

Um die Arbeitsmöglichkeiten am Leberberg zu verbessern erfolgte 1974 die Teilanmietung des Gebäudes Leberberg 10.

1983 wurde die Werkstatt nach Wiesbaden-Dotzheim, Industriestraße 5 verlegt, am 15. August 1989 in die Henckellstraße 8 und am 1. August 1995 in das Bohrkernlager Limbach.

Am 1. Juli 1984 wurde für die Verwaltung und die Präsenzbestände der Bibliothek ein Stockwerk in der Blumenstraße 7 angemietet, die Anmietung wurde am 1. April 1989 erweitert. Das Magazin verblieb in Erbenheim.

### 3.5. Atmosphärische Streiflichter

Die Arbeitsbedingungen während der ersten Nachkriegsjahre waren hart wie die allgemeinen Lebensbedingungen in dieser Zeit. Entbehrungen wurden groß,

Komfort klein geschrieben. Im Winter begann der Arbeitstag mit dem Anheizen der Öfen (falls Brennmaterial vorhanden war, z.T. mußte es von zu Hause mitgebracht werden), dann galt es im kalten Raum zu arbeiten, bis der Ofen Wärme spendete. Reichte das Brennmaterial nicht zum Beheizen aller Räume, arbeitete die Belegschaft mit bis zu 15 Personen in einem Zimmer. Beliebt waren die Besuche des amerikanischen Kontrolloffiziers, Lieutenant MASON, fielen dabei doch immer ein paar Päckchen Zigaretten ab. Außerdem versorgte MASON das Amt mit notwendigem, aber damals kaum zu beschaffendem Arbeitsmaterial, wie Bleistiften, Farbstiften und anderem Kleinmaterial, das er in seiner Dienststelle abzweigte. Als besonders wertvolles Geschenk erwies sich ein Lastwagen voll Altpapier, das gegen Bezugsrechte für Schreibpapier eingetauscht werden konnte. So wurde es dem Amt auch möglich, seine Arbeitsergebnisse zu Papier zu bringen. Besonders knapp war Toilettenpapier. Es wurde in der Verwaltung bevorratet. Bei jedem „Bedürfnis“ durften sich die Mitarbeiter die hierfür vorgesehene Zahl von Blättern abholen.

Hart und entbehrungsreich war auch die Arbeit im Gelände. Die erste flächendeckende Aufgabe, die Kartierung aller Wassergewinnungsanlagen in Hessen, erfolgte unter schwierigsten äußeren Bedingungen. Nahrungsmittel und Unterkünfte waren knapp, Fahrzeuge standen nicht zur Verfügung, alle Geländeaufnahmen mußten zu Fuß erfolgen, nur wenigen privilegierten Mitarbeitern stand ein Dienstfahrrad zur Verfügung.

Die entbehrungsreichen Zeiten ließen die Menschen näher zusammenrücken. Es wurde gerne gemeinsam gefeiert. Insbesondere während der Fastnachtstage feierte die komplette Belegschaft (es bestand quasi Anwesenheitspflicht) fast durchgehend Tag und Nacht, anfangs im Lesesaal der Bibliothek in der Bodenstedtstraße, später in den Amtsräumen der Mainzer Straße. Prof. Dr. MICHELS, der Amtsleiter, ging fröhlich, aber wachsam, durch die Räume und stellte unnachlässig jeden zur Rede, der kein ausreichend vergnügtes Gesicht machte. Trotz aller Arbeitsbelastung blieb auch noch Zeit zur Vorbereitung der Feste und der Dekoration der Räume. Einmal berechnete der Leiter des Büros für Landkartentechnik, JOHANNES MATHEIS, die Stellung der Sterne exakt für die Nacht des Rosenmontag. Dieser Sternenhimmel wurde als Dekoration gebaut und im Festsaal aufgehängt, korrekt eingenordet versteht sich. Kollege Dr. SCHWARZ, fortschritts- und technikgläubig, besaß schon in den 50er Jahren ein Tonbandgerät und verbrachte die Nächte in den Wochen vor Fastnacht damit, die neuesten Lieder und Schlager aufzunehmen, um der Belegschaft abwechslungsreiche Tanzmusik bieten zu können. Er saß die drei Fastnachtsnächte unverdrossen am Tonbandgerät, ohne dabei auch nur einen Tropfen Alkohol zu trinken. Im Laufe der Jahre schlie-

fen solche Veranstaltungen langsam ein. Der Nachholbedarf am Feiern war gedeckt, das Amt wurde größer und verlor seinen familiären Charakter. Mit zunehmendem Wohlstand war der Arbeitsplatz nicht mehr Lebensmittelpunkt, die privaten Interessen verlagerten sich auf andere Bereiche.

Hinsichtlich der arbeitspsychologischen Situation gibt es unter den wissenschaftlichen Mitarbeitern des HLfB zwei Gruppen: die ganz oder überwiegend mit Aufgaben der angewandten Geologie betrauten („Gutachter“) und die ganz oder überwiegend in der Landesaufnahme arbeitenden („Kartierer“). Die Arbeitsbedingungen beider Gruppen haben ihre Vor- und Nachteile.

Die Gutachter haben ständig Kontakte mit unterschiedlichsten Menschen, erfahren Reaktionen (feedback) auf ihre Arbeiten und können die Richtigkeit ihrer Annahmen und Aussagen oft kurzfristig überprüfen. Sie spüren den Sinn ihrer Arbeit sehr unmittelbar. Andererseits stehen sie unter ständigem Termindruck. Manchmal bedarf es erheblichen Fingerspitzengefühls, um zu entscheiden, welche Aufgabe vordringlich bearbeitet werden muß und welche noch etwas aufgeschoben werden kann. Gutachter müssen oft sehr weitreichende Entscheidungen aufgrund spärlich oder lückenhaft verfügbarer Sachinformationen treffen und verantworten. Sie können vielen interessanten Problemen nicht nachgehen, die sich während der Arbeit stellen, aber mit der bearbeiteten Fragestellung nicht unmittelbar zusammenhängen, müssen also manche Arbeiten abbrechen, gerade wenn sie wissenschaftlich interessant werden.

Ganz anders die Kartierer. Sie sind meist wochen- und monatelang alleine im Gelände unterwegs und haben als Gesprächspartner nur die Bäume des Waldes und die Tiere des Feldes, allenfalls noch eine abendliche Gesprächsrunde in der Dorfkneipe. Der Sinn ihrer Arbeit erscheint zunächst und vordergründig als reiner Selbstzweck, da sich der „Nutzen“ der Landesaufnahme meist erst nach Jahren oder Jahrzehnten erweist. Die Verifizierung oder Falsifizierung ihrer Beobachtungen und Annahmen erfolgt viel seltener oder später als die von gutachtlichen Aussagen. Kartierern fehlt oft die wichtige Rückkopplung zwischen ihren Anstrengungen und den Anwendern ihrer Arbeitsergebnisse. Sie brauchen deshalb ein ausgeprägtes Selbstbewußtsein und ein gewisses Sendungsbewußtsein in ihrer Aufgabe, um auf Dauer psychisch bestehen zu können. Hinzu kommt die regelmäßige Trennung von den Familien, die heute zum Glück nicht mehr ganz so lange dauert wie früher, als regelmäßige Wochenendheimfahrten noch nicht die Regel waren. Demgegenüber kann ein Kartierer viel selbständiger arbeiten als ein Gutachter, er steht unter geringerem Zeitdruck und kann die Schwerpunkte der von ihm zu bearbeitenden Fragestellungen eigenbestimmter setzen.

Schwierig war und ist es immer noch, technische Angestellte der mittleren Besoldungsgruppen für die Arbeit im Landesamt zu finden, da es wegen des zahlenmäßig geringen Bedarfs in der Bundesrepublik keine entsprechende Ausbildung gibt. Es muß auf Bewerber aus verschiedenen Berufszweigen zurückgegriffen werden, die langsam in ihre speziellen Aufgaben hineinwachsen müssen. Nach dem Niedergang des Bergbaus in Hessen wurde eine Reihe von Steigern aus stillgelegten Bergwerksbetrieben eingestellt. Die daran geknüpften Erwartungen erfüllten sich jedoch nicht vollständig. Einmal erwiesen sich die Berufserfahrungen im Bergwerksbetrieb als nicht so wesentlich für geologische Arbeiten wie gedacht, zum anderen waren die Steiger als Führungskräfte ausgebildet und arbeiteten im Bergbau auch als solche. Ihre Arbeit im Amt als Hilfskräfte, die nach Anweisung tätig wurden, befriedigte sie wenig und führte bei manchen zu Frustrationen.

Ein besonderes Problem war – und ist – für die Amtsleitung die Beförderung von Mitarbeitern, besonders im höheren Dienst. Beamtenrecht und behördliche Praxis koppeln höherwertige Stellen primär an die Funktion, d.h. höhere Besoldungsgruppen sind Mitarbeitern in leitenden Positionen vorbehalten. Der Arbeitserfolg einer hochspezialisierten Fachbehörde hängt aber, neben einer kompetenten Leitung, ganz wesentlich von der fachlichen (wissenschaftlichen) Qualität der Mitarbeiter ab. Fachliche und administrative Qualifikation gehen zwar oft Hand in Hand, tun das aber nicht in jedem Falle. Fachlich hochqualifizierte, jedoch für leitende Aufgaben weniger geeignete Mitarbeiter sind bei dieser Praxis gegenüber solchen mit leitender Funktion in den Beförderungschancen benachteiligt, abgesehen von der Tatsache, daß Stellen mit leitender Funktion nur in begrenztem Umfang zu Verfügung stehen. Die Amtsleitung war stets bemüht, sich in diesem Spannungsfeld ergebende Probleme auszugleichen und fand dabei auch meist das Verständnis der vorgesetzten Ministerien. Es war aber nicht in jedem Falle möglich, besondere fachliche Leistungen durch entsprechende Beförderung zu honorieren.

In diesem Zusammenhang sorgte für große Aufregung und großen Aufwand die Mitte der 60er Jahre von allen Dienststellen der Landesregierung durchgeführte Dienstpostenbewertung. Hierzu mußte von jedem Mitarbeiter eine Arbeitsplatzbeschreibung erstellt werden, die Grundlage sein sollte für eine gerechte, den Anforderungen des Arbeitsplatzes entsprechende Besoldung. Verständlicherweise versuchte jeder Mitarbeiter, seinen Arbeitsplatz als möglichst hochqualifiziert zu beschreiben. Da die Beschreibung durch den Abteilungs- und Amtsleiter gegengezeichnet werden mußte, ergaben sich aus dieser Aktion z.T. langwierige Diskussionen und viel Abstimmungsarbeit.

Das Verhältnis von Amtsleitung und Personalrat war

stets gekennzeichnet von verständnisvoller Zusammenarbeit, nachdem einmal die unvermeidlichen Anlaufschwierigkeiten überwunden waren, die sich aus der Einsetzung der Personalräte ergeben hatten. Natürlich gab es Konflikte. Im Vordergrund stand jedoch immer das gemeinsame Interesse an einer möglichst effizienten und qualitätvollen Arbeit des Amtes. Auf dieser Basis ließen sich immer, manchmal nach kontroversen und sachlich hart geführten Diskussionen, tragbare Kompromisse finden.

Lange und kontroverse Diskussionen gab es z.B. um die Einführung der Gleitzeit und das damit verbundene Aufstellen eines Zeiterfassungsgerätes. Manche Mitarbeiter fürchteten eine allzu genaue Kontrolle ihres Kommens und Gehens, andere erkannten frühzeitig die Vorteile der Gleitzeit. In einer Personalversammlung wurde schließlich das Einführen der Gleitzeit mit knapper Mehrheit angenommen. Heute ist die Gleitzeit allgemein akzeptiert. Lediglich Mitarbeiter, die längere Zeit im Gelände arbeiten, fühlen sich bisweilen benachteiligt, da die dort geleisteten Überstunden nur innerhalb enger Grenzen für den Freizeitausgleich anerkannt werden. Allerdings setzte mit der Gleitzeit teilweise auch neues Anspruchsdenken ein. Wurde früher so lange gearbeitet, bis die Arbeit erledigt war, ohne daß an Überstundenausgleich gedacht wurde, verführte das Instrument Gleitzeit zu peinlich genauer Aufrechnung geleisteter Überstunden.

In jüngerer Zeit wird auch der Schulung und Fortbildung der Mitarbeiter besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Seit 1993 wird potentiellen Nachwuchsführungskräften ein breites Fortbildungsangebot geboten (HMUEB: „Vorbereitung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Hessischen Umweltressorts auf die Übernahme von Führungsaufgaben sowie deren Fortbildung“, Wiesbaden, 4. Januar 1993, StAnz. 6/1994, S. 385).

Nur wenige schwere Unfälle überschatteten die Arbeit des Landesamtes: am 4. November 1952 verunglückte Dr. HANS HEINZ PINKOW, 38jährig, tödlich während der Heimfahrt von einer Dienstreise im Nebel auf der Höhe des Wasserwerks Schierstein (PFEFFER 1954). Das bei diesem Unfall benutzte Dienstmotorrad – es gab zwei solcher Fahrzeuge im Amt – war danach kein beliebtes Transportmittel mehr, blieb aber noch einige Jahre im Einsatz. Am 10. Oktober 1963 starb ein Mitarbeiter während der Arbeitszeit eines natürlichen Todes. Er wurde in einem Dienstzimmer tot aufgefunden. Bei Reparaturarbeiten im niedrigen und engen Dachgeschoß des Hauses Leberberg 11 erlitt der Leiter der Werkstatt des HLfB am 9. Juli 1973 einen tödlichen Stromschlag. Nur knapp dem Tode entrann einer der Geologen. Während er mit Profilaufnahmen in einer tiefen Baugrube beschäftigt war, rutschte eine Wand der Baugrube zusammen und begrub ihn soweit, daß er sich

weder selbst befreien noch ohne Baggereinsatz durch andere befreit werden konnte. Während Rettungsversuche eingeleitet wurden, lief die Baugrube langsam voll Wasser. Der Verunglückte stand kurz vor dem Ertrinken (ihm stand das Wasser buchstäblich bis zum Hals), ehe eine Pumpe zum Lenzen der Baugrube herbeigeschafft und er danach befreit werden konnte. Eine schwere Hüftverletzung blieb als Folge dieses Unfalls.

Die Berufskraftfahrer der Dienstwagen fuhren seit 1950, als der 1. Dienst-PKW angeschafft wurde, während der folgenden nahezu fünf Jahrzehnte praktisch unfallfrei, abgesehen von ganz wenigen Ausrutschern (Glattteis), die weder Personen- noch größere Sachschäden zur Folge hatten. Dies ist um so beachtenswerter, als jeder der Dienstwagen mehr als 50–60000 km im Jahr lief und Tagesleistungen von mehr als 500 km durchaus keine Einzelfälle waren. Für die Fahrgäste war es jedenfalls immer sehr angenehm, einen absolut zuverlässigen Fahrer am Steuer zu wissen. Über viele Jahre waren in der Fahrbereitschaft bis zu acht Berufskraftfahrer im Einsatz, die Zahl wurde mit der Zeit auf jetzt zwei verringert.

Nicht durch Unfall, sondern durch eigene Hand kam ein Mitarbeiter auf tragische Weise ums Leben. Für ihn ausweglos erscheinende persönliche Probleme veranlaßten ihn, sich nach Dienstsluß in einem Magazinraum im Haus Leberberg 11 zu erhängen, ein großer Schock für die Bediensteten, die am nächsten Morgen ahnungslos den Raum betreten.

Bemerkenswert ist, daß Mitarbeiter des HLB außerhalb ihrer Dienstzeit ehrenamtlich intensiv in der Erwachsenenbildung oder gemeinnützigen Einrichtungen tätig waren: im Vorstand und Beirat der Deutschen Geologischen Gesellschaft (DGG) und der Fachsektion Hydrogeologie der DGG, als Vorstände und Vorstandsmitglieder des Oberrheinischen Geologischen Vereins und des Nassauischen Vereins für Naturkunde und als Mitarbeiter beim Technischen Hilfswerk.

Aus den vielen Personen und Persönlichkeiten, die im Laufe der Jahrzehnte am Amt wirkten, seien hier die beiden ersten Amtsleiter, der Geologe Dr. ALBERT SCHWARZ und zwei Mitarbeiter, die aus ganz kleinen Anfängen weit aufstiegen, mehr oder weniger wahllos herausgegriffen und ganz subjektiv charakterisiert:

Der erste Amtsleiter, Prof. Dr. FRANZ MICHELS, war ein Patriarch von der Art der großen alten Männer, die die Nachkriegszeit in den verschiedensten Bereichen prägten. Wenn er „mein Amt“ oder „mein Mitarbeiter“ sagte, dann meinte er dies durchaus wörtlich. Wie jeder Patriarch erwartete er Gehorsam, war aber kein Tyrann. Er war gerecht und hatte Verständnis für seine Mitarbeiter, interessierte sich für jeden und kannte jeden gut in seinen Stärken (die er zu fördern suchte) und Schwächen (die er zu unterdrücken suchte). Er war ein strenger

Prinzipal. Wer zum Chef bestellt wurde, überlegte meist schnell noch einmal, welches Sündenregister ihm wohl vorgehalten werden könnte. Er konnte über das Haupt eines Mitarbeiters ein Donnerwetter loslassen, daß den Damen im Vorzimmer Tränen des Mitleids kamen. Wer ihn gut kannte, konnte dabei jedoch bisweilen ein Lächeln in seinen Augen zwischen drohend zusammengezogenen Augenbrauen entdecken. Beschwerte sich jemand von außen, dann stellte sich MICHELS energisch und vorbehaltlos schützend vor seine Mitarbeiter, darauf konnte man sich verlassen. MICHELS fällt Entscheidungen, gab sich aber keine Mühe, die Gründe dafür zu erklären. Jüngere Mitarbeiter, die nach Entscheidungstransparenz und Mitsprache verlangten, empfanden seinen autokratischen Führungsstil als bedrückend und manch einer war froh, als MICHELS in Pension ging. Bald schon setzte jedoch eine differenzierte Würdigung dieser zweifellos großen Persönlichkeit ein.

Sein Nachfolger, Prof. Dr. HANS UDLUFT, herrschte nicht, sondern versuchte zu überzeugen, zu motivieren und auszugleichen. An seiner Persönlichkeit entzündeten sich keine großen Widersprüche. Das Klima im Amt wurde ruhiger, entspannter. UDLUFT war charakterisiert durch menschliche Wärme, Verständnis und außerordentliche persönliche Bescheidenheit. Wegen dieser Eigenschaften, z.T. vielleicht auch wegen seiner kurzen Amtszeit, war UDLUFT ein relativ unauffälliger, aber durchaus effizienter Amtsleiter.

Der Geologe Dr. ALBERT SCHWARZ war ein typisches wirkliches Genie. Hochgebildet, geistig sehr beweglich, interessiert und dem Fortschritt verschrieben, war er ständig am Erfinden, Konstruieren und Verbessern, sowohl im beruflichen, als auch im privaten Bereich. In der Nachkriegszeit, als zur Verbesserung der Nahrungsgrundlage allenthalben Kleintiere gehalten wurden, entwarf er z.B. eine automatische Ausmistanlage für seinen Kaninchenstall. Stilfragen gingen ihm über alles. Als Leiter der Abteilung Ingenieurgeologie strich er lieber einen Absatz aus dem Gutachten eines Mitarbeiters, als daß er diesen Absatz in stilistisch nicht einwandfreiem Deutsch durchgehen ließ. Als Fachmann war er ein angesehener und gefragter Berater vieler Ämter und Unternehmen. Wie es bei Genies häufig ist, zeigte er nach dem Durchdenken eines Problems und mündlicher Auskunftserteilung wenig Neigung, sein Urteil noch schriftlich niederzulegen, eine im Umgang zwischen Behörden unumgängliche Notwendigkeit. Mehr als einmal schloß ihn der verzweifelte Amtsleiter nach Dienstsluß in seinem Arbeitszimmer ein mit den Worten: „Albert (MICHELS und SCHWARZ waren gute Freunde), Du kannst mich jederzeit während der Nacht anrufen, ich lasse Dich raus, wenn das Gutachten fertig ist, aber nicht früher“. Im zwischenmenschlichen Bereich war ALBERT SCHWARZ liebenswürdig und außerordent-

lich hilfsbereit. Ein jeder konnte jederzeit auch mit einer außergewöhnlichen Bitte an ihn herantreten, er war selten um tatkräftige Hilfe verlegen.

Im HlFB herrschte schon immer Durchlässigkeit zwischen den einzelnen Laufbahngruppen, wenn die Mitarbeiter entsprechende fachliche Leistungen erbrachten. Aus mehreren seien hier zwei Beispiele geschildert:

HUBERTUS CHRISTIAN begann am 28. Januar 1946 als Angestellter nach TOA (heute: BAT) VIII in der Verwaltung des entstehenden Landesamtes. Sein Gehalt betrug brutto 132,14 Reichsmark im Monat. Nach der Inspektorenprüfung, auf die er sich in seiner Freizeit vorbereitete (Begriffe wie Bildungsurlaub waren seinerzeit noch unbekannt), wurde er Leiter der Verwaltung. Er brauchte keine qualifizierten Mitarbeiter und keine Fortbildungskurse. Quasi im Alleingang erwarb er sich im Laufe der Jahre profunde Kenntnisse im Verwaltungs-, Haushalts- und Personalrecht. CHRISTIAN kannte alle Kniffe. Er nutzte die Grauzonen des Haushaltsrechts und der Verwaltungsvorschriften bis zur letzten Möglichkeit und bewies dabei hohen persönlichen Mut. Für seine Entscheidungen und Maßnahmen übernahm er stets die volle persönliche Verantwortung. Nie versuchte er unbequeme Entscheidungen an andere zu delegieren. Dabei blieb er aber immer peinlich korrekt und stets nur auf den Vorteil des Amtes und der Mitarbeiter bedacht. Er war ein höchst unbequemer Gesprächspartner und nur schwer von seiner Meinung abzubringen, war er aber einmal überzeugt, blieb er loyal bei der Stange. Für die Amtsleiter wurde er als Berater im Dschungel des Verwaltungsrechts – ein für Geologen meist fremdes Metier – unentbehrlich und übernahm

immer größere Kompetenzen und Verantwortung. Er schied am 31. August 1988 als Regierungsdirektor aus dem Amt.

ALBERT KARSCHNY strandete bei Kriegsende als entlassener Soldat in Wiesbaden. Er gehörte zu jenen, die sich kein Studium leisten konnten, sondern sich um ihren Lebensunterhalt kümmern mußten. So begann er am 6. Dezember 1946 als technischer Angestellter nach TOA VIII seine Arbeit am Landesamt für Bodenforschung. Er war interessiert, fleißig und vielseitig einsetzbar. Er besuchte als Gasthörer Vorlesungen an der Universität Mainz, um Kenntnisse in der Geologie und Paläontologie zu erwerben und zu verbessern. Ihm konnten verschiedenste, immer höherwertige Aufgaben anvertraut werden. Schließlich übernahm KARSCHNY fast alle Aufgaben in der Schriftleitung des HlFB. Absolut sicher in Fragen der Rechtschreibung, der Zeichensetzung und des Sprachstils gab er allen Veröffentlichungen den letzten Schliff. Ihm entging nicht der kleinste formale, logische und oft auch inhaltliche Fehler in einem Manuskript. Wehe ein Autor schrieb auf Seite 10 „Frankfurt a. Main“ und auf Seite 150 „Frankfurt am Main“. Solche Schlampeigkeiten bemerkte KARSCHNY unfehlbar und ließ sie niemals durchgehen. Autoren fürchteten seinen rauhen Ton und seine bissigen Kommentare. Sie gingen nicht immer gerne zur Besprechung ihrer Manuskripte in sein Dienstzimmer, in dem er hinter dicken Wolken von Zigarrenrauch oft gar nicht leicht auszumachen war. Sie anerkannten aber seine Kompetenz und waren letztlich froh, wenn sie wußten: ein Manuskript, das KARSCHNY hat passieren lassen, ist wirklich in Ordnung.

## 4. Zeittafel

1821	Auftrag der Nassauischen Landesregierung an CH. E. STIFFT	15.10.1945	Amt für Bodenforschung (im Regierungsbezirk Kassel)
13.1.1853	Kurhessische Geologische Landesanstalt gegründet	16.11.1945	Hessisches Geologisches Landesamt (im Regierungsbezirk Darmstadt)
1853	Auftrag der Landgrafschaft Hessen-Homburg an den Mittelrheinischen Geologischen Verein	18.12.1945	Kabinettsbeschluß zur Errichtung eines (Groß)Hessischen Landesamtes für Bodenforschung. Prof. Dr. F. MICHELS wird Amtsleiter
1854	Auftrag des Großherzogtums Hessen-Darmstadt an den Mittelrheinischen Geologischen Verein	4.4.1946	Genehmigung der Militärregierung zur Errichtung des Landesamtes
1873	Kurhessische Geologische Landesanstalt geht in der Preußischen Geologischen Landesanstalt auf	26.6.1946	Verordnung über die Errichtung des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung
9.12.1882	Großherzogliche geologische Anstalt zu Darmstadt gegründet	1948	Erster Organisationsplan
1944/45	Auslagerung von Dienststellen des Reichsamtes für Bodenforschung	1949	Verlegung des Laboratoriums von Geisenheim nach Wiesbaden
		1949/50	Umzug der Außenstelle Darmstadt von der Mornewegstr. 75 in den Donnersbergweg 16.
		1954	Neuer Organisationsplan

1.7.1954	Bezug des Gebäudes Mainzer Straße 25	1971	Umzug der Bibliothek in die Schöne Aussicht 57 und die Barbarossastraße 21
1955/56	Umwandlung der Referate Bodenkunde und Hydrogeologie in Abteilungen, neuer Organisationsplan	1972	Umzug der Bodenkunde in die Sonnenberger Straße 24
18.09.1956	Abgabe des Landesgrundwasserdienstes an die Wasserwirtschaftsverwaltung	1973	Neuer Organisationsplan, 5 Abteilungen
1.4.1959	Prof. Dr. F. MICHELS scheidet aus dem Dienst, Nachfolger wird Prof. Dr. H. UDLUFT	1974	Teilanmietung des Gebäudes Leberberg 10
1959	Neuer Organisationsplan	30.6.1976	Prof. Dr. F. NÖRING scheidet aus dem Dienst aus, Nachfolger wird Prof. Dr. E. BARGON
Dez. 1960	Bezug der Gebäude Leberberg 9 und 11	1978	Neuer Organisationsplan, Abt. A wird aufgelöst, 4 Fachabteilungen
1962	Die Bibliotheksbestände gehen durch einen Vertrag zwischen dem Bund und den Ländern in den Besitz des Landes Hessen über	1.10.1979	Neuer Organisationsplan, 3 Abteilungen
1.12.1963	Neuer Organisationsplan, Einrichtung der Abteilung A	Sept. 1980	Bezug des Neubaus Hasengartenstraße 26 durch die Vertriebsstelle
1964	Umzug der Bodenkunde in die Adolfsallee 32	1.7.1981	Bezug des Gebäudes Viktoriastraße 41 durch die Bodenkunde.
31.3.1965	Prof. Dr. H. UDLUFT scheidet aus dem Dienst aus, Nachfolger wird Prof. Dr. F. NÖRING	1.7.1983	Bezug des Bohrkernlagers in Limbach
30.9.1965	Geschäftsordnung für das Hessische Landesamt für Bodenforschung	1983	Umzug der Werkstatt in die Industriestraße 5
1.9.1966	Neuer Organisationsplan, 4 statt 6 Abteilungen	13.12.1985	Wechsel zum neu geschaffenen Umweltressort
Mai 1968	Bezug des Gebäudes Leberberg 5	1988	Neuer Geschäftsverteilungsplan
28.6.1968	Neufassung der Gebührenordnung	15.8.1989	Umzug der Werkstatt in die Henkellstraße 8
Nov. 1973	Landesamt für Bodenforschung wird als „Einrichtung des Landes“ geführt	31.10.1991	Prof. Dr. E. BARGON scheidet aus dem Dienst aus, das Amt wird bis zum 31.3.1993 kommissarisch von Dr. J.-D. THEWS geleitet
1970	Anmietung der Eisenerzgrube Strichen, Verlegung des Bohrkernlagers von Oberscheld nach Strichen	1.4.1993	Dr. A. HOPPE wird Amtsleiter
		1.1.1994	Neuer Organisationsplan
		1.8.1995	Umzug der Werkstatt nach Limbach
		1.12.1995	Neuer Organisationsplan

## 5. Schriftenverzeichnis

Geowissenschaftliche Karten und Schriften (Verzeichnis der vom HfLB herausgegebenen käuflichen Veröffentlichungen und Karten), erscheinungsweise jährlich. Kostenlos zu beziehen beim Hessischen Landesamt für Bodenforschung.

- BARGON, E. (1987): 40 Jahre Hessisches Landesamt für Bodenforschung. – Geol. Jb. Hessen, **115**: 473–507, 2 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- HAUCHECORNE, W. (1881): Die Gründung und Organisation der Königlichen geologischen Landesanstalt für den Preußischen Staat. – Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. u. Bergakad. für 1880; Berlin.
- Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1996): Tätigkeitsbericht 1993 bis 1995. – Geologie in Hessen **1**: 44 S., 42 Abb.; Wiesbaden.
- HOPPE, A. (1996): 50 Jahre Hessisches Landesamt für Bodenforschung: Standortbestimmung und Ausblick.-Geol. Jb. Hessen, **124**: 3–11, 3 Abb., Wiesbaden.
- MICHELS, F. (1950): Bericht über das Hessische Landesamt für Bodenforschung für die Jahre 1945–1949. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. VI, **1**: 275–284; Wiesbaden.
- MÖLLER, W. & FUCHS, C. (Hrsg.)(1867): Sammlung der im vormaligen Kurfürstentume Hessen noch geltenden gesetzlichen Bestimmungen von 1813 bis 1866 : 1263 S.; Marburg–Leipzig.
- NÖRING, F. (1953): Zur Geschichte des staatlichen geologischen Dienstes in Hessen. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **81**: 10–41; Wiesbaden.
- NÖRING, F. (1956): Der Hessische Landesgrundwasserdienst und Quellmefdienst im Abflußjahr 1955. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **84**: 420–424; Wiesbaden.
- NÖRING, F. (1974): Tätigkeitsbericht des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung für das Geschäftsjahr 1973 (1.1.1973–31.12.1973). – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **102**: 335–355; Wiesbaden.
- PFEFFER, P. (1954): HANS HEINZ PINKOW †.– Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., **82**: 362–366; Wiesbaden.
- PFEIFFER, D. (1987): Das Reichsamt für Bodenforschung in Celle 1945–1947. Geschichte, Arbeiten, Personen. – In: GÜNTHER, A. E., MAYER-GÜRR, A. & PFEIFFER, D.: Geologische Forschung in Nordwestdeutschland unter der britischen Militärregierung 1945–1947.-Geol. Jb., **A102**: 3–11, 1 Abb.; Hannover.
- PFEIFFER, D. (1988): Geschichtliche Entwicklung von den Höchster Vereinbarungen bis zur Blauen Liste. – In: HAHN, A. & HOMILIUS, J.: 40 Jahre Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung. – Geol. Jb., **A109**; Hannover.
- SCHÖNHALS, E. (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung, mit einer Bodenkundlichen Übersichtskarte i. M. 1:300000. – Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch., **2**: 1–288, 25 Abb., 60 Tab., 15 Taf.; Wiesbaden.
- STIFFT, C. E. (1831): Geognostische Beschreibung des Herzogthums Nassau, in besonderer Beziehung auf die Mineralquellen dieses Landes, mit einer petrographischen Karte (1:125000) und einem Niveauprofile der vorzüglichsten Mineralquellen. – 606 S.; Wiesbaden (L. Schellenberg).
- UDLUFT, H. (1968): Die Preußische Geologische Landesanstalt 1873–1939. – Beih. Geol. Jb., **78**: 170 S., 2 Tab., 3 Taf.; Hannover.

Manuskript eingegangen und angenommen am 10. 9. 1996

## 6. Anhang

### Organisationspläne des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

31.12.1948	1951	1954
<b>Direktor</b> Prof. Dr. FRANZ MICHELS	<b>Direktor</b> Prof. Dr. FRANZ MICHELS	<b>Direktor</b> Prof. Dr. FRANZ MICHELS
<b>Verwaltung</b> (Sitz: Wiesbaden, Parkstraße)	<b>Verwaltung</b> (HUBERTUS CHRISTIAN)	<b>Abteilung I Zentralabteilung</b> (Prof. Dr. FRANZ MICHELS)
<b>Bibliothek</b> (Sitz: Wiesbaden, Bodenstedtstraße)	<b>Abteilung I Bibliothek und Vertriebsstelle</b> (Prof. Dr. FRANZ MICHELS)	Z 1 Verwaltung (HUBERTUS CHRISTIAN)
<b>Referat I</b> (Reg.-Bezirk Wiesbaden, Sitz: Wiesbaden, Parkstraße)	Fachbibliothek (JOHANNA SCHADWINKEL)	Z 2 Bibliothek und Vertriebsstelle (JOHANNA SCHADWINKEL)
Chem. Laboratorium (Sitz Geisenheim)	Vertriebsstelle (Dr. PER RÖSSLE)	<b>Abteilung II Wissenschaftliche Geologie</b> (Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)
Geologie (Wissenschaftliche und Kartierung) im Reg.-Bez. Wiesbaden	<b>Abteilung II Geologie im Reg.-Bez. Wiesbaden</b> (Prof. Dr. FRANZ MICHELS)	IIa Geologische Landesaufnahme (Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)
Gutachtliche Beratung	Geologie (Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)	<b>Abteilung III Angewandte Geologie</b> (Dr. HANS UDLUFT)
Bergbaulich nutzbare Lagerstätten des Landes Hessen	Bodenkunde (Dr. ERNST SCHÖNHALS)	IIIa Steine und Erden (Dr. HANS UDLUFT)
Hydrogeologie des Landes Hessen	Chemie (Dr. PAUL PFEFFER)	IIIb Baugrunduntersuchungen (Dr. ALBERT SCHWARZ)
Bodenkunde des Landes Hessen	Bodenmechanik (Dr. ALBERT SCHWARZ)	IIIc Sammlung wissenschaftlicher Gutachten und Berichte (Dr. PER RÖSSLE)
<b>Referat II</b> (Reg.-Bez. Darmstadt, Sitz: Außenstelle Darmstadt, Arbeitsstelle Giesen)	<b>Abteilung III Geologie im Reg.-Bez. Darmstadt</b> (Prof. Dr. OTTO BURRE)	<b>Sonderreferate</b> (unmittelbar dem Direktor des Amtes unterstellt)
Geologie (Wissenschaftliche und Kartierung) im Reg.-Bez. Darmstadt	Geologie (Prof. Dr. OTTO BURRE)	G Geologische Gemeinschaftsaufgaben
Gutachtliche Beratung	<b>Abteilung IV Geologie im Reg.-Bez. Kassel</b> (Prof. Dr. HANS UDLUFT)	CH Chemisches Laboratorium (Dr. PAUL PFEFFER)
Baugrunduntersuchung im Lande Hessen	Geologie (Prof. Dr. HANS UDLUFT)	L Lagerstätten (Prof. Dr. FRANZ MICHELS)
Geophysik		M Petrographie (Dr. HANS HENTSCHEL)
<b>Referat III</b> (Reg.-Bez. Kassel, Sitz: Arbeitsstelle Oberscheld /Dillkrs., Grube Beilstein)		P Bodenkunde (Dr. ERNST SCHÖNHALS)
Geologie (Wissenschaftliche und Kartierung) im Reg.-Bez. Kassel		Wi Wissenschaftliche Hydrogeologie, Landesgrundwasserdienst (Dr. FRIEDRICH NÖRING)
Gutachtliche Beratung		Wa Angewandte Hydrogeologie (Prof. Dr. FRANZ MICHELS)
Nutzbare Erden des Landes Hessen		
Archivverwaltung einschl. Zettelkatalog		
Photolabor und Dünnschliffe		
Mikropaläontologie		



1955

**Direktor Prof. Dr. FRANZ MICHELS****Abteilung I Zentralabteilung**

(Prof. Dr. FRANZ MICHELS)

- Z1 Verwaltung  
(HUBERTUS CHRISTIAN)
- Z2 Bibliothek und Vertriebsstelle  
(JOHANNA SCHADWINKEL)

**Abteilung II Geologische Grundlagenforschung**

(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

- Ila Geologische Spezial- und Übersichtskartierung  
(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

**Abt. III Angewandte Geologie**

(Dr. HANS UDLUFT)

- IIIa Steine und Erden  
(Dr. HANS UDLUFT)
- IIIb Baugrundgeologie, Bodenmechanik  
(Dr. KARL SIMON)
- IIIc Sammlung wissenschaftlicher Gutachten und Berichte  
(Dr. PER RÖSSLE)

**Abteilung IV Angewandte Hydrogeologie**

(Prof. Dr. FRANZ MICHELS)

- IVa Hydrogeologische Grundlagenforschung  
(Dr. FRIEDRICH NÖRING)
- IVb Angewandte Hydrogeologie  
(Prof. Dr. FRANZ MICHELS)

**Abteilung V Bodenkunde**

(Dr. ERNST SCHÖNHALS)

**Sonderreferate**

(unmittelbar dem Direktor des Amtes unterstellt)

- G Geologische Gemeinschaftsaufgaben
- CH Chemisches Laboratorium  
(Dr. PAUL PFEFFER)
- L Lagerstätten  
(Dr. HANS UDLUFT)
- P Petrographie  
(Dr. HANS HENTSCHEL)

1957

**Direktor Prof. Dr. FRANZ MICHELS****Abteilung I Zentralabteilung**

(Prof. Dr. FRANZ MICHELS)

- Z1 Verwaltung  
(HUBERTUS CHRISTIAN)
- Z2 Bibliothek und Vertriebsstelle  
(JOHANNA SCHADWINKEL)
- Z3 Geologische Gemeinschaftsaufgaben  
(Prof. Dr. FRANZ MICHELS)

**Abteilung II Geologische Grundlagenforschung**

(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

- Ila Geologische Spezial- und Übersichtskartierung  
(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)
- Ilb Büro für Landkartentechnik und Reproduktion  
(JOHANNES MATHEIS)
- IIIc Sammlungen

**Abt. III Angewandte Geologie**

(Prof. Dr. HANS UDLUFT)

- IIIa Steine und Erden  
(Prof. Dr. HANS UDLUFT)
- IIIb Baugrundgeologie, Bodenmechanik  
(Dr. KARL SIMON)
- IIIc Werkstatt
- IIId Sammlung wissenschaftlicher Gutachten und Berichte  
(Dr. PER RÖSSLE)

**Abteilung IV Petrographie und Lagerstätten**

(Prof. Dr. HANS HENTSCHEL)

- IVa Petrographie  
(Prof. Dr. HANS HENTSCHEL)
- IVb Lagerstätten  
(Dr. MAX TEIKE)

**Abteilung V Hydrogeologie**

(Prof. Dr. FRANZ MICHELS)

- Va Hydrogeologische Grundlagenforschung  
(Dr. FRIEDRICH NÖRING)
- Vb Angewandte Hydrogeologie  
(Prof. Dr. FRANZ MICHELS)

**Abt. VI Bodenkunde und Chemie**

- VIa Bodenkundliche und Spezialkartierung Hessens  
(Dr. ERNST SCHÖNHALS)
- VIb Chemisches Laboratorium  
(Dr. PAUL PFEFFER)

1959

**Direktor Prof. Dr. HANS UDLUFT****Direkt unterstellte Hauptreferate**

Z Zentralbüro

(HUBERTUS CHRISTIAN)

- B Bibliothek und Vertriebsstelle  
(JOHANNA SCHADWINKEL)
- A Archiv und Sammlungen  
(Dr. ARNOLD RABIEN)
- K Karten- und Schriftendruck  
(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

**Abteilung I Geologische Landesaufnahme, Paläontologie und Geophysik**

(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

- Ia Geologische Kartierung  
(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)
- Ib Paläontologie  
(Dr. ARNOLD RABIEN)
- Ic Geophysik  
(Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)
- Id Landkartentechnisches Büro und Fotolabor  
(JOHANNES MATHEIS)

**Abteilung II Lagerstättenkunde, Mineralogie, Petrographie, Geochemie**

(Prof. Dr. HANS HENTSCHEL)

- Ila Mineralogie, Petrographie  
(Prof. Dr. HANS HENTSCHEL)
- Ilb Chemisches Laboratorium  
(Dr. PAUL PFEFFER)
- Ilc Nutzbare Lagerstätten  
(Dr. HANSJOACHIM LIPPERT)

**Abteilung III Hydrogeologie**

(Dr. FRIEDRICH NÖRING)

- IIIa Überregionale Aufgaben  
(Dr. FRIEDRICH NÖRING)
- Regionale Aufgaben
- IIIb im Reg.-Bez. Darmstadt  
(Dr. ERWIN SCHENK)
- IIIc im Reg.-Bez. Kassel  
(Dr. ALFRED FINKENWIRTH)
- IIId im Reg.-Bez. Wiesbaden  
(Dr. FRANZ RÖSING)
- IIIe Mineralquellen  
(Prof. Dr. HANS UDLUFT)

1963

**Direktor** Prof. Dr. HANS UDLUFT

**Abteilung IV Ingenieurgeologie**

(Dr. KARL SIMON)

IVa Ingenieurgeologie

(Dr. KARL SIMON)

IVb Werkstatt

(LUDWIG BÖTTIGER)

**Abteilung V Bodenkunde**

(Dr. HEINRICH ZAKOSEK)

Va Bodenkundliche Kartierung

(Dr. HEINRICH ZAKOSEK)

**Abt. A Allgemeine Aufgaben**

(Dr. ERNST BARGON)

Aa Grundsatzfragen

(Dr. ERNST BARGON)

Ab Organisation, Personal, Haushalt

(HUBERTUS CHRISTIAN)

Ac Archive, Dokumentation

(Dr. FRANZ RÖSING)

Ad Bibliothek

(JOHANNA SCHADWINKEL)

Ae Vertriebsstelle

(LIESELOTTE SCHULTE)

**Abteilung I Regionale Geologie, Paläontologie und Geophysik**

(Prof. Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

Ia Allgemeine regionalgeologische Fragen

(Prof. Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

Ib Regionale Geologie - Geologische Kartierung -

(Dr. HANSJOACHIM LIPPERT)

Ic Biostratigraphie, Paläontologie und Naturschutz

(Dr. ARNOLD RABIEN)

Id Geophysik

(RALPH WENDLER)

Ic Schriftleitung und Kartendruck

(Prof. Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

If Landkartentechnik und Reproduktion

(JOHANNES MATHEIS)

**Abteilung II Lagerstätten, Petrologie und Geochemie**

(Dr. HANSJOACHIM LIPPERT)

IIa Allgemeine lagerstättenkundliche Fragen

(Dr. HANSJOACHIM LIPPERT)

IIb Lagerstätten

(Dr. HANSJOACHIM LIPPERT)

IIc Petrologie und Geochemie

(Dr. RALF VILLWOCK)

IId Chemisches Laboratorium

(GÜNTHER THIELICKE)

**Abteilung III Hydrogeologie)**

(Dr. FRIEDRICH NÖRING)

IIIa Überregionale Aufgaben

(Dr. GEORG MATTHE S§)

IIIb Regionale Aufgaben

IIIb1 im Reg.-Bez. Darmstadt

(Dr. OTTO SCHMITT)

IIIb2 im Reg.-Bez. Kassel

(Dr. ALFRED FINKENWIRTH)

IIIb3 im Reg.-Bez. Wiesbaden

(Dr. JOE-DIETRICH THEWS)

**Abteilung IV Ingenieurgeologie**

(Dr. ALBERT SCHWARZ)

IVa Allgemeine ingenieurgeologische Fragen

(Dr. ALBERT SCHWARZ)

IVb Ingenieurgeologische Gutachten

IVb1 für den Hoch- und Tiefbau

(Dr. HELMUT PRINZ)

IVb2 für den Autobahnbau

(Dr. HELMUT PRINZ)

IVb3 für den Talsperrenbau

(Dr. ALBERT SCHWARZ)

IVb4 für den Felshohlbau

(Dr. ALBERT SCHWARZ)

IVc1 Aufschlußarbeiten

(Dr. HELMUT PRINZ)

IVc2 Bodenmechanisches Labor

(EWALD CLOEREN)

**Abteilung V Bodenkunde**

(Dr. HEINRICH ZAKOSEK)

Va Allgemeine bodenkundliche Fragen

(Dr. HEINRICH ZAKOSEK)

Vb Bodenkundliche Kartierung

(Dr. HEINRICH ZAKOSEK)

Vc Standortforschung

(Dr. HEINRICH ZAKOSEK)

Vd Quartärforschung

(Dr. ARNO SEMMEL)

1966

**Direktor** Prof. Dr. FRIEDRICH  
NÖRING

**Abt. A Allgemeine Aufgaben**

(Dr. ERNST BARGON)

- A1 Verwaltung  
(Dr. ERNST BARGON)
- A2 Archive  
(Dr. FRANZ RÖSING)
- A3 Bibliothek und Vertriebsstelle  
(JOHANNA SCHADWINKEL)

**Abteilung I Geologische Landes-  
aufnahme**

(Prof. Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

- Ia Geologische Kartierung  
(Dr. JENS KULICK)
- Ib Bodenkunde  
(Dr. HEINRICH ZAKOSEK)
- Id Schriftleitung und Kartendruck  
(Prof. Dr. FRIEDRICH KUTSCHER)

**Abteilung II Lagerstätten**

(Dr. HANSJOACHIM LIPPERT)

- IIa Lagerstätten  
(Dr. HANSJOACHIM LIPPERT)
- IIb Petrologie  
(Dr. STEFAN MEISL)

**Abt. III Angewandte Geologie**

(Dr. HANS DENGLER)

- IIIa Überregionale Hydrogeologie  
(Dr. HANS DENGLER)
- IIIb Regionale Hydrogeologie  
(Dr. OTTO SCHMITT)
- IIIc Ingenieurgeologie  
(Dr. HELMUT PRINZ)

1979

**Direktor** Dr. ERNST BARGON

**Dezernat V Verwaltung**

(HUBERTUS CHRISTIAN)

**Abteilung I Geologische Landes-  
aufnahme**

(Dr. JOE-DIETRICH THEWS)

- I-1 Geologische Kartierung  
(Dr. JOE-DIETRICH THEWS)
- I-2 Bodenkunde  
(Dr. WALTER FICKEL)
- I-3 Luftbildgeologie und Geophysik  
(Dr. KONRAD REUL)

**Abteilung II Rohstoffgeologie  
und Ingenieurgeologie**

(Prof. Dr. HELMUT PRINZ)

- II-1 Mineralische Rohstoffe  
(Dr. ERNST PAULY)
- II-2 Mineralogie und Petrologie  
(Prof. Dr. STEFAN MEISL)
- II-3 Ingenieurgeologie  
(KARL-HANS MÜLLER)
- II-4 Zentrale Laboratorien  
(Prof. Dr. HELMUT PRINZ)

**Abteilung III Hydrogeologie und  
Geotechnologie**

(Dr. OTTO SCHMITT)

- III-1 Allgemeine Hydrogeologie  
(Dr. BERNWARD HÖLTING)
- III-2 Angewandte Hydrogeologie  
(Dr. OTTO SCHMITT)
- III-3 Geotechnologie und Infrastruk-  
turgeologie  
(Dr. ALFRED FINKENWIRTH)

1988

**Direktor** Prof. Dr. ERNST BARGON

**Dezernat V Verwaltung**

(HUBERTUS CHRISTIAN)

**Abteilung I Geologische und bo-  
denkundliche Landesforschung,  
Rohstoffgeologie**

(Dr. JOE-DIETRICH THEWS)

- I-1 Geologische Landesaufnahme  
(Dr. MANFRED HORN)
- I-2 Bodenkunde  
(Dr. HELMUT REICHMANN)
- I-3 Rohstoffgeologie  
(Dr. ERNST PAULY)
- I-4 Fernerkundung, Geophysik  
und Biostratigraphie  
(Dr. KONRAD REUL)
- I-5 Schriftleitung, Landkartentech-  
nisches Büro, Bibliothek und  
Vertrieb  
(Dr. JOE-DIETRICH THEWS)

**Abteilung II Ingenieurgeologie  
und Mineralogie**

(Prof. Dr. HELMUT PRINZ)

- II-1 Ingenieurgeologische Grundla-  
gen und Grundbau  
(KARL-HANS MÜLLER)
- II-2 Deponiestandorte, Erdfälle, Bo-  
densenkungen  
(Dr. HORST BERNHARD)
- II-3 Talsperrengeologie und Grund-  
bautechnik für Stauanlagen  
(Dr. SIEGFRIED HOLTZ)
- II-4 Fels- und Tunnelbau  
(Prof. Dr. HELMUT PRINZ)
- II-5 Mineralogie und Petrologie  
(Prof. Dr. STEFAN MEISL)
- II-6 Zentrale Laboratorien  
(Prof. Dr. ARTHUR GOLWER)

**Abteilung III Hydrogeologie,  
Geotechnologie und Datenver-  
arbeitung**

(Prof. Dr. BERNWARD HÖLTING)

- III-1 Hydrogeologische Grundlagen  
(Dr. ECKHARD BÖKE)
- III-2 Regionale Hydrogeologie  
(Dr. DIETRICH RAMBOW)
- III-3 Qualitative Hydrogeologie  
(Prof. Dr. BERNWARD HÖLTING)
- III-4 Geotechnologie und Infrastruk-  
turgeologie  
(Dr. ALFRED FINKENWIRTH)
- III-5 Dokumentation und Datenver-  
arbeitung  
(Dr. WITIGO STENGEL-RUTKOWSKI)

**1994**

**Direktor** Dr. ANDREAS HOPPE

**Dezernat V Verwaltung**  
(JOACHIM GAWE)

**Abteilung I Landesaufnahme  
und Landesforschung**

(Dr. MANFRED HORN)

I-1 Geowissenschaftliche Landes-  
aufnahme

(Dr. MANFRED HORN)

I-2 Bodenkunde

(Dr. HELMUT REICHMANN)

I-3 Paläontologie und Stratigraphie

(Dr. EBERHARD KÜMMERLE)

I-4 Mineralogie und Petrologie

(Dr. KARL-HEINZ EHRENBERG)

I-5 Rohstoffgeologie

(Dr. WALTER BARTH)

**Abteilung II Angewandte Geowis-  
senschaften, Hydrogeologie und  
Ingenieurgeologie**

(Prof. Dr. BERNWARD HÖLTING)

II-1 Hydrogeologische Grundlagen

(Dr. HANS-JÜRGEN SCHARPFF)

II-2 Regionale Hydrogeologie

(Prof. Dr. BERNWARD HÖLTING)

II-3 Spezielle und temporäre Aufga-  
ben

(Dr. DIETRICH RAMBOW)

II-4 Ingenieurgeologische Grundla-  
gen und Bodenmechanik

(KARL-HANS MÜLLER)

II-5 Deponiestandorte, Erdfälle, Bod-  
senkungen

(Dr. HORST BERNHARD)

II-6 Stauanlagen, Fels- und Tunnel-  
bau

(Dr. SIEGFRIED HOLTZ)

**Abteilung III Zentrale Aufgaben**

(Dr. SIEGFRIED HOLTZ)

III-1 Schriftleitung, Landkarten-  
technik und Reproduktion, Bi-  
bliothek

NN

III-2 Archiv, Datenverarbeitung

(Dr. WITIGO STENGEL-RUTKOWSKI)

III-3 Geowissenschaftliche Belange  
der Raumordnung und Landes-  
planung

(Dr. EBERHARD KAUFMANN)

III-4 Zentrallaboratorien, Werkstät-  
ten

(Prof. Dr. ARTHUR GOLWER)

III-5 Fernerkundung, Geophysik

(Dr. HANS-ULRICH ECKERT)

**1. 8. 1996**

**Direktor** Dr. ANDREAS HOPPE

**Dezernat V Verwaltung**  
(JOACHIM GAWE)

**Abteilung I Landesaufnahme  
und Landesforschung**

(Dr. MANFRED HORN)

I-1 Geowissenschaftliche Landes-  
aufnahme

(Dr. MANFRED HORN)

I-2 Bodenkunde

(Dr. KARL-JOSEF SABEL)

I-3 Bodenschutz

(Dr. FRED ROSENBERG)

I-4 Paläontologie und Stratigraphie

(Dr. EBERHARD KÜMMERLE)

I-5 Mineralogie und Petrologie

(Dr. KARL-HEINZ EHRENBERG)

**Abteilung II Angewandte Geowis-  
senschaften, Hydrogeologie und  
Ingenieurgeologie**

(Dr. DIETRICH RAMBOW)

II-1 Hydrogeologische Grundlagen

(Dr. HANS-JÜRGEN SCHARPFF)

II-2 Regionale Hydrogeologie

(Dr. WERNER PÖSCHL)

II-3 Spezielle und temporäre Aufga-  
ben

(Dr. DIETRICH RAMBOW)

II-4 Ingenieurgeologische Grundla-  
gen und Bodenmechanik

(KARL-HANS MÜLLER)

II-5 Stauanlagen, Fels- und Tunnel-  
bau

(Dr. SIEGFRIED HOLTZ)

II-6 Rohstoffgeologie

(Dr. WALTER BARTH)

**Abteilung III Zentrale Aufgaben**

(Dr. SIEGFRIED HOLTZ)

III-1 Schriftleitung, Landkarten-  
technik und Reproduktion, Bi-  
bliothek

(Dr. GUDRUN RADTKE)

III-2 Archiv, Datenverarbeitung

(Dr. WITIGO STENGEL-RUTKOWSKI)

III-3 Geowissenschaftliche Belange  
der Raumordnung und Landes-  
planung

(Dr. EBERHARD KAUFMANN)

III-4 Zentrallaboratorien, Werkstät-  
ten

(Dr. HEINER KELTSCH)

III-5 Fernerkundung, Geophysik

(Dr. HANS-ULRICH ECKERT)

JÜRGEN C. HESS & HANS J. LIPPOLT\*

# Numerische Stratigraphie permokarbonischer Vulkanite Zentraleuropas. Teil III: Odenwald

## Kurzfassung

Zur Eingrenzung der Altersstellung des permokarbonischen Vulkanismus des Odenwaldes (Heidelberg-Weinheimer und Groß-Umstädter Gebiet) wurden  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altersbestimmungen an Mineralseparaten (Sanidin, Biotit, Muskovit) von einer Rhyolith- und zwei Tuff(it)proben durchgeführt. Zwei

der datierten Sanidine ergaben mit 286 Ma (Rhyolith von Groß-Umstadt) und 290 Ma (Tuff von Wilhelmsfeld-Altenbach) Alter des frühen Perm. Sie entsprechen jenen der rhyolithischen Vulkanite der Grenzlagerformation des Saar-Nahe-Gebietes. Dieser Befund bestätigt die Vermutung, daß überall im Bereich der Mittel-

deutschen Kristallinschwelle der saure Rotliegendvulkanismus nahezu gleich alt ist. Den Ergebnissen von Datierungen Odenwälder Tiefengesteine zufolge ist die Altersdifferenz zwischen Plutonismus und rhyolithischem Vulkanismus mit 45 bis 55 Ma im Odenwald sehr viel größer als im Schwarzwald.

## Abstract

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age measurements have been carried out on minerals (sanidine, biotite, muscovite) separated from one rhyolite and two rhyolitic tuff samples in order to evaluate the age position of the Permocarboneous volcanism in the Odenwald, SW Germany (Heidelberg-Weinheim and Groß-Umstadt areas). Two of the dated sanidines yielded ages

of 286 Ma (rhyolite of the Groß-Umstadt area) and 290 Ma (tuff from the Wilhelmsfeld-Altenbach occurrence) corresponding to Early Permian. They are in accordance with the ages of the rhyolitic volcanics of the Grenzlager formation in the Saar-Nahe region. The results confirm the assumption that the culmination of the acid Rotliegend volca-

nism was nearly synchronously all over the Central German Crystalline Rise. Compared to the age data on plutonic rocks of the Odenwald an age difference between plutonism and rhyolitic volcanism of about 45 to 55 Ma is obtained which is much larger than in the Schwarzwald.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	39
2. Geologischer Überblick	40
3. Die Proben	41
4. Altersbestimmungen	42
5. Diskussion der Ergebnisse und Folgerungen	44
6. Schriftenverzeichnis	45

## 1. Einleitung

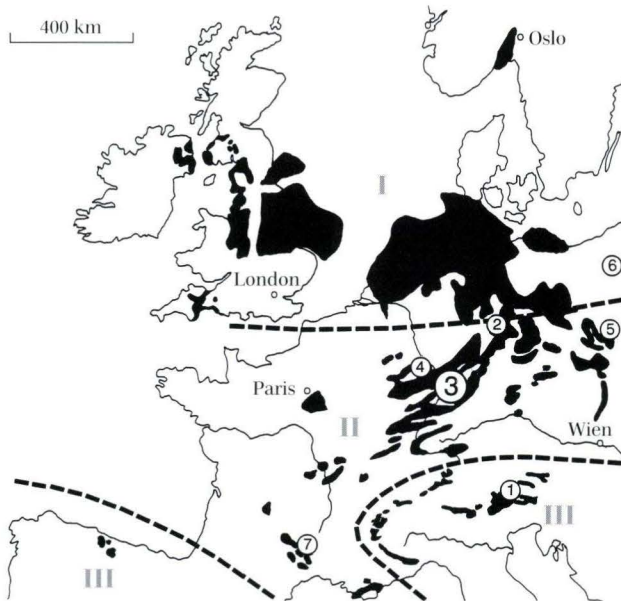
Vorliegende Studie gehört zu einer Reihe über isotopische Datierungen von vulkanischen Gesteinen des europäischen Permokarbons (Abb. 1). Sie zielt darauf ab, Kriterien für die Korrelation der kontinentalen Permokarbonvorkommen Zentraleuropas auf chronometrischer Basis zu erarbeiten. Die Bedeutung der isotopechronologischen Zeitskala des jüngeren Paläozoikums

für Korrelationszwecke wurde von Hess (1990) herausgestellt. Insbesondere für die stratigraphische Einstufung von isoliert im Grundgebirge auftretenden und nicht mit Sedimentgesteinen assoziierten Vulkanitkomplexen ist eine solche Zeitskala unabdingbar. Als typisches Beispiel hierfür können die permokarbonen Vulkanite des Odenwaldes gelten. Durch lithologisch-petrographische

\* Dr. J. C. HESS, Prof. Dr. H. J. LIPPOLT, Laboratorium für Geochronologie der Universität, Im Neuenheimer Feld 234, D 69120 Heidelberg

Untersuchungen von MARELL (1987) an Rotliegendesedimenten ist die zeitliche Korrelierbarkeit der basischen Eruptivgesteine (Melaphyre) des nördlichen Odenwal-

des (Sprendlinger Horst) mit den Gesteinen der Grenzlager-Gruppe des Saar-Nahe-Pfalz-Gebietes als wahrscheinlich erkannt. Es bleibt jedoch fraglich, ob dies auch auf die rhyolithischen Vulkanite übertragen werden kann. Diese ausschließlich im kristallinen Teil des Odenwaldes auftretenden Gesteine werden konventionell mit den regional durch den Oberrheingraben getrennten Vorkommen saurer Vulkanite des Pfälzer Raumes parallelisiert, ohne daß bislang aber schlüssige Beweise für die Berechtigung dieser Annahme erbracht werden konnten. Mittels isotopischer Altersbestimmungen sollte daher versucht werden, die Altersstellung der rhyolithischen Permokarbon-Vulkanite des Odenwaldes einzugrenzen und mit der anderer Gebiete zu vergleichen.



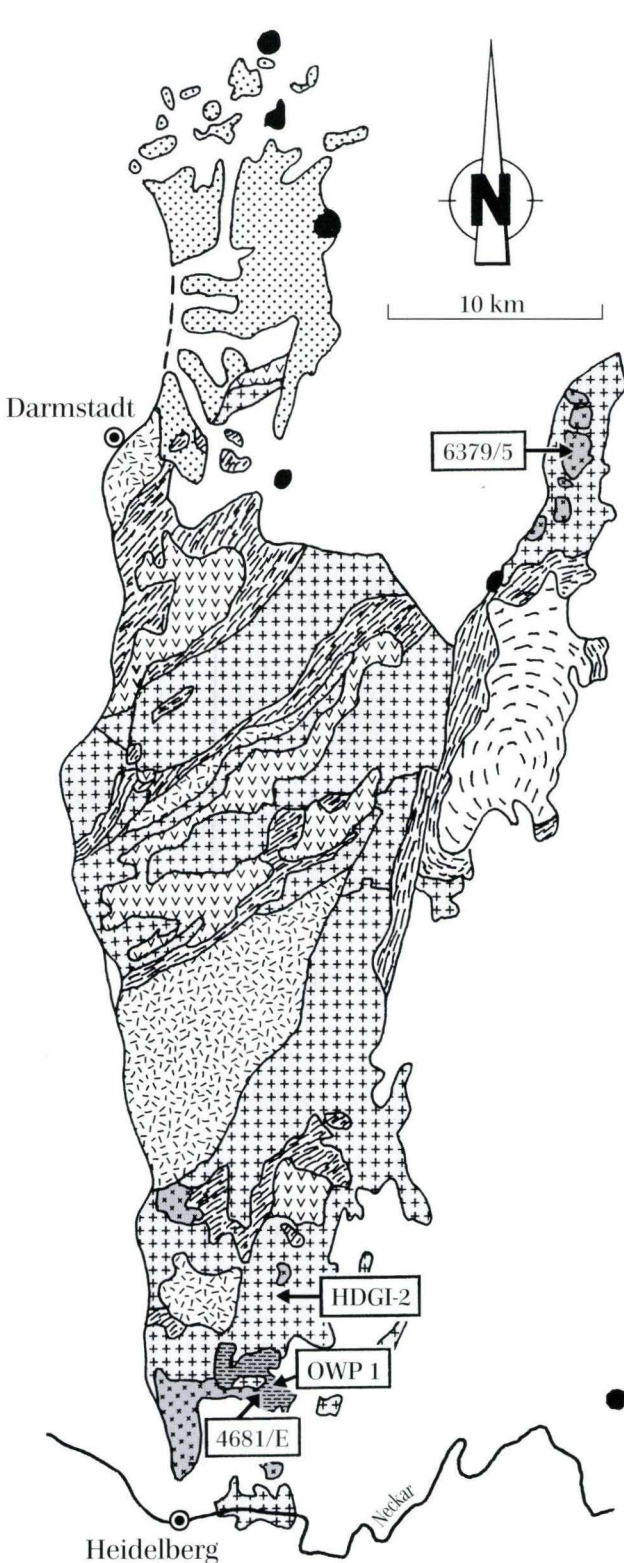
**Abb. 1.** Kontinentale Unterpermvorkommen in Mittel- und Westeuropa (nach FALKE 1976, aus HESS 1990). I. Nördliche oder subvariszische Provinz, II. Zentrale oder variszische Provinz, III. südliche oder Verrucano-Provinz. Die Punkte 1) bis 7) geben die in dieser Publikationsserie bearbeiteten Regionen an. 1: HESS (1990), 2: LIPPOLT & HESS (1996), 3: diese Studie, 4-7: in Vorbereitung.

## 2. Geologischer Überblick

Der kristalline Odenwald als Teil der ehemaligen Mitteldeutschen Kristallinschwelle liegt in der saxothuringischen Zone des variszischen Gebirges. In seinem westlichen Teil, dem Bergsträßer Odenwald, drangen Magmatite (Gabbroide, Dioritoide, Granitoide) in kulissenartig steile Faltenzüge regionalmetamorph überprägter Gesteine ein (NICKEL 1975). Der Ostteil wird von der Gneiskuppel des Böllsteiner Odenwaldes eingenommen. Die tektonische Grenze zwischen Böllsteiner und Bergsträßer Odenwald ist die Otzberg-Störungszone, die nach v. BUBNOFF (1922) als die streichende Fortsetzung der am Rande des Kraichgaus rheinisch verlaufenden östlichen Rheingrabenstörung angesehen werden kann. An den Verlauf dieser bereits variszisch angelegten Schwächezone gebunden sind die subsequenten Vulkanite des Permokarbons des Odenwaldes (Abb. 2), so die im Norden bei Groß-Umstadt auftretenden Rhyolithe und die südlichen Vorkommen saurer Eruptiva (Dossenheim, Weinheim u.a.) und Pyroklastika (Wilhelmsfeld-Altenbach). Erste Bearbeitungen dieser jungpaläozoischen Ergußgesteine erfolgten von ANDRAE & OSANN (1893), CHELIUS & VOGEL (1894) und KLEMM (1905). Eingehendere petrographische und gefügekundliche Untersuchungen wurden von PRIER (1963, 1967, 1975) an den pyroklastischen Gesteinen von Wilhelmsfeld-Altenbach, von EBERLE (1967) an den Quarzporphyren von Groß-

Umstadt und von FUCHS & FLICK (1986) an den Vulkaniten des Weinheimer Vorkommens durchgeführt. Daneben dokumentierte ARIKAS (1986) geochemische Ergebnisse an Rhyolithen des gesamten Odenwaldes. Nach diesen Quellen können die Quarzporphyre von Groß-Umstadt im wesentlichen als Spalten- oder Schlotfüllungen angesehen werden (EBERLE 1967), während der Rhyolith von Weinheim als ignimbritischer Schlot und jener von Dossenheim als ignimbrische Deckeneruption beschrieben werden können (FUCHS & FLICK 1986).

Erste Altersbestimmungen an permokarbonen Vulkaniten aus der näheren Umgebung des Odenwaldes wurden von BARANYI & LIPPOLT (1976) und von LIPPOLT et al. (1990) publiziert. Die detaillierte Alterseinstufung dieser Gesteine ist dennoch nach wie vor ungeklärt. Da weder lithostratigraphisch noch biostratigraphisch eine Korrelation der Odenwälder Rhyolithe mit anderen Permokarbonvorkommen SW-Deutschlandes möglich ist, bleibt die einzige Möglichkeit zur Klärung ihrer Altersbeziehungen die Anwendung physikalischer Altersbestimmungsmethoden. Wegen starker sekundärer Umwandlungerscheinungen entzieht sich die überwiegende Mehrzahl dieser Gesteine jedoch einer sinnvollen isotopischen Datierung. Trotz intensiven Suchens wurden bislang nur von drei verschiedenen Lokalitäten für Altersbestimmungen brauchbar erscheinende Vulkanit-



**Abb. 2.** Geologische Kartenskizze des kristallinen Odenwaldes mit Lage der Probennahmepunkte (6379/5, OWP1 und 4681/E: Proben der Rotliegendevulkanite, HDGI-2: Probe des Heidelberger Granits).

- |                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| Tertiäre Vulkanite   | Hbl-Granodiorite Quarzdiorite |
| Rhyolithe            | Diorite Gabbros               |
| Rhyolithtuffe        | Böllstein-Gneiss              |
| Rotliegendes         | Metamorphite                  |
| Granite Granodiorite |                               |

proben gefunden, von deren Datierung zumindest eine Eingrenzung der Altersstellung des Permokarbon-Vulkanismus des Odenwaldes erhofft werden konnte.

In Analogie zu dem benachbarten westrheinischen Rotliegendevulkanismus des Saar-Nahe-Gebietes, der in einem engen Zeitintervall zwischen 288 und 292 Ma kulminierte (LIPPOLT & HESS 1989), könnte ein Alterswert um 290 Ma auch für die Vulkanite des Odenwaldes erwartet werden. Andererseits wäre auch eine zeitlich räumliche Entwicklung des Vulkanismus, korreliert mit den Altern der plutonischen Gesteine, denkbar, wie sie LIPPOLT et al. (1983) für den Schwarzwald gefunden haben. Zur Klärung dieser Frage wurde der Heidelberger Granit als das Liegende der pyroklastischen Gesteine von Wilhelmsfeld-Altenbach in die Altersuntersuchungen mit einbezogen.

### 3. Die Proben

Bei den datierten Vulkanitproben handelt es sich zum einen um einen einsprenglingsreichen Rhyolith der Groß-Umstädter Vorkommen, zum anderen um zwei Tuffe des Wilhelmsfeld-Altenbacher Gebietes im südlichen Odenwald. Die Probe des Heidelberger Granits stammt aus der Umgebung von Lampenhain. In Abb. 2 sind die Probenpunkte eingezeichnet; die genaue Herkunft der Gesteine ist in Tab. 1 aufgelistet.

Die Rhyolithe von Groß-Umstadt sitzen hauptsächlich als isolierte Einzelvorkommen Gesteinen des kristallinen Untergrundes des Odenwaldes auf (EBERLE 1967). Wegen des fehlenden stratigraphischen Bezuges werden sie daher nur anhand von geologisch-petrologischen Analogieschlüssen dem Rotliegenden zugeordnet. Die Tuffe von Wilhelmsfeld-Altenbach liegen auf Grundgebirge bzw. auf geringmächtigen Brekzien und Arkosen als Verwitterungsbildungen der permischen Landoberfläche (PRIER 1975) und werden ihrerseits von jüngeren Arkosen und Sandsteinen oder von Sedimenten des Zechsteins überlagert. Sie gehören demnach dem Rotliegenden an, welches von Prier (1969) als tieferes Rotliegendes spezifiziert wurde. Eine Parallelisierung dieser

**Tab. 1.** Bezeichnung und Herkunft der untersuchten Vulkanite und Plutonite

Gestein	Probe	Lokalität (Aufschluß)	Koordinaten
Quarzporphyr (Rhyolith)	6379/5	Hainrichsberg (Baugrube)	TK 6119 Groß-Umstadt, R 34 96 400, H 55 25 230
rhyolithischer Lapillituff(it)	4681/E	kleine Vokling bei Altenbach (Weganschnitt)	TK 6518 Heidelberg, R 34 79 880, H 54 81 800
rhyolithischer Lapillituff	OWP1	Sportplatz Altenbach (Lesestein)	TK 6518 Heidelberg, R 34 81 350, H 54 82 325
Granit	HDGI-2	aufgel. Steinbruch Buchenrot östlich Lampenhain	TK 6518 Heidelberg, R 34 84 150, H 54 84 310

Rotliegendvorkommen im südlichen Odenwald beispielsweise mit dem Rotliegenden des Saar-Nahe-Gebietes ist sowohl lithologisch wie biostratigraphisch jedoch nicht möglich.

Der untersuchte Rhyolith des Hainrichsberges östlich Groß-Umstadt ist ein K-reiches, grauviolettes Gestein mit hohen Einsprenglingsanteilen. Die Grundmasse besteht aus feinverwachsenen Quarz- und Feldspatmikrolithen mit wechselnden Anteilen von Sericit. Einsprenglinge sind Quarz, teilweise in Form idiomorpher Dihexaeder, teilweise gerundet und buchtig korrodiert, Alkalifeldspäte, bevorzugt idiomorph, nach dem Karlsbad-Gesetz verzwillingt und mit Sanidin-Optik, aber auch als sericitisierte Bruchstücke mit Pigmenten von Fe-Oxiden, sowie Biotit, der stets völlig gebleicht und vererzt ist.

Die beiden bearbeiteten Tuffproben von Wilhelmsfeld-Altenbach sind Lapillituffe nach der Nomenklatur von PRIER (1969). Die Gesteine bestehen aus einer durch Hämatit rot gefärbten Staubbuff-Grundmasse, in der einzelne, meist rundliche, teilweise auch gestauchte, völlig zersetzte Lapilli liegen. In diese submikroskopische Grundmasse eingelagert sind Bruchstücke von Quarz und Kalifeldspat, sowie grüner Biotit. Die Kalifeldspäte sind reliktsch frisch erhalten (Sanidin), meist jedoch

getrübt und in verschiedenen Graden alteriert. Probe 4681/E führt zusätzlich Muskovitblättchen als Einsprenglinge, bei denen eine sekundäre Entstehung etwa aus Biotit jedoch auszuschließen ist. Die Lapilli bestehen zum überwiegenden Teil aus kaolinitisiertem Gesteinsglas. Gelegentlich sind umgewandelte, meist sericitisierte Grundgebirgsxenolithe in diesen Gesteinen zu finden.

Die untersuchte Granitprobe ist eine mittel- und gleichkörnige, rötlich-graue Varietät, die schlierenartig im ansonsten porphyrisch ausgebildeten Heidelberger Granit auftritt, sich ansonsten in Mineral- und Modalbestand aber kaum von letzterem unterscheidet. Die Kalifeldspäte (40 Vol-%) sind meistens Flammen- oder Aderperthite; hin und wieder tritt auch Mikroklin auf. Vereinzelt sind Sericitisierung und Kaolinisierung zu beobachten. Myrmekitische Verwachsungen zwischen Plagioklas und Kalifeldspatkristallen sind häufig.

Die Plagioklase (30 %) sind mäßig sericitisiert, wobei der Sericit sowohl entlang von Rissen in den Kristallen als auch nesterartig auftritt. Quarz (20 %) zeigt oft eine starke undulöse Auslöschung. Die gelbbraunen bis braungrünen Biotite (8 %) zeigen gelegentlich chloritisierte Bereiche. Die restlichen zwei Prozent des Gesteins sind Akzessorien (Apatit, Zirkon, selten Titanit) und Erz.

## 4. Altersbestimmungen

Von beiden Tuffproben des südlichen und von dem Rhyolith des nördlichen Odenwaldes wurden jeweils deren Sanidineinsprenglinge datiert, von der Probe 4681/E zusätzlich ein Biotit- und ein Muskovitpräparat. Die Datierung des Heidelberger Granits wurde an Biotit durchgeführt. Die Glimmerpräparate wurden durch konventionelle magnetische und Schweretrennungsverfahren hergestellt. Die Sanidinseparate mußten durch Handauslesen der durchsichtigen, glasigen Individuen aus einem Gemisch von Feldspäten unterschiedlichsten Erhaltungsgrads gewonnen werden.

Die Altersmessungen an den Vulkanitmineralen wurde mit der  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Methode durchgeführt. Als Bestrahlungsmonitore dienten der Biotitstandard LP-6 mit einem empfohlenen Alter von 127,8 Ma (ODIN 1995) und der Hornblendestandard MMHb-1 (520,4 Ma; SAMSON & ALEXANDER 1987). Auf die weiteren Einzelheiten

der experimentellen Verfahren der  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altersmessungen soll hier nicht näher eingegangen werden. Im Detail sind sie bei HESS (1990) beschrieben. Die Ergebnisse der  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Stufenaltersbestimmungen sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

Abb. 3 und 4 zeigen die Altersspektren der datierten Mineralseparate. Bis auf den Biotit der Probe 4681/E haben alle Proben relativ ungestörte, flache  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Spektren, deren Alter im allgemeinen als geologisch bedeutsam angesehen werden können. Die Ausbildungsform des Altersspektrums des Biotits 4681/E kann sowohl durch natürliche Störungen seines K-Ar-Systems wie auch durch methodische Artefakte (HESS et al. 1987) beeinflusst sein. Weder dem Altersspektrum noch dem  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Gesamalter kann daher eine größere geologische Bedeutung zugemessen werden.



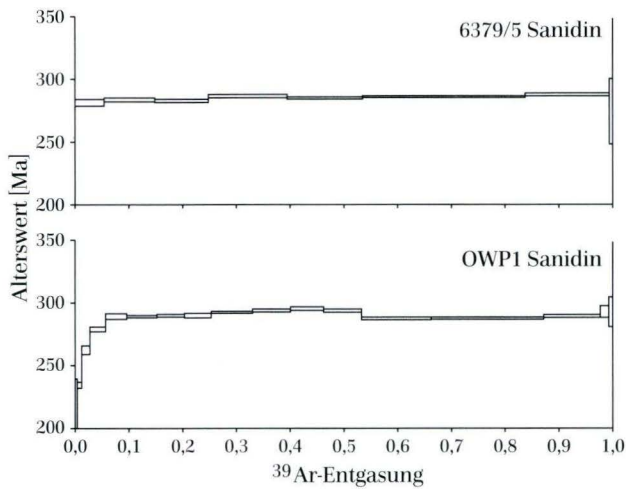


Abb. 3.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altersspektrum der Sanidinprobe 6379/5 (Groß-Umstädter Rhyolith-vorkommen) und der Sanidinprobe OWP1 (Wilhelmsfeld-Altenbacher Tuffvorkommen).

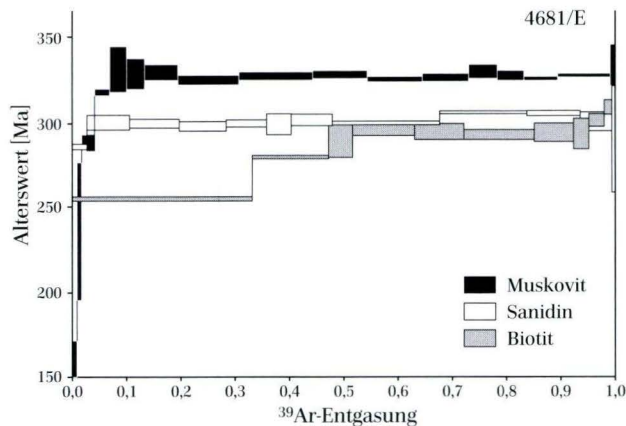


Abb. 4.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altersspektren von Kalifeldspat, Biotit und Muskovit der Tuffitprobe 4681/E (Wilhelmsfeld-Altenbacher Vorkommen).

Tab. 2. Ergebnisse der  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altersbestimmungen an Mineralseparaten aus Odenwälder Rhyolith- und Tuffvorkommen des Rotliegenden

Entgasungsschritt	$^{39}\text{Ar}_k$	$^{40}\text{Ar}^*$ [%]	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_k$ [%]	Alterswert [Ma]
6379/5 Sanidin $J = (2,821 \pm 0,018) 10^{-3}$				
1	5,54	90,4	$59,97 \pm 0,62$	$282,0 \pm 2,7$
2	9,39	97,7	$60,52 \pm 0,34$	$284,4 \pm 1,5$
3	9,81	97,3	$60,23 \pm 0,27$	$283,1 \pm 1,2$
4	14,78	97,7	$61,09 \pm 0,31$	$286,9 \pm 1,4$
5	14,15	97,3	$60,73 \pm 0,21$	$285,3 \pm 0,9$
6	30,35	97,6	$60,95 \pm 0,13$	$286,3 \pm 0,6$
7	15,51	87,6	$61,43 \pm 0,27$	$288,3 \pm 1,2$
8	0,47	21,8	$58,28 \pm 6,00$	$274,6 \pm 26,2$
total	100,0	94,0	$60,83 \pm 0,10$	$285,8 \pm 0,4$

4681/E Biotit $J = (5,624 \pm 0,056) 10^{-3}$				
1	33,21	91,8	$26,96 \pm 0,16$	$254,7 \pm 1,4$
2	14,31	94,4	$29,77 \pm 0,12$	$279,3 \pm 1,1$
3	4,38	96,5	$30,91 \pm 1,13$	$289,1 \pm 9,7$
4	11,56	98,5	$31,79 \pm 0,49$	$296,7 \pm 4,2$
5	9,26	98,5	$31,61 \pm 0,52$	$295,1 \pm 4,5$
6	12,68	98,9	$31,37 \pm 0,37$	$293,1 \pm 3,2$
7	7,19	98,2	$31,56 \pm 0,60$	$294,7 \pm 5,1$
8	2,90	96,9	$31,43 \pm 1,01$	$293,7 \pm 8,7$
9	2,60	98,9	$32,31 \pm 0,41$	$301,2 \pm 3,5$
10	1,30	99,9	$33,24 \pm 0,45$	$309,1 \pm 3,9$
11	0,53	99,9	$33,28 \pm 0,68$	$309,5 \pm 5,8$
total	100,0	95,9	$29,80 \pm 0,13$	$279,6 \pm 1,1$

4681/E Sanidin $J = (5,672 \pm 0,060) 10^{-3}$				
1	3,03	92,8	$30,25 \pm 0,18$	$285,7 \pm 1,6$
2	7,81	98,6	$31,92 \pm 0,43$	$300,3 \pm 4,2$
3	9,01	99,3	$31,87 \pm 0,27$	$299,8 \pm 2,4$
4	8,76	98,7	$31,48 \pm 0,43$	$298,2 \pm 2,7$
5	7,31	99,4	$31,86 \pm 0,24$	$299,7 \pm 2,1$
6	4,66	97,9	$31,80 \pm 0,70$	$299,2 \pm 6,1$
7	7,66	99,0	$32,08 \pm 0,35$	$301,6 \pm 3,0$
8	19,88	99,0	$31,86 \pm 0,14$	$299,7 \pm 1,2$
9	16,00	98,9	$32,57 \pm 0,$	$305,5 \pm 1,1$
11	5,64	98,1	$31,96 \pm 0,62$	$300,6 \pm 5,4$
12	0,53	86,8	$31,94 \pm 4,90$	$300,4 \pm 42,4$
total	100,0	98,6	$32,00 \pm 0,09$	$300,9 \pm 0,6$

4681/E Muskovit $J = (5,554 \pm 0,060) 10^{-3}$				
1	0,92	73,5	$16,72 \pm 1,17$	$160,1 \pm 10,8$
2	0,29	92,5	$25,55 \pm 2,15$	$239,4 \pm 18,8$
3	0,79	84,7	$25,15 \pm 4,56$	$235,9 \pm 40,1$
4	2,38	92,2	$31,17 \pm 0,47$	$288,1 \pm 4,0$
5	2,90	93,5	$34,66 \pm 0,21$	$317,6 \pm 1,7$
6	2,79	95,6	$36,29 \pm 1,61$	$331,2 \pm 31,5$
7	3,52	97,0	$35,95 \pm 1,11$	$328,4 \pm 9,3$
8	6,07	98,5	$36,05 \pm 0,56$	$329,2 \pm 4,7$
9	11,32	99,0	$35,54 \pm 0,37$	$325,0 \pm 3,1$
10	13,63	99,2	$35,76 \pm 0,29$	$326,8 \pm 2,5$
11	10,16	99,2	$35,91 \pm 0,30$	$328,0 \pm 2,5$
12	10,20	99,5	$35,57 \pm 0,22$	$325,3 \pm 1,8$
13	8,42	99,2	$35,65 \pm 0,30$	$325,9 \pm 2,5$
14	5,16	98,5	$36,09 \pm 0,54$	$329,5 \pm 4,5$
15	4,87	98,9	$35,82 \pm 0,40$	$327,3 \pm 3,3$
16	6,33	97,4	$35,59 \pm 0,16$	$325,4 \pm 1,4$
17	9,48	95,3	$35,84 \pm 0,14$	$327,5 \pm 1,2$
18	0,77	80,3	$36,58 \pm 1,39$	$333,7 \pm 11,6$
total	100,0	98,4	$35,35 \pm 0,12$	$23,4 \pm 1,0$

OWP1 Sanidin $J = (4,221 \pm 0,024) 10^{-3}$				
1	0,30	70,1	$30,15 \pm 3,26$	$216,1 \pm 22,0$
2	0,88	90,5	$32,66 \pm 0,34$	$233,0 \pm 2,3$
3	1,54	96,7	$36,91 \pm 0,53$	$261,2 \pm 3,5$
4	2,93	98,4	$39,46 \pm 0,25$	$277,9 \pm 1,7$
5	3,98	99,6	$41,13 \pm 0,32$	$288,8 \pm 2,2$
6	5,59	99,0	$41,09 \pm 0,11$	$288,6 \pm 1,0$
7	5,07	99,2	$41,24 \pm 0,15$	$289,5 \pm 1,1$
8	4,95	98,8	$41,20 \pm 0,27$	$289,2 \pm 1,9$
9	7,65	99,3	$41,67 \pm 0,09$	$292,3 \pm 0,9$
10	7,08	99,5	$41,90 \pm 0,16$	$293,8 \pm 1,2$
11	6,19	96,3	$42,08 \pm 0,21$	$294,9 \pm 1,5$
12	7,21	99,6	$41,85 \pm 0,12$	$293,5 \pm 1,0$
13	13,12	99,5	$40,81 \pm 0,16$	$286,7 \pm 1,2$
14	20,90	98,7	$40,93 \pm 0,09$	$287,5 \pm 0,9$
15	10,44	98,3	$41,11 \pm 0,11$	$288,7 \pm 1,0$
16	1,57	89,8	$41,67 \pm 0,75$	$292,3 \pm 4,9$
17	0,59	26,0	$40,82 \pm 1,80$	$292,3 \pm 11,7$
total	100,0	97,5	$41,04 \pm 0,21$	$288,2 \pm 1,5$

**Tab. 3.** Ergebnisse der konventionellen K-Ar-Datierung an der Biotitprobe HDGL-2

Runnr.	Einwaage [mg]	K-Gehalt [%]	<sup>40</sup> Ar* [nl/g]	<sup>40</sup> Ar* [%]	Alter [Ma]
7337	18,26	6.870	95,83± 1,21	94,8± 1,7	327,4± 4,8
7342	16,32	6.870	95,02± 1,38	88,9± 1,7	324,9± 5,2
Mittel			95,48± 0,91	91,9± 1,2	326,2± 3,5

Die Datierungen am Biotit des Heidelberger Granits wurden mit der konventionellen K-Ar-Methode durchgeführt. Ihre Ergebnisse sind in Tab. 3 aufgelistet.

Sämtliche in dieser Studie angeführten analytischen Unsicherheitsintervalle sind ±1σ-Fehler.

## 5. Diskussion der Ergebnisse und Folgerungen

Alle drei datierten Sanidine aus den Odenwälder Permvulkaniten zeigen <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Altersspektren, die keine wesentlichen Störungen ihrer K-Ar-Systematik erkennen lassen. Dennoch ist bei keiner dieser Proben im strengen Sinne ein Altersplateau über das gesamte Entgasungsspektrum entwickelt, sondern nur in Teilbereichen. So erstreckt sich das Altersplateau sensu stricto des Sanidins 6379/5 nur auf 75 % des Spektrums (Entgasungsschritte 4–8), jenes des Sanidins 4681/E auf 65 % (Schritte 2–8). Daraus resultieren die geringen Unterschiede zwischen den in Tab. 4 zusammengefaßten <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Plateau- und -Gesamtaltern dieser Minerale, wobei die Plateaulalter jedoch in keinem Fall signifikant von den Gesamtargonaltern abweichen. Gleiches gilt für den Sanidin der Probe OWP1, bei dem wegen geringfügigen Schwankungen im Altersspektrum kein Plateaulalter, sondern nur ein Durchschnittsalter der Hochtemperatur-Entgasungsschritte berechnet werden konnte. Es erscheint legitim, die in Tab. 4 aufgeführten <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar-Alter der Sanidine als Mineralbildungsalter zu interpretieren. Dem Groß-Umstädter Rhyolith des Hainrichsberges käme damit ein Bildungsalter von 286 Ma, den Tuffen OWP1 und 4681/E von 290 bzw. 300 Ma zu. Eine Altersdifferenz von etwa 10 Ma der beiden Tuffproben ist mit ihrer ähnlichen stratigraphischen Stellung jedoch nur schwer zu vereinbaren.

Der von dem Tuff 4681/E datierte Muskovit ergab mit 327 Ma ein Plateaulalter (93 %, Schritte 6–18), welches

um über 25 Ma höher ist als das des Sanidins von etwa 300 Ma. Diese Altersdifferenz kann sicherlich nicht auf Störungen im K-Ar-System des Muskovits zurückgeführt werden. Methodische Fehlerquellen (etwa Eichfehler) in diesem Größenbereich können ebenfalls ausgeschlossen werden. Aufgrund seines hohen Alters, welches sehr gut mit den K-Ar-Altern von Glimmern aus Kristallgesteinen des südlichen Odenwaldes übereinstimmt (KREUZER & HARRE 1975) und identisch ist mit dem in dieser Studie am Heidelberger Granit bestimmten Biotitalter, kann eine allothigene Herkunft des Muskovits in diesen Gesteinen angenommen werden, wie sie bereits von PRIER (1969) vermutet wurde. Eine primär-vulkanische Bildung des Muskovits, wie sie von SCHLEICHER & LIPPOLT (1981) für verschiedene Vorkommen des Schwarzwaldes, des Odenwaldes und des Saar-Nahe-Gebietes beschrieben wurde, wie auch seine sekundäre in-situ-Entstehung, beispielsweise aus Biotit, ist für die Tuffe von Wilhelmsfeld-Altenbach auszuschließen. Sein gelegentliches Auftreten in diesen Gesteinen muß mit Kontamination des tuffogenen Materials durch muskovitführende Grundgebirgskomponenten erklärt werden. Da aufgrund der fortgeschrittenen Umwandlung der Gesteine Tuffe und Tuffite nicht mehr unterschieden werden können (PRIER 1969), muß dabei offen bleiben, ob die Kontamination durch bei der Eruption mitgerissenes Grundgebirgstrümmer oder durch Umlagerung und Vermischung mit kristallinem Verwitterungsschutt stattfand. Aus diesen Gründen ist zu vermuten, daß das gemessene Alter des Sanidinpräparats 4681/E durch Anteile allothigenen Kalifeldspates aus Gesteinen des älteren kristallinen Untergrundes der Wilhelmsfeld-Altenbacher Tuffe, verglichen mit dem Eruptionszeitraum dieser Pyroklastite, ebenfalls zu hoch ist.

In der Tuffprobe OWP1 treten solche allothigenen Mineralkomponenten nicht auf bzw. konnten in ihnen nicht nachgewiesen werden. Dem Sanidinalter dieser Probe von 290 Ma kann demnach eine größere geologische Bedeutung zugemessen werden als den Altern der Minerale aus dem Tuff 4681/E. Es kann als Eruptions- oder Sedimentationsalter dieses Tuffes angesehen werden und entspricht damit den Altern der Rhyolithe bzw. denen der Tuffe der unteren Grenzlager-Gruppe des

**Tab. 4.** Zusammenfassung der Altersergebnisse der datierten Gesteine

Probe	Mineral	<sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar-Alter [Ma]	
		Gesamt	Plateau
Vulkanite			
6379/5	Sanidin	285,8 ± 1,7	286,4 ± 1,7
4681/E	Sanidin	301,1 ± 3,0	299,8 ± 2,9
	Biotit	279,6 ± 2,8	(295,9 ± 3,0)*
	Muskovit	323,4 ± 3,3	326,6 ± 3,2
	Sanidin	288,2 ± 1,5	289,7 ± 2,9**
Granit			
HDGL-2	Biotit	326,2 ± 3,5	(konv. K-Ar-Alter)

\* Entgasungsschritte 2 –7

\*\* Durchschnittsalter der Hochtemperatur-Entgasungsschritte

Saar-Nahe-Gebietes, für die LIPPOLT et al. (1989) Rb-Sr-Biotitalter von 289 bis 292 Ma bzw. von 291 Ma erhielten. Diese Altersübereinstimmung legt den Schluß nahe, daß die pyroklastischen Gesteine des südlichen Odenwaldes zeitgleiche Äquivalente des sauren Grenzlager-Vulkanismus des Saar-Nahe-Gebietes sind.

Das Sanidinalter des Rhyoliths der Groß-Umstädter Vorkommen von 286 Ma kann ebenfalls als Gesteinsbildungsalter interpretiert werden. Es weicht nur geringfügig vom Alter der Süd-Odenwälder Tuffprobe OWP1 ab und ist vergleichbar mit  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altern, die HESS & LIPPOLT (in Vorb.) an Feldspäten aus basischen bis sauren Vulkaniten des Saar-Nahe-Gebietes erhielten, welche gleichfalls der Grenzlager-Formation der Nahe-Gruppe (unteres Oberrotliegendes) zugerechnet werden.

Erlaubte Verallgemeinerung auf die bislang noch nicht isotopisch datierbaren Rhyolithvorkommen (z.B. Weinheim, Dossenheim) vorausgesetzt, kann der saure subsequente Vulkanismus des Odenwaldes als zeitliches Äquivalent des Grenzlagervulkanismus des Saar-Nahe-Pfalz-Gebietes angesehen werden. Unter Einbeziehung der Altersdaten eines Rhyoliths des Spessarts (LIPPOLT et al., in Vorb) ist zu schließen, daß die Hauptmasse der subsequenten Vulkanite im gesamten Bereich der Mitteldeutschen Kristallinschwelle – und möglicherweise weit darüber hinaus (z.B. im südlichen Harz, LIPPOLT & HESS 1996) – nahezu gleichzeitig in einem relativ kurzen Zeitintervall gefördert wurden.

Das K-Ar-Biotitalter des Heidelberger Granits von  $326 \pm 4$  Ma ist identisch mit den K-Ar-Biotitaltern um 327 Ma, die KREUZER & HARRE (1975) an anderen Granitoiden des südlichen Odenwaldes bestimmt haben. Die von KREUZER & HARRE (1975) an diesen Gesteinen erhaltenen K-Ar-Hornblendealter sind im Mittel dagegen 8 Ma älter als die Biotitdaten. Aufgrund der unterschiedlichen Schließtemperaturen von Hornblende (um 500 °C) und Biotit (um 300 °C) kann diese Altersdifferenz mit einer langsamen regionalen Abkühlung (25 °C/Ma) im südlichen Odenwald erklärt werden. Das in dieser Studie bestimmte Biotitalter datiert somit nicht die Intrusion des Heidelberger Granits, sondern lediglich dessen Abkühlung unter 300 °C; für seinen Bildungszeitpunkt scheint ein um etwa 10 Ma höheres Alter von 335 Ma plausibel zu sein. Für die Granitoide des nördlichen Odenwaldes

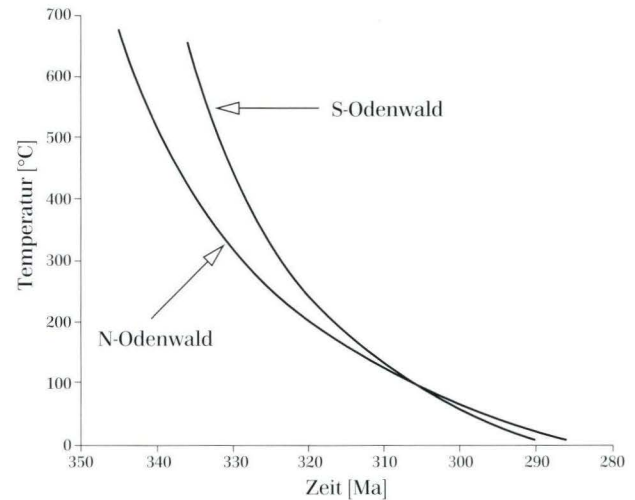


Abb. 5. Schema der zeitlichen Temperaturentwicklung des Grundgebirges des südlichen und nördlichen Odenwaldes während des Permokarbons.

können den Daten von KREUZER & HARRE (1975) zufolge noch höhere Bildungsalter bis 345 Ma angenommen werden. In Abb. 5 sind die auf den Plutonit- und Vulkanitaltern basierenden zeitlichen Temperaturverläufe für den heutigen Krustenanschnitt im südlichen und nördlichen Odenwald schematisch dargestellt.

Der zeitliche Hiatus zwischen Plutonismus und spät-orogener Vulkanismus mit 45 Ma im südlichen Odenwald und 55 Ma im nördlichen Odenwald ist sehr viel größer als im Schwarzwald, wo er nach LIPPOLT et al. (1983) etwa 20 Ma beträgt. Darüber hinaus kann aus den für die Vulkanite erhaltenen Altersdaten kein zeitlich-räumlicher Entwicklungstrend für den Odenwälder Rotliegendevulkanismus abgeleitet werden, wie ihn LIPPOLT et al. (1983) für jenen des Schwarzwalds postulieren.

Anerkennungen: Die Verfasser danken Herrn Dipl.-Geol. H. LEYK für Probenahme und Aufbereitung sowie Herrn Dipl.-Geol. Dr. H. KIRSCH für die Durchführung eines Teils der Messungen. Für die Durchführung der Neutronenaktivierung für die  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Datierungen sei der Belegschaft des Forschungszentrums GKSS/Geesthacht gedankt.

## 6. Schriftenverzeichnis

- ANDRAE, A. & OSANN, A. (1893): Beiträge zur Geologie des Blattes Heidelberg. – Mitt. bad. geol. L.-Anst., 2: 345–388; Heidelberg.
- ARIKAS, K. (1986): Geochemie und Petrologie der permischen Rhyolithe in Südwestdeutschland (Saar-Nahe-Pfalz-Gebiet, Odenwald, Schwarzwald) und in den Vogesen. – Pollichia-Buch 8: 321 S.; Bad Dürkheim.
- BARANYI, I., & LIPPOLT, H. J. (1976): Der permische Natron-Keratophyr von Roßdorf im nördlichen Odenwald. – Geol. Jb. Hessen, 104: 167–172; Wiesbaden.
- BUBNOFF, S. v. (1922): Tektonik und Intrusionsmechanismus im kristallinen Odenwald. – Abh. Preuß. Geol. L.-Anst., N. F., 89: 19–38; Berlin.
- CHELIUS, C. & VOGEL, C. (1894): Geologische Karte 1 : 25 000 des Großherzogtums Hessen, Blatt Groß-Umstadt. – Erläuterungen, 52 S.; Darmstadt.
- EBERLE, W. (1967): Neue Beobachtungen an den Quarzporphyren von Groß-Umstadt.

- Unveröff. Dipl.-Arb., Mineralog. Inst. Univ. Heidelberg, 152 S.; Heidelberg.
- FALKE, H. (1976): Problems of the continental Permian in the Federal republic of Germany. -in: FALKE, H. (Hrsg.): The continental Permian in Central, West, and South Europe. - NATO Adv. Study Inst. Ser. C, Math. Phys. Sci., **22**: 38-52; Dordrecht.
- FUCHS, K. & FLICK, H. (1986): Ein permokarboner Ignimbrit-Förderschlot im Wachenberg bei Weinheim/Bergstraße. - Jh. geol. L.-Amt Baden-Württemberg, **28**: 31-42; Freiburg i. Br.
- HESS, J. C. (1990): Numerische Stratigraphie permokarboner Vulkanite Zentraleuropas. Allgemeine Einführung und Teil I: Südtirol. - Z. dt. geol. Ges., **141**: 1-11; Hannover.
- HESS, J. C., LIPPOLT, H. J. & WIRTH, R. (1987): Interpretation of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  spectra of biotites. Evidence from hydrothermal degassing experiments and TEM studies. - Chem. Geol. (Isot. Sci. Sect), **66**: 137-149; Amsterdam.
- KLEMM, G. (1905): Geologische Karte 1:25 000 des Großherzogtums Hessen, Blatt Birkenau (Weinheim). - Erläuterungen, 75 S.; Darmstadt.
- KREUZER, H. & HARRE, W. (1975): K/Ar-Altersbestimmungen an Hornblenden und Biotiten des Kristallinen Odenwaldes. - Aufschluß, Sdbd. **27**: 71-77; Heidelberg.
- LIPPOLT, H. J. & HESS, J. C. (1989): Isotopic evidence for the stratigraphic position of the Saar-Nahe Rotliegende volcanism III. Synthesis of results and geological implications. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1989** (9): 553-559; Stuttgart.
- LIPPOLT, H. J. & HESS, J. C. (1996): Numerische Stratigraphie permokarbonischer Vulkanite Zentraleuropas. Teil II: Westharz. - Z. dt. geol. Ges., **147**: 1-9; Stuttgart.
- LIPPOLT, H. J., HESS, J. C., RACZEK, I. & VENZLAFF, V. (1989): Isotopic evidence for the stratigraphic position of the Saar-Nahe Rotliegende volcanism II. Rb-Sr investigations. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1989** (9): 539-552; Stuttgart.
- LIPPOLT, H. J., KIRSCH, H. & PLEIN, E. (1990): Karbonische und permische Vulkanite aus dem Untergrund des nördlichen Oberrheingrabens: Art, Altersbestimmung und Konsequenz. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., **72**: 227-242; Stuttgart.
- LIPPOLT, H. J., SCHLEICHER, H., RACZEK, I. (1983): Rb-Sr systematics of Permian volcanites in the Schwarzwald (SW Germany). Part I: Space of time between plutonism and late orogenic volcanism. - Contrib. Miner. Petrol., **84**: 272-280; Berlin-Heidelberg-New York.
- MARELL, D. (1987): Das Rotliegende zwischen Odenwald und Taunus. - Unveröff. Diss., Geolog. Inst. Univ. Frankfurt/Main, 263 S.; Frankfurt a. M.
- NICKEL, E. (1975): Geologische Position und Petrogenese des kristallinen Odenwaldes. - Aufschluß, Sdbd. **27**: 1-25; Heidelberg.
- PRIER, H. (1963): Das pyroklastische Rotliegende im südlichen Odenwald. - Jh. geol. L.-Amt Baden-Württemberg, **6**: 301-335; Freiburg i. Br.
- ODIN, G. S. (1995): Notes on the intercalibration of reference materials; K-Ar dating. - Phanerozoic Time Scale, Bull. Liaison Inform. IUGS Subcom. Geochronol., **13**: 21; Paris.
- PRIER, H. (1967): Das pyroklastische und sedimentäre Rotliegende im Bereich der Bergstraße des südlichen Odenwaldes. - Jh. geol. L.-Amt Baden-Württemberg, **11**: 279-298; Freiburg i. Br.
- PRIER, H. (1975): Tuffe und Sedimente des Rotliegenden im Odenwald. - Aufschluß, Sdbd. **27**: 285-298; Heidelberg.
- SAMSON, S. D. & ALEXANDER, E. C. Jr. (1987): Calibration of the interlaboratory  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  dating standard, MMhb-1. - Chem. Geol. (Isot. Sci. Sect), **66**: 27-34; Amsterdam.
- SCHLEICHER, H. & LIPPOLT, H.J. (1981): Magmatic muscovite in felsitic parts of rhyolites from Southwest Germany. - Contrib. Miner. Petrol., **78**: 220-224; Berlin-Heidelberg-New York.

Manuskript eingegangen am 31.10.1995, angenommen am 3.11.1995

ROLAND STRAUSS\*

# Geotechnische Untersuchungen an sulfatkarstgeschädigten Tonsteinen der Röt-Folge (Oberer Buntsandstein) in Nordhessen

## Kurzfassung

Im Verlauf der umfangreichen Erkundungsarbeiten für Verkehrsprojekte in Nordhessen wurden in ihrer Erscheinungsform vielfältige Ton(ge)steine der Röt-Folge (Oberer Buntsandstein) angetroffen. Über die gesamte Abfolge sind unterschiedlich intensiv ausgelaugte Gips-

horizonte verteilt. Erstmals sind tiefere Baugrundbohrungen bis in die gipsführenden Rötschichten ausgeführt worden, die interessante Entwicklungsstadien der Gipsauslaugung erkennen ließen und eine Gebirgstypisierung möglich machten. Durch das Abteufen eines Versuchs-

und Erkundungsschachtes konnte das Gebirge einem umfangreichen Untersuchungsprogramm unterworfen werden, das wichtige Erkenntnisse für den Tunnelbau in veränderlich festen Gesteinen erbrachte.

## Abstract

During extensive investigations for traffic projects in northern Hesse (Germany) Roethian Clays (Upper Bunter) have been found in diverse appearances. Gypsum horizons with variable stages of leaching can be found throughout the whole se-

quence. For the first time deeper foundation-test-borings have been carried out down to the gypsum-bearing Roethian layers that gave interesting insights into the different stages of gypsum leaching and allowed the differentiation of characteristic rock

types. After building a prospecting and exploration shaft it was possible to investigate the rocks by means of extensive rock mechanical tests. The results are an important knowledge in understanding the geotechnical behaviour of weak rocks.

## Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	48
2. Aufgabenstellung	49
3. Geologischer Überblick	49
3.1. Die Röt-Folge im Untersuchungsgebiet	50
3.2. Röthberg bei Grebenstein	51
3.3. Scheibenberg bei Hofgeismar-Hümme	52
3.4. Auslaugungs- und Verkarstungserscheinungen	53
4. Geotechnische Untersuchungen	54
4.1. Stand der Forschung	54
4.2. Versuchsprogramm	55
4.3. Versuchsergebnisse des Röt 1 und Röt 2 (Röthberg)	55
4.4. Versuchsergebnisse des Röt 4 (Scheibenberg)	57
4.4.1. Ergebnisse der Aufschlußbohrungen Scheibenberg-Tunnel	57
4.4.2. In-situ- und Großversuche im Versuchs- und Erkundungsschacht	60
4.4.3. Diskussion der Ergebnisse	61

\* Dr. R. STRAUSS, Geologisch-Paläontologisches Institut TH, Schnittpahnsraße 9, 64297 Darmstadt

5. Geotechnische Bewertung	63
5.1. Vergleich der Aufschlußmethoden Kernbohrung – Schacht	63
5.2. Gebirgstypisierung des nordhessischen Röts	63
6. Zusammenfassung der Ergebnisse	65
7. Schriftenverzeichnis	65

## 1. Zusammenfassung

Gesteine der Röt-Folge sind in Nordhessen und Südniedersachsen weit verbreitet und stellen einen häufig anzutreffenden Baugrund dar. Es handelt sich um veränderlich-feste Gesteine bzw. Halbfestgesteine, die aufgrund ihrer Verwitterungsanfälligkeit zu den geotechnisch schwierigen Baugrundarten zählen, da hier zwei geotechnisch bedeutsame Phänomene zusammenkommen, zum einen die von der Geländeoberfläche ausgehende intensive Verwitterung der Tonsteine und zum anderen die bis in größere Tiefen wirkenden Auslaugungsvorgänge der eingelagerten Evaporite und ihre Auswirkungen auf die Schichtlagerung und Oberflächengestalt. Beide Vorgänge führen zu einer mehr oder weniger starken Entfestigung bzw. Vertonung der Röt-Tonsteine, wobei bei den Auslaugungsphänomenen Nachsackungs- bzw. Versturzvorgänge hinzukommen.

Im Zuge normaler flachgründiger Baugrunduntersuchungen lassen sich diese, teilweise überlagernden, Erscheinungen der Gesteinsauflockerung meist nicht einwandfrei trennen. Durch die umfangreichen Erkundungsarbeiten für zwei Tunnelprojekte der Deutschen Bahn AG sind zahlreiche tiefere Baugrundbohrungen bis in die gipsführenden Rötschichten ausgeführt worden, wobei außer einer detaillierten Gebirgsbeschreibung gezeigt werden konnte, daß die Schichtenfolge des Oberen Röts (Röt 4) durch einige, über weite Strecken durchhaltende, grüngraue Horizonte aus Ton- bzw. Schluffsteinen untergliederbar ist. Diese grüngrauen Horizonte traten auch in der etwa 50 km entfernten Forschungsbohrung Borken auf. Weiterhin haben die Bohrungen gezeigt, daß die Auslaugung auf die Täler und Hanglagen beschränkt ist und unter den Bergrücken die Evaporitlagen zunehmend erhalten sind. Das heißt, daß der Röt unter Muschelkalküberdeckung meist noch gipsführend ist. Über diese geologischen Erkenntnisse hinaus konnten nicht nur interessante Entwicklungsstadien der Gipsauslaugung, vom unausgelaugten bis zum völlig gipsfreien Gebirge, beobachtet werden, sondern auch eine Gebirgstypisierung nach Auslaugungsstadien vorgenommen werden.

Die Gebirgstypen werden ausführlich beschrieben und in Tabellenform übersichtlich dargestellt. Für die einzelnen Gebirgstypen werden Kennwerte ermittelt und mit vergleichbaren Gesteinen anderer Formationen bzw. Gegenden in Beziehung gesetzt. Damit liegt erstmals eine

umfassende ingenieurgeologische Bearbeitung dieser weit verbreiteten veränderlich-festen und unterschiedlich stark auslaugungsgeschädigten bzw. verwitterten Tonsteine vor, welche nicht nur das weite Spektrum der Gesteins- bzw. Gebirgsfestigkeit aufzeigt, sondern auch eine deutliche feinschichtungsbedingte Anisotropie, selbst der ausgelaugten und nachgesackten Tonsteine.

Die weit über die Möglichkeiten einer Gutachtenbearbeitung hinausgehende vergleichende Auswertung sowohl der verschiedenen Aufschlußmethoden als auch der Ergebnisse der Labor- und Großversuche zeigt, daß Laborversuche in solchen veränderlich-festen Gesteinen brauchbare untere Grenzwerte liefern, wie sie für die rechnerische Abdeckung von Schwachstellen im Gebirge benötigt werden. Mittlere Rechenwerte lassen sich nur mittels Feld- und Großversuchen erarbeiten. Die vorgenommene Gebirgstypisierung mit zugrundegelegten Kennwerten ermöglicht in Zukunft, mittlere Rechenwerte abzuschätzen.

Aus den Untersuchungen wird deutlich, daß die Gesteine der Röt-Folge als Baugrund einen sehr inhomogenen Charakter besitzen.

Mit den hier gemachten Erfahrungen ist es dem Ingenieurgeologen möglich, anhand der Geländeaufnahme erste Rückschlüsse auf die Untergrundverhältnisse abzuschätzen und zu erkennen, auf welche geotechnischen Einzelheiten und Zusammenhänge es bei den Untersuchungsarbeiten ankommt, um die geologisch bedingten Schwachstellen des Gebirges zu erfassen. Trotzdem wird für eine detaillierte und umfassende Baugrunduntersuchung in der Regel ein relativ großer Untersuchungsaufwand erforderlich werden. Die gründliche Nachbearbeitung der gesamten Untersuchungsarbeiten zeigt, daß in solchen Gesteinen die intensive Mitwirkung eines erfahrenen ingenieurgeologischen Fachgutachters bereits bei der Aufstellung des Untersuchungsprogramms und der Ausschreibung der Aufschlußarbeiten erforderlich ist. Das Untersuchungsprogramm muß außerdem möglichst variabel gehalten werden, da sich der Auslaugungsgrad des Gebirges in horizontaler und vertikaler Erstreckung auf kurze Distanz ändern kann.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auf andere evaporitführende Gesteine der Germanischen Trias (Mittlerer Muschelkalk, Gipskeuper) übertragen.

## 2. Aufgabenstellung

Im Zuge der Planung der Ausbaustrecke Kassel–Dortmund der Deutschen Bahn AG (ABS 33) sind im Abschnitt Grebenstein–Lamerden, Landkreis Kassel, in den Jahren 1991–1993 umfangreiche Aufschluß- und Untersuchungsarbeiten in den Gesteinen der Röt-Folge des Oberen Buntsandsteins angefallen.

Obwohl die Röt-Folge in Nordhessen und Südniedersachsen weit verbreitet ist, lagen weder über die regionalen und lithofaziellen Unterschiede der Gesteinsausbildung noch über die Evaporitführung ausreichend abgesicherte Erkenntnisse vor. Für die beiden im hessischen Abschnitt liegenden Tunnelbauprojekte, den Röhberg-Tunnel bei Grebenstein und den Scheibenberg-Tunnel bei Hofgeismar-Hümme, mußte daher nicht nur ein sehr umfangreiches Bohrprogramm mit zusammen 1648,7 Bohrmeter, davon allein 928,5 m in den Röttonsteinen, sondern auch eine große Anzahl von Bohrlochversuchen und boden- und felsmechanischen Laborversuchen sowie ein Versuchsschacht mit Injektionsversuchen, In-situ-Großversuchen und der Entnahme von Großbohrkernen für Großtriaxialversuche vorgesehen werden.

Die Bearbeitung der Aufschlüsse und Versuchsergebnisse erfolgte als Projektbearbeiter im Hessischen Landesamt für Bodenforschung (HLfB), das mit der Ausarbeitung der ingenieurgeologischen und hydrogeologischen Fachgutachten betraut war. Die Laborversuche wurden überwiegend im bodenmechanischen Labor des HLfB vorgenommen. Die tonmineralogischen Untersuchungen wurden am Institut für Geologie und Paläontologie der Philipps-Universität Marburg durchgeführt. Die In-situ-Großversuche wurden von der Forschungs- und Materialprüfungsanstalt (FMPA) Stuttgart ausgeführt, die Probenentnahme und die Großtriaxialversuche durch das Institut für Boden- und Felsmechanik (IBF) der Universität Karlsruhe.

## 3. Geologischer Überblick

Das Arbeitsgebiet liegt in der Hessischen Senke etwa 15 km nördlich von Kassel zwischen Grebenstein und Lamerden. Abb. 1 zeigt in einer Übersicht die Ausbaustrecke 33 der Deutschen Bahn AG und die Lage der beiden Tunnelprojekte.

Im weiteren Untersuchungsgebiet treten die Schichten des Buntsandsteins, des Muschelkalks, des Tertiärs zutage. Die Schichtenabfolge ist im allgemeinen flach nach Westen geneigt. Gesteine der Röt-Folge streichen bevorzugt in dem Nord-Süd-verlaufenden Esse-Tal aus.

In den Erläuterungen zu Bl. Wolfhagen der GK 25 (RÖSING 1966) wird die Röt-Folge in die Unteren Röttschich-

ten (Grauer Röt) und in einen mittleren und oberen Teil untergliedert. HINZE (1967) teilt die Röt-Folge im südniedersächsischen Bergland in vier Abschnitte ein. Die Unterscheidung erfolgt im wesentlichen anhand lithologischer Kriterien sowie der Gesteinsfarben:

Hierbei standen folgende Fragen im Vordergrund:

- Gesteinsausbildung und die regionale Evaporitführung sowie ihre Ausbildung und ihre Verteilung in der Schichtenfolge des Röts,
- Beschreibung der verschiedenen Entwicklungsstadien der Auslaugung und ihrer Auswirkungen auf die Schichtenfolge bzw. die Geländeoberfläche (Senkungen, Erdfälle),
- Beschreibung und Klassifikation der mehr oder weniger auslaugungsgeschädigten Röttonsteine hinsichtlich ihrer Zustandsform und ihrer boden- und felsmechanischen Eigenschaften (Gebirgstypisierung),
- Zuordnung und gegenseitige Abhängigkeiten der ermittelten Kennwerte für die Zustandsform, Festigkeit und Verformbarkeit zu den mehr oder weniger auslaugungsgeschädigten Gebirgstypen,
- Abhängigkeiten von geologischen Faktoren bei den Kennwerten für das Gebirgsverhalten, wie z.B. Tonmineralgehalte, Trennflächen, Gebirgsanisotropie,
- Vergleich der Ergebnisse mit Tonsteinen und Tonen anderer Formationen bzw. Gegenden zur Absicherung der erarbeiteten Rechenwerte bzw. zum Erkennen regionaler oder anderer spezifischer Abweichungen,
- Zusammenfassende Bewertung der gesamten Ergebnisse hinsichtlich der Projektdurchführung und auch künftiger Untersuchungsarbeiten in vergleichbaren Gesteinen.

Grauviolette Serie (Röt 4)  
Rotbraune Serie (Röt 3)  
Bunte Serie (Röt 2)  
Graue Serie (Röt 1)

Im Rahmen dieser Arbeit wird diese Gliederung verwendet.

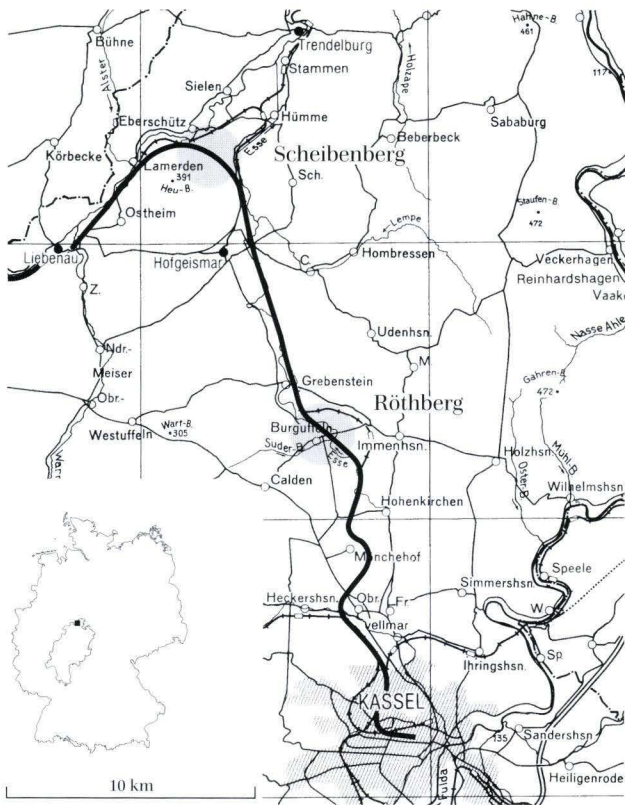


Abb. 1. Topographischer Überblick über das Untersuchungsgebiet.

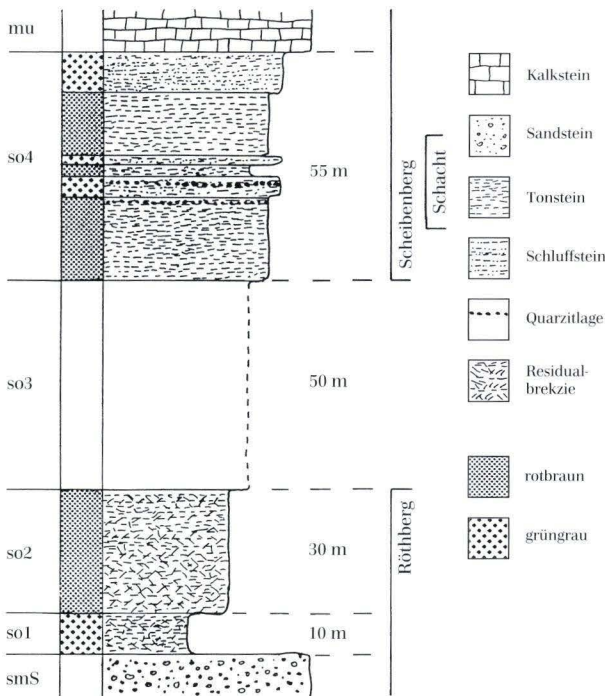


Abb. 2. Profil der in dieser Arbeit untersuchten Schichten (schematisch).

### 3.1. Die Röt-Folge im Untersuchungsgebiet

Für das Projektgebiet gibt HORN (1982) für die gesamte Röt-Folge eine Mächtigkeit von 155–180 m an. Er beschreibt Vorkommen von Gipslagen im Röt 1 und im Röt 4. An der Basis des Röt 1 wird eine bis zu 10 m mächtige, teilweise noch gipsführende Residualbrekzie beschrieben. Eine westlich von Trendelburg angesetzte Bohrung hat mindestens 215 m Röt angetroffen (BÜHMANN & RAMBOW 1979).

Die im Arbeitsgebiet untersuchten Schichten der Röt-Folge sind auf Abb. 2 als schematisches Profil dargestellt.

#### Röt 1

An der Basis des Röt befinden sich die hellgrüngrauen Sandsteine der Stammener Schichten mit grauen und grüngrauen stark zerbrochenen Tonsteinen, die in dieser Form als Residualgesteine einer ehemals z. T. gips- und z. T. steinsalzführenden Schicht anzusehen sind. Wegen seiner überwiegend grüngrauen Färbung wird der Röt 1 auch als Grauer Röt bezeichnet. Die Gesamtmächtigkeit des Röt 1 im ausgelaugten Zustand beträgt etwa 10 m. Die primäre Mächtigkeit des Röt 1 dürfte z. T. bis 60 m betragen haben (HEITFELD & KRAPP 1991). Über den Residualgesteinen folgen bis zur Basis des Röt 2 graue und grüngraue Tonsteine, in denen Gips in Lagen und teilweise leicht verfalteten Bänken eingeschaltet ist bzw. war. Gips tritt hier heute fast ausschließlich sekundär als Fasergips in dünnen Lagen und als Kluffüllung auf.

#### Röt 2

Die Grenze zum Röt 2 wird mit dem Einsetzen violettbrauner bis grüngrauer plattiger Tonsteine über dem vorherrschend grün- bis gelbgrauen Röt 1 gezogen. In den bankigen bis plattigen Tonsteinen sind Dolomite und millimeterdicke Feinsandsteinlagen eingelagert, häufig mit Steinsalz pseudomorphosen. Im höheren Teil sind zunehmend braunrote dickbankige Schluffsteine anzutreffen, die hier den in seiner Zuordnung unklaren Übergangsbereich zum überlagernden Röt 3 bilden. Die Mächtigkeit des Röt 2 in Nordhessen beträgt etwa 40 m. In Südniedersachsen tritt im Röt 2 auch Gips auf. Dieser Teil der Röt-Folge hat hier aus einer Abfolge von etwa 50 m Tonsteinen mit Gipseinschaltungen bestanden und kann in oberflächennahen Bereichen bis auf 30 m reduziert sein (HEITFELD & KRAPP 1991).

#### Röt 3

Nach LEPPER (1976) hebt sich der Röt 3 morphologisch als markante Geländeversteilung innerhalb der meist flachen Röt-Hänge deutlich ab. In der Schichtenfolge



herrschen braunrote massige Schluffsteine vor, die bevorzugt bröckelig verwittern. Besonders im mittleren Teil kommen einige geringmächtige, zum Teil quarziti-sche grün- bis weißgraue Feinsandsteinbänke vor, die möglicherweise im Bereich der grünen Doppelbank HINZES (1967) liegen. Die Mächtigkeit beträgt etwa 50 bis 55 m.

Den bis heute bekannten Untersuchungen zufolge ist im Röt 3 fast Gips oder Anhydrit eingelagert.

#### Röt 4

Die Gesteine des Röt 4 bestehen aus einer Abfolge von unterschiedlich dick gebankten rotbraunen und z.T. grüngrauen Tonsteinen, in die unregelmäßig dünne Dolomit- bzw. auch Quarzitbänken sowie ursprünglich auch, und zwar wahrscheinlich fast über die gesamte Abfolge des Röt 4 verteilt, zentimeter- bis z.T. dezimeterdicke Gipslagen eingeschaltet waren. Im mittleren Teil des Röt 4 sind zudem mehrere bis zu 20 cm mächtige Quarzitlagen erbohrt worden. Diese Bänke sind meist grüngrau gefärbt. Sie scheinen über weite Strecken horizontbeständig zu sein und werden von BÜHMANN & RAMBOW (1979) auch aus dem Borkener Gebiet beschrieben.

Die Mächtigkeit des Röt 4 beträgt im nicht ausgelaugten Zustand etwa 50 bis 55 m.

Die Gesteine der Röt-Folge enden mit gelben dolomitischen Kalksteinen, den sog. Gelben Grenzkalke, einer Übergangsfazies vom lagunären und z.T. hypersalinen Milieu des Oberen Buntsandsteins zu dem marinen Milieu des Unteren Muschelkalkes. Diese setzt mit einer konglomeratischen, z.T. oolithischen, fossilführenden Kalksteinbank ein („Gelbe oolithische Grenzbank“).

### 3.2. Röhberg bei Grebenstein

Die Kuppe des Röhberges besteht aus Basalt, der nach Westen und Südwesten von einem breiten Tuffmantel umgeben ist. Es handelt sich hier um den Rand eines Vulkankraters mit böschungsparell angelagerten Tufflagen unterschiedlicher Körnung. Die Grenze zu den Röttonsteinen zeigt kaum Frittung. Das starke Zerbrechen der angrenzenden Röttonsteine und die teilweise brekziöse Ausbildung ist auf Auslaugungserscheinungen im Röt 1 zurückzuführen.

Die in der Umgebung des Röhberges anstehenden Gesteine der Röt-Folge reichen nach den neuesten Kartierergebnissen (ISRAEL 1994) vom Röt 1 bis zum Röt 3. Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden hier nur Gesteine des Röt 1 und Röt 2 eingehender untersucht.

Die Röttonsteine sind in einer unterschiedlich mächtigen Oberzone (10–15 m unter Gelände) angewittert, d.h. gelbolivgrau entfärbt und leicht „vertont“. Die Konsistenz dieser oberflächlich angewitterten Röttonsteine ist

fast durchweg halbfest. Die Feinsandsteine sind vielfach zu einem gelbgrauen schluffigen Feinsand entfestigt.

Die hier im tiefen Teil der Röt-Folge ehemals verbreiteten Salzgesteine (Anhydrit und Gips, z.T. auch Steinsalz) sind bis zum Tertiär vollständig ausgelaugt worden. An ihrer Stelle liegen als Residualbildungen nachgebrochene bzw. verstützte mächtig gut kompaktierte brekziöse Tone mit Tonsteinbrocken und -bröckchen. Auch die nächsthöheren Teile der Röt-Folge liegen nicht mehr ungestört vor, sondern sind meist flächig nachgesackt und unterschiedlich stark in sich zerbrochen.

In den höheren Bereichen des Röt 2 mit geringeren Nachsackungs- und Versturzvorgängen liegen bereichsweise auch noch bankige stark zerklüftete halbfeste bis feste Tonsteine vor. Die Sandsteinbänken sind stark zerbrochen und die dolomitischen Lagen oberflächennah meist stark sandig verwittert. Derartige festere Bereiche sind hier am Röhberg nur vereinzelt erbohrt worden.

Ungestörte, in ihrer Struktur und Gebirgsfestigkeit nicht veränderte, Röttonsteine sind am Röhberg nicht vertreten.

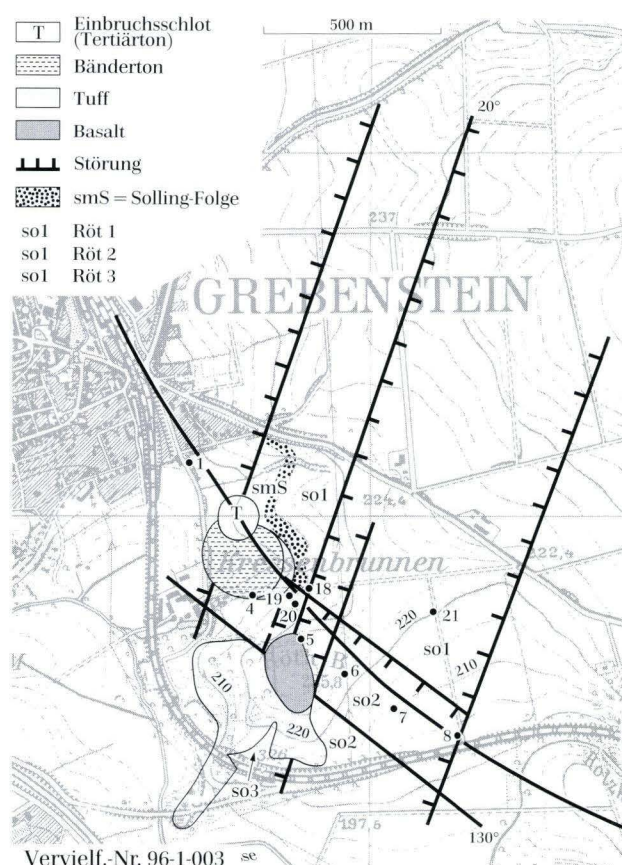


Abb. 3. Lageplan des Röhberges bei Grebenstein mit Bohrsatzpunkten und tektonischen Strukturen nach den Ergebnissen der Bohrungen.

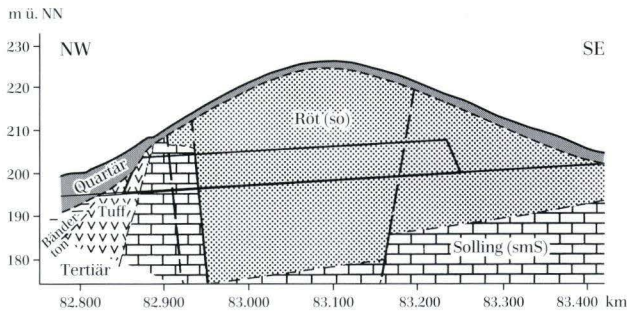


Abb. 4. Geotechnischer Schnitt durch den Röhthberg bei Grebenstein (5-fach überhöht).

### 3.3. Scheibenberg bei Hofgeismar-Hümme

Der Höhenrücken des Scheibenberges wird von Kalksteinen des Unteren Muschelkalkes aufgebaut, der untere Teil der Hänge von Tonsteinen der Röt-Folge. Die Grenze Röt/Muschelkalk liegt am Osthang bei etwa 180 m NN und fällt dann nach Westen hin auf 150 m NN ab. Abb. 5 zeigt den Lageplan des Scheibenberges.

In die rotbraunen und lagenweise grüngrauen Tonsteine mit dünnen Dolomitbänkchen des Röt 4 waren ursprünglich dünne Gipslagen und -bänkchen von wenigen Zentimetern bis maximal einem Dezimeter Dicke eingelagert. Nach dem jetzigen Kenntnisstand war diese Gipsführung fast auf die gesamte Abfolge des Röt 4 verteilt und hat etwa 10–15 % der Schichtenfolge ausgemacht. Die Gipslagen sind bis auf den tieferen Teil der Bohrungen unter dem Höhenrücken mehr oder weni-

ger vollständig ausgelaugt. Die Rötschichten sind oberflächennah in diese Auslaugungsräume großflächig nachgesackt und dabei in sich unterschiedlich stark zerbrochen, z.T. aber wieder recht gut kompaktiert worden. Bei größerer Überlagerung ist dieser Nachsackungsprozeß offensichtlich noch nicht (vollständig) erfolgt. In den Bohrungen unter der Hochfläche des Scheibenberges zeichnet sich deshalb eine unregelmäßige Wechselfolge von auslaugungsgeschädigten Horizonten mit Residualbildungen und zwischenliegenden festeren weniger gestörten Tonsteinschichten ab. Diese auslaugungsbedingte Gebirgsauflockerung kann im Bereich von Störungszonen von tektonischer Gebirgsauflockerung überlagert sein. Ein schematischer Längsschnitt ist in Abb. 6 dargestellt.

Darüber hinaus zeichnen sich in den Bohrungen für den Scheibenberg-Tunnel in den vorwiegend rotbraunen Tonsteinen des Röt 4 zwei bzw. drei grüngraue Tonsteinhorizonte ab, die regional verbreitet und einigermaßen horizontbeständig sind (BÜHMANN & RAMBOW 1979) und somit eine zumindest regionale Detailgliederung des Röt 4 ermöglichen.

Die meist kalkhaltigen Tonsteine des Röt 4 waren ursprünglich fest bis hart. Unter der Hochfläche des Scheibenberges sind in den tiefen Aufschlußbohrungen vereinzelte Bänke noch in ursprünglicher Festigkeit angetroffen worden.

Der überwiegende Teil der hier erbohrten Röttonsteine ist jedoch durch die Auslaugung der Gipslagen entfestigt. Eine Detailauswertung der Bohrkern ergibt für die einzelnen Schichtglieder kein einheitliches Bild. Teilweise ist jedoch eine Zunahme der Festigkeit bei größerer Muschelkalk-Überlagerung zu verzeichnen.

Tab. 1: Übersicht zur Detailgliederung des Röt 4 am Scheibenberg

Mächtigkeit	Bezeichnung	Charakteristische Merkmale
	Hangendes: Unterer Muschelkalk (mu)	
2–3 m	Gelbe Grenzkalke	gelbe, dolomitische Kalksteine
8–10 m	Graue Übergangsschichten	im oberen Bereich feste, dolomitische Ton- und Mergelsteine, darunter leicht kalkhaltige Tonsteine, teilweise stark entfestigt und nur an der Basis feste Kernabschnitte
13–15 m	Obere rotbraune Schichten	leicht entfestigte Tonsteine mit untergeordnet brüchigen Zonen (= 20 %), z.T. aber auch krümelig
	1. Grüngraue Zone	vorwiegend feste bis harte, meist stark zerbrochene Tonsteine, bisweilen auch sandflaserig
6–9 m	Rotbraune Zwischenschichten	im Erhaltungszustand variabel; z.T. dünnbankig bis plattig und fest bis mürbfest, z.T. fester, zerbrochener Tonstein; vorwiegend aber entfestigt und brüchig-mürb
	2. Grüngraue Zone	enthält feste und brüchig-mürbe Tonsteine in gleichen Anteilen
12–23 m i.M. 18 m	Untere rotbraune Schichten	in den ersten Metern fest bis hart, darunter aber mit zahlreichen, stark entfestigten Mürbzonen, jedoch auch mit zwei Quarzithorizonten, deren Mächtigkeit = 10 cm beträgt
	Grüngraue Basisschichten	
	Liegendes: Röt 3	

**Tab. 2:** Anteil von mürbfesten Gebirgsbereichen im Schachtaufschluß

Schicht	m u. G.	angetroffene Mächtigkeit	Dicke der entfestigten Gebirgsbereiche	Anteil an entfestigten Gebirgsbereiche	Bemerkung
		[m]	[m]	[I]	
Obere rotbraune Sch.	3,2–6,2	3,0	3,0	1,0	Anwitterungszone, Oberflächeneinfluß
1. Grüngraue Zone	6,2–8,3	2,1	1,6	0,75	oberflächennahe Aufflockung
Rotbraune Zwischenschichten	8,3–11,9	3,6	1,8	0,50	Wechselfolge dünner Residualschlufflagen mit festen Tonstein- und Kalzitbänkchen (2 cm)
2. Grüngraue Zone	11,9–14,7	2,8	0,75	0,27	entfestigte, vert. Ber. und Wechselfolge fest/mürib
Untere rotbraune Sch.	14,7–20,9	6,2	2,4	0,39	meist ausgeprägte Müribzonen
Σ	-	17,7/12,6	9,55/4,95	0,54/0,39	-/unterhalb der oberflächennahen Auflockerungszone

In der Schachtwandung des Versuchs- und Erkundungsschachtes Scheibenberg-Tunnel waren die Gesteine des oberen Teils des Röt 4 im bergfrischen Zustand großflächig aufgeschlossen. Gips war im Bereich des Schachtes nicht mehr vorhanden.

Im Versuchsschacht wurde das auf Abb. 7 dargestellte Profil aufgenommen. Es reicht von den Oberen rotbraunen Schichten bis zu den Unteren rotbraunen Schichten.

Tab. 2 faßt den Anteil an Müribzonen im Bereich des Schachtes zusammen.

### 3.4. Auslaugungs- bzw. Verkarstungserscheinungen

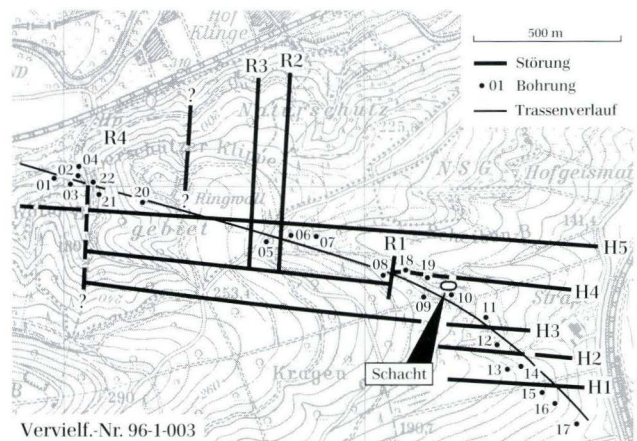
Die allgemeinen Prozesse der Gips- bzw. Salzauslaugung werden von WEBER (1958), PRINZ et al. (1973) und PRINZ (1991, cum Lit.) beschrieben.

Salz und Gips werden bei massiger Ausbildung bevorzugt von der Oberfläche her gelöst. Daneben setzen die Lösungsvorgänge häufig auch von wasserführenden Liegendgesteinen sowie von wasserführenden Kluft- und Störungssystemen ein. Bei schichtigen Einlagerungen schreiten die Lösungsvorgänge dann schichtparallel fort und führen zu einer flächigen Auslaugung von z.T. dünnen Einlagerungen. Bei den Bohrungen von unter dem Scheibenberg konnten, von der Hangendgrenze zur Muschelkalkgrenze ausgehend, zahlreiche solcher Lösungsstadien beobachtet werden.

Die Folgeerscheinungen der Gipsauslaugung können sich, je nach Ausbildung bzw. Mächtigkeiten, auf zweierlei Weise bemerkbar machen. Zum einen kann das überlagernde Gebirge in Abhängigkeit der Mächtigkeit des herausgelösten Materials flächig nachsacken (Scheibenberg) oder nachstürzen (Röthberg). Zum anderen kann sich bei größeren Überlagerungshöhen ein Lösungshohlraum bilden, der sich dann u.U. als Subrosionssenke oder Erdfall an der Erdoberfläche auswirkt.

Im tieferen Teil des Röt (Röt 1) bestand ursprünglich über die Hälfte der gesamten Abfolge aus Steinsalz oder aus Gips bzw. Anhydrit (HORN 1982). Die Auslaugungsprozesse sind entsprechend der großen Löslichkeit schnell abgelaufen und haben dabei größere Hohlräume erzeugt, in die das überlagernde Gebirge nachgestürzt und dabei stark zerbrochen („brekziiert“) ist. Heute sind am Röthberg keine Evaporite mehr erbohrt worden. Vereinzelt wurden Tonsteine mit Pseudomorphosen nach Steinsalz als Lesesteine gefunden. Auch Auslaugungshohlräume sind bei den Aufschlußarbeiten am Röthberg nicht beobachtet worden.

Die zentimeter- bis wenige Dezimeterdicken Gipslagen des Röt 4 haben dagegen keine versturztartigen Nachsackungsvorgänge hervorgerufen, sondern nur weitgehend brucharme flächige Nachsackungen, wie sie im Versuchs- und Erkundungsschacht Scheibenberg-Tunnel angetroffen worden sind. Die Auslaugungsrückstände liegen in Form von gelblichen Schlufflagen vor. Unter den Bergrücken ist der Gipsanteil im Röt 4 noch weitgehend erhalten.



**Abb. 5.** Topographische Übersichtskarte des Scheibenberges bei Hofgeismar-Hümme mit Lage der Bohransatzpunkte und tektonischen Strukturen nach den Ergebnissen der Bohrungen.

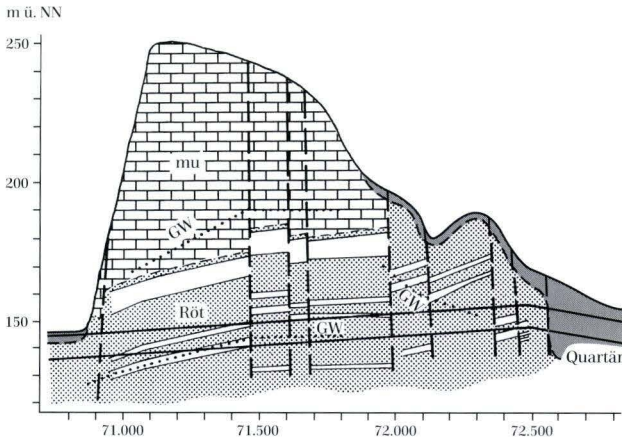


Abb. 6. Geotechnischer Längsschnitt durch den Scheibenberg (10-fach überhöht).

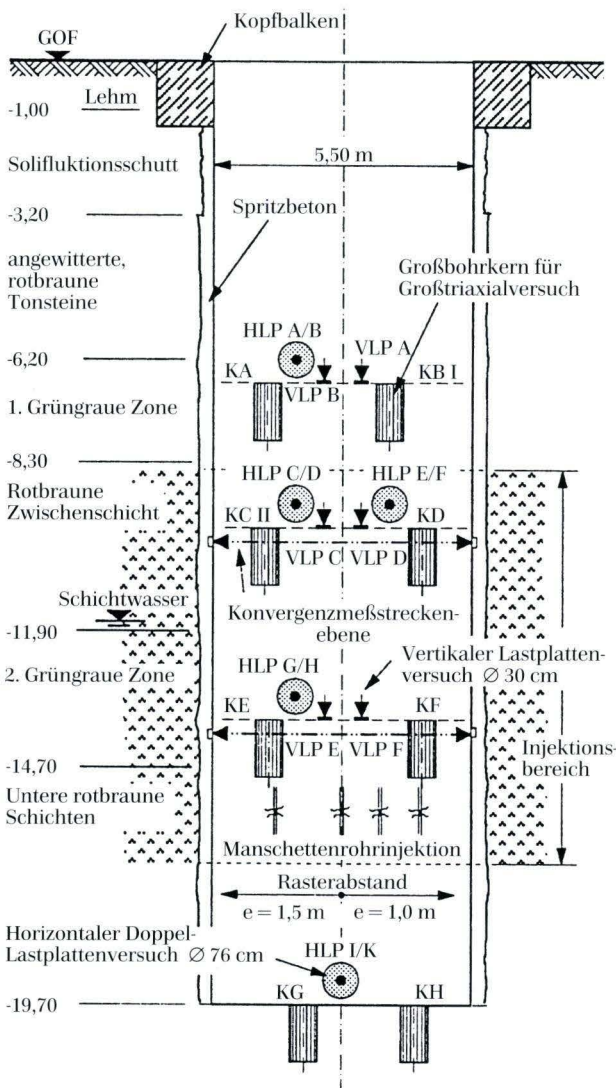


Abb. 7. Schnitt durch den Versuchs- und Erkundungsschacht (aus SEMPRICH & WESEMÜLLER 1993).

Nach den Erscheinungsformen der Gipslösung am Scheibenberg kann man davon ausgehen, daß die Lösungsvorgänge hier deutlich langsamer abgelaufen sind als im „Steinsalz-Röt“ am Röthberg, wo auch Mischungskorrosion mit einer Verstärkung der Löslichkeit aufgetreten sein kann. Die langsamere Auslaugung führte dann zu einem flächigen Nachsacken des Gebirgsverbandes. Die wesentlichen Gefügeelemente blieben dabei erhalten. Im tieferen Teil der Hänge kann es durch die randlich verstärkte Ablaugung zu Schichtverstellungen bis hin zu einer Umkehr des Einfallens kommen, wie es auch am Scheibenberg beobachtet wurde.

Das Beispiel des Scheibenbergs zeigt, daß die Lösungsvorgänge bis in die heutige Zeit andauern. Über die Senkungsrate liegen allerdings keine direkten Beobachtungen vor, da das Gebiet des Scheibenberges nicht bebaut ist und daher keine Nivellements bekannt sind. Allgemein muß mit einer Senkungsrate von bis zu einigen Zentimetern in 100 Jahren gerechnet werden (SCHEITELIG 1994).

## 4. Geotechnische Untersuchungen

### 4.1. Stand der Forschung

Die durch Salzauslaugung und/oder oberflächennahe Anwitterung beanspruchten Rötgesteine sind sog. Halbfestgesteine, deren geomechanische Eigenschaften weder mit bodenmechanischen Laborversuchen (vgl. Kap. 4.2), noch mit felsmechanischen Versuchstechniken ohne weiteres zu erfassen sind. Die Bezeichnung dieser Gesteine ist lange Zeit kontrovers diskutiert worden. MARGAR (1967) bezeichnete sie als Halbfestgesteine, SPAUN (1973) als Weichgesteine. In der neueren Literatur hat sich der schon in den 50er Jahren vorgeschlagene Begriff veränderlich-feste Gesteine durchgesetzt (KEIL 1954, LEMPP 1979, HEITFELD 1985, MORGENSTERN 1990).

Bei diesen veränderlich-festen Gesteinen, die in Mitteleuropa weit verbreitet sind, handelt es sich nach HEITFELD (1985) vor allem um

- Wechselfolgen von Fest- und Lockergesteinen,
- wechselnd feste Gesteine (d.h. Gesteine, die ihre Festigkeitseigenschaften vor allem in Abhängigkeit vom Wassergehalt ändern) und
- verwitterungsbedingte Übergangsgesteine (vom Fels zum Boden).

Während diese Gesteinstypen in der Regel durch eine mit der Tiefe abnehmende Entfestigung charakterisiert sind, trifft dies im vorliegenden Fall nicht zu. Die Gebirgsentfestigung durch Auslaugung ist primär abhängig von der ehemaligen Gipsführung und den Versturz- bzw. Nachsackungsvorgängen, und damit tiefenunabhängig.

Die Veränderungen der bodenmechanischen Eigenschaften mit fortschreitender Verwitterung sind von verschiedenen Autoren an unterschiedlichen geologischen Formationen untersucht worden (EINSELE & WALLRAUCH 1964, SMOLTZYK 1972, KOMMODROMOS 1974, KECK 1976, RAZIZADEH 1980, SCHENK 1983, HENKE & HILLER 1985 und HEITFELD 1985).

Auf die Gesteine des unteren Röts im Bereich des Röthberges bei Grebenstein konnte ISRAEL (1994) die Klassifikation der Verwitterungsstufen im Sinne von EINSELE & WALLRAUCH (1964) mit Erfolg anwenden, allerdings unabhängig von den o.g. Tiefenstufen in Anpassung an den Entfestigungsgrad durch die Verstürzungen.

## 4.2. Versuchsprogramm

Im Verlauf der Erkundungsarbeiten wurden folgende Labor- und Feldversuche durchgeführt:

Laborversuche:

- Einaxialversuche (nach DIN 18.136),
- Triaxiale Scherversuche (nach DIN 18.137 T2),
- Bestimmung der Kornverteilung (nach DIN 18.123),
- Bestimmung der Zustandsgrenzen (nach DIN 18.122 T1),
- KD-Versuch,
- Proctorversuch (nach DIN 18.127),
- Bestimmung des Raumgewichtes (nach DIN 18.125 T1),
- Bestimmung der direkten Gesteinsdruckfestigkeit  $\sigma_D$ ,
- röntgendiffraktometrische Ermittlung des Mineralbestandes.

Feldversuche:

- Punktlastversuche zur Bestimmung der indirekten Gesteinsdruckfestigkeit  $\sigma_c$ ,
- Prallhammertests,
- Seitendrucksondierungen mit der Stuttgarter Seitendrucksonde,
- Rammsondierungen mit der Schweren Rammsonde (DPH 15).

Zusätzlich wurden im Erkundungs- und Versuchsschacht am Scheibenberg folgende Versuche durchgeführt:

- horizontale Doppellastplattendruckversuche,
- vertikale Lastplattendruckversuche (nach DIN 18.134),
- triaxiale Scherversuche an Großbohrkernen,
- Konvergenzmessungen.

Die Schwierigkeit bei allen Laborversuchen mit Halbfestgesteinen anhand von Bohrproben ist, daß sich die zerbrochenen, mürben bis entfestigten Ton(stein)proben mit Tonsteinbrocken und -bröckchen vielfach nicht in die Laborgeräte einbauen lassen. Ein Einbau ist nur

bei stark schluffig-tonigem Material mit wenig Tonsteinbröckchen möglich. Diese Proben ergeben aber immer nur untere Werte. Diese Negativaussage der Laborversuchswerte war der Grund, warum man sich für den Bau des aufwendigen Versuchsschachtes mit Probeinjektionen und der Durchführung der In-situ-Großversuche entschieden hat. Über das Ergebnis der Probeinjektionen berichten SEMPRICH & WESEMÜLLER (1993). Die Versuchstechnik der horizontalen Doppellastplattenversuche ist in der Empfehlung Nr. 6: „Doppel-Lastplattenversuch“ des Arbeitskreises 19 „Versuchstechnik im Fels“ der deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (DGEG) eingehend beschrieben.

Bei den insgesamt acht triaxialen Scherversuchen in der Hochdruckzelle des Instituts für Boden- und Felsmechanik der Universität Karlsruhe wurde die sog. Mehrstufentechnik angewandt. Die genaue Versuchsdurchführung und -auswertung wird von NATAU et al. (1983), NATAU & MUTSCHLER (1989), NATAU (1990) und MUTSCHLER & NATAU (1991) beschrieben.

## 4.3. Laborversuchsergebnisse des Röt 1 und Röt 2 (Röthberg)

Bei der Auswertung der durchgeführten bodenphysikalischen Laborversuche zeichnen sich zunächst nach den Körnungslinien zwei unterschiedliche Bereiche ab, nämlich ein mit einem Ton- und Schluffanteil von 65–90 % stärker schluffig-toniges Material und einem nur geringen Anteil an Tonsteinbröckchen im Sand- und Kiesbereich und ein mit nur 25–50 % Ton- und Schluffanteil deutlich stückigeres Material mit einem Kieskornanteil (Tonsteinbröckchen) von 25–55 %.

Von den insgesamt 18 Körnungslinien zeigen 12 den hohen Schluff- und Tonanteil und 6 den hohen Anteil an Tonsteinbröckchen. Eine Differenzierung nach der Tiefe, d.h. ein Oberflächenverwitterungseinfluß, zeichnet sich nicht ab, wohl aber eine deutlich stärkere Vertonung im Bereich von tektonischen Störungszonen.

Der auf Störungszonen stärker vertonte Tonstein weist ebenfalls einen Tonanteil von 5 %, einen Schluffanteil von 60–70 % und einen Sand- und Kiesanteil (Tonsteinbröckchen) von 25–35 % auf und entspricht damit der schluffig-tonigen Ausbildung (s.o.). Nach dem Plastizitätsdiagramm der DIN 18196 handelt es sich dabei um einen mittelplastischen Ton (TM) mit einer Fließgrenze von  $w_L = 0,36-0,41$ , einer Ausrollgrenze von  $w_p = 0,17-0,22$  und einer Plastizitätszahl von  $I_p = 0,19$  bzw. 0,18.

Tonmineralogische Untersuchungen des Gesamtgesteins wurden durch Prof. Dr. W. VORTISCH, Montanuniversität Leoben, durchgeführt. Von allen Proben wurden Texturpräparate guter Reproduzierbarkeit durch

Aufstreichen („smear on glass“) sowie texturarme Präparate durch seitliche Füllung hergestellt (zur genaueren Beschreibung der Probenpräparation und weiteren Behandlung siehe VORTISCH 1982).

Der Gehalt an Karbonatmineralen, im wesentlichen Calcit und Dolomit, wurde röntgendiffraktometrisch und  $\text{CO}_2$ -volumetrisch bestimmt. Die Gehalte der weiteren Minerale wurden röntgendiffraktometrisch mit entsprechend angepaßten Standards bestimmt. Die nähere Charakterisierung der mixed-layer-Tonminerale (Illit-Smektite) erfolgte mit Hilfe der Daten von REYNOLDS (1980).

Die Analysen ergaben einen Anteil an vollquellfähigem Smektit von 11 % bzw. 13 %. Im Feinkornanteil beträgt der Smektitgehalt noch 11 % bzw. 10 %.

Die an Kleinproben ermittelten natürlichen Wassergehalte ( $w$ ) liegen zwischen 0,093 und 0,231, i.M. bei 0,175. Sie lassen nicht die übliche Abhängigkeit mit höheren Wassergehalten in der oberflächennahen Anwitterungszone und eine Abnahme nach der Tiefe erkennen. Gerade in den oberen 15 m streuen die Wassergehalte am stärksten. In den tieferen Bereichen liegen die Wassergehalte zwischen 0,154 und 0,190, i.M. 0,170. Die bei Verwitterungsprofilen übliche Differenzierung anhand der Wassergehalte ist nicht möglich.

Die an den Gesamtproben ermittelten Trockendichten ( $\rho_d$ ) liegen zwischen 1,69 und 2,14  $\text{t/m}^3$ . Sie streuen ebenfalls am stärksten in der oberflächennahen Anwitterungszone bis etwa 15 m Tiefe. Darunter liegen die Werte zwischen 1,69 und 1,91  $\text{t/m}^3$ , wobei keine eindeutige Tendenz erkennbar ist. Diese Dichtewerte entsprechen insgesamt einem stärker angewitterten und oberflächennah aufgelockerten, wenig kohäsiven, bröckeligen, in Kleinkluftkörper zerlegten und teilweise plastifizierten Tonstein. Eine weitere Differenzierung ist nicht möglich.

Die Werte für die Dichte des erdfeuchten Bodens ( $\rho$ ) liegen zwischen 2,01 und 2,34  $\text{t/m}^3$ , i.M. bei 2,16  $\text{t/m}^3$ .

Die ermittelten einaxialen Druckfestigkeiten ( $\sigma_D$ ) liegen bei 100–259  $\text{kN/m}^2$ . Als Vergleich können hier die Werte von Tonen des südhessischen Tertiärs herangezogen werden, die zwischen 27 und 798  $\text{kN/m}^2$ , i.M. 275  $\text{kN/m}^2$  betragen (AMANN et al. 1976, MÜLLER 1993).

Der Steifemodul ( $E_s$ ) für den Lastbereich 260–520  $\text{kN/m}^2$  liegt zwischen 8,8 und 15,7  $\text{MN/m}^2$ , i.M. bei 12,2  $\text{MN/m}^2$ . Eine detaillierte Auswertung zeigt nur eine geringe Zunahme mit größer werdender Tiefe. Bis 10 m Tiefe liegen die Mittelwerte um 10  $\text{MN/m}^2$ , darunter zwischen 11 und 16  $\text{MN/m}^2$ .

MÜLLER (1993) gibt für die tertiären Tone von Frankfurt für den Lastbereich 260–520  $\text{kN/m}^2$  Werte zwischen 5,1 und 47,3  $\text{MN/m}^2$  (i.M. 13,3  $\text{MN/m}^2$ , Versuchsanzahl 127) an.

Triaxiale Druckversuche zur Ermittlung der Scherfe-

stigkeit konnten nur an zwei Sonderproben gefahren werden. Die Werte liegen bei

$$\varphi = 16^\circ \text{ bzw. } 19^\circ,$$

$$c = 25 \text{ bzw. } 50 \text{ kN/m}^2.$$

Als Vergleichswerte in bezug auf tonige Lockergesteine können Versuchsergebnisse von tertiären Tongesteinen herangezogen werden

Die Werte für den „Frankfurter Ton“ (AMANN et al. 1976, MÜLLER 1993) liegen für den Reibungswinkel zwischen 8 und 32,4° (i.M. 20°) und für die Kohäsion zwischen 0 und 143  $\text{kN/m}^2$  (i.M. 32  $\text{kN/m}^2$ ). Die Anzahl der ausgewerteten Versuche beträgt 85. Die Werte für die einaxiale Druckfestigkeit ausgedrückt als Anfangsfestigkeit  $c_u$  liegen zwischen 45 und 520  $\text{kN/m}^2$  und zeigen i.a. eine deutliche Zunahme mit der Tiefe.

Diese Tiefenabhängigkeit ist aus den in Abschnitt 5 angeführten Gründen bei den hier bearbeiteten Versuchsergebnissen nicht erkennbar. Die Darstellung zeigt, daß für das Erkennen solcher Abhängigkeiten Profillängen von mehreren 10er Metern erforderlich sind. Eine Auswertung der oberen 25 m allein läßt diese Abhängigkeit nicht erkennen.

Damit sind die stark vertonten Tonsteine der Röt-Folge in ihrer Größenordnung erfaßt. Anhand der hier dargestellten Werte zeigt sich eine Vergleichbarkeit des „Frankfurter Tons“ mit den in dieser Arbeit untersuchten entfestigten und vertonten Röttonsteinen.

Die Kennwerte vom Röthberg lassen sich in die Verwitterungszonen von Ton- und Mergelsteinen von EINSELE & WALLRAUCH (1964) einordnen und die Ergebnisse korrelieren. ISRAEL (1994) kann anhand von REM-gestützten Mikrogefügeuntersuchungen die durch Verwitterungsvorgänge entfestigten Tonsteine diesen Verwitterungszonen zuordnen, eine Methode, die sich bei künftigen gleichartigen Problemstellungen von vornherein empfiehlt.

Zusammenfassend kann für die Versuchsergebnisse vom Röthberg bei Grebenstein festgestellt werden:

Die Kennwerte zeigen insgesamt einen sehr großen Streubereich, der aus den eingangs erwähnten Gründen nur die unteren Erfahrungsbereiche abdeckt, wobei die Kennwerte mit Tertiärtonen des Raums Wiesbaden-Frankfurt vergleichbar sind. Ein solcher Vergleich mit einem typischen Lockergestein zeigt aber deutlich den hohen Entfestigungs- bzw. Vertonungsgrad der hier betroffenen salzauslaugungsgeschädigten „Röttonsteine“. Da Laborversuche immer nur untere Grenzwerte ergeben, sind vertretbare Rechenwerte nur über Korrelationen mit Erfahrungswerten aus vergleichbaren Gesteinsarten oder durch Großversuche zu erhalten (s. Abschn. 4.4.2).

## 4.4. Versuchsergebnisse des Röt 4 (Scheibenberg)

Die bodenphysikalischen Kennwerte für den Röt 4 wurden in zwei voneinander unabhängigen Untersuchungskampagnen ermittelt. Zuerst wurden die Laborversuche an den Bohrungen für den Scheibenberg-Tunnel (Variante 1) durchgeführt. In einem weiteren Untersuchungsschritt wurde der Versuchs- und Erkundungsschacht Scheibenberg-Tunnel abgeteuft und das unter 4.2. genannte Versuchsprogramm durchgeführt.

### 4.4.1. Versuchsergebnisse der Aufschlußbohrungen Scheibenberg-Tunnel (Variante 1)

Bei den hier vorliegenden Röttonsteinen handelt es sich ebenfalls nicht nur um oberflächlich angewitterte, sondern vor allen Dingen um durch Gipsauslaugung geschädigte und nachgesackte, in sich unterschiedlich stark zerbrochene oder entfestigte Tonsteine.

Laborversuche an entfestigten, vertonten Tonsteinproben:

Bei der Auswertung der Laborversuche der unterschiedlich stark entfestigten Tonsteine zeichnen sich nach den Körnungslinien ebenfalls zwei unterschiedliche Bereiche ab, nämlich mit einem Ton- und Schluffanteil von 25 bis 30 % und nur einem geringen Anteil an Tonsteinbröckchen im Sand- und Kiesbereich ein stärker schluffig-toniges Material und mit nur 5-20 % Ton- und Schluffanteil sowie 50-80 % Kieskornanteil (Tonsteinbröckchen) ein deutlich stückigeres Material.

Von den insgesamt 10 Körnungslinien aus den Trockenbohrungen in der oberflächennahen Anwitterungszone bis 15 m Teufe am Osthang des Scheibenberges zeigen fünf den hohen Schluff- und Tonanteil und fünf den hohen Anteil an Tonsteinbröckchen. Eine Differenzierung nach der Tiefe, d.h. ein Oberflächeneinfluß, zeichnet sich nicht ab.

Zum Vergleich sind Körnungslinien von Mürbzonen aus 75-90 m Tiefe ermittelt worden (Bohrungen BK 07 und BK 08). Sie zeigen durchweg ein stärker stückiges Material mit 6-20 % (i.M. 10 %) Ton- und Schluffanteil und 50-80 % Anteil an Tonsteinbröckchen in Kieskorngröße. Bemerkenswerterweise treten die höheren Ton- und Schluffanteile in BK 07 in 75 bis 80 m Tiefe auf.

Die an Sonderproben aus den Bohrungen am Osthang des Scheibenberges in der oberflächennahen Anwitterungszone bis etwa 15 m Tiefe ermittelten Wassergehalte ( $w$ ) liegen zwischen 0,06 und 0,13, i.M. bei 0,08. Die Werte liegen damit in einem engen Streubereich, etwas unter den sonst üblichen Werten, die bei Tonsteinen in diesen Tiefen um 0,10 und darüber liegen. Eine

Abnahme der Werte mit zunehmender Tiefe zeichnet sich nicht ab. Die im Winterhalbjahr 1991/92 gewonnenen, insgesamt etwas zu niedrigen Wassergehalte sprechen, auch wenn man das Niederschlagsdefizit 1991 berücksichtigt, für eine geringe Vertonung (Plastifizierung) sowie für recht gute Drainbedingungen (zumindest schichtweise relativ hohe Durchlässigkeiten) der tiefgründig angewitterten und aufgelockerten, aber kaum durch Verwitterung plastifizierten Röttonsteine.

Die an Sonderproben ermittelten Trockendichten  $\rho_d$  (in  $t/m^3$ ) liegen mit einer Ausnahme ( $\rho_d = 1,59$ ) zwischen 1,81 und 2,13, i.M. bei 1,96. Diese Dichtewerte entsprechen insgesamt einem stärker angewitterten und entfestigten, oberflächennah aufgelockerten, wenig kohäsiven, bröckeligen Ton(stein).

Wertet man die Trockendichten für die beiden Kornverteilungstypen getrennt aus, so ergeben die stärker angewitterten Proben mit den höheren Ton- und Schluffgehalten mit  $\rho_d = 2,02$  höhere Werte als die stückigeren Tonsteinproben mit höherem Kieskornanteil, die auf  $\rho_d = 1,94$  kommen. Dieses Ergebnis bestätigt indirekt den Auflockerungseffekt.

Die Werte für die Dichte des erdfeuchten Bodens ( $\rho$ ) liegen für die oberflächennahe Anwitterungszone bis 15 m Tiefe zwischen 1,72-2,27  $t/m^3$ , i.M. bei 2,14  $t/m^3$ .

Einaxiale Druckfestigkeiten der Tonsteine konnten nur an drei Proben ermittelt werden. Die Einzelwerte liegen bei 215 bzw. 779 und 785  $kN/m^2$ . Allerdings läßt die geringe Versuchsanzahl keine statistische Auswertung zu.

Der Steifemodul  $E_s$  konnte an zwei Proben aus der oberflächennahen Anwitterungszone (5-10 m Tiefe) ermittelt werden. Die Werte liegen für den Lastbereich 520-1040  $kN/m^2$  (entspricht 25 m Überlagerungshöhe) bei 17,7 bzw. 18,2  $MN/m^2$ .

Triaxiale Druckversuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit konnten nur an einer Probe gefahren werden. Der Wert liegt bei  $\varphi = 32^\circ$ ,  
 $c = 29,5 \text{ kN/m}^2$ .

Um festzustellen, ob in den unterschiedlich entfestigten Tonsteinen vom Scheibenberg noch Spuren von Anhydrit enthalten sind und welche Restgipsmengen und Tonminerale auftreten, sind an vier Proben der Bohrung BK 05 von 96,8 m bis 109,45 m die Gehalte an Anhydrit, Gips und quellfähigen Tonmineralen ermittelt worden. Die Untersuchungen wurden von Prof. Dr. W. VORTISCH durchgeführt. Anhydrit wurde in keiner Probe gefunden, so daß Volumenvergrößerungen durch Umwandlung in Gips nicht zu erwarten sind. Zwei der vier Proben ergaben Restgipsgehalte von 4 bis 14 Gewichtsprozenten des Probenmaterials. Alle Proben weisen teilquellfähige Tonminerale (corrensit-ähnliche mixed-layer-Tonminerale) von 4-8 % bzw. 7-13 % auf.

An fünf weichplastischen Residualtonproben der BK 05 von 105,4–109,2 m Tiefe wurde ebenfalls kein Anhydrit gefunden. Die Restgipsgehalte der Residualtone liegen zwischen 16 und 37 %. Die Gehalte an teilquellfähigen Tonmineralen (mixed-layer-Tonminerale) liegen zwischen 2–3 % und max. 8–9 %, so daß von diesen Residualtonen keine nennenswerte Quellgefahr ausgeht.

Bei den plastifizierten Tonsteinlagen handelt es sich insgesamt um leicht- bis (gerade) mittelplastische Tone mit

- 20–33 % Ton-,
- 30–50 % Schluff-,
- 30–45 % gemischtkörnigem Sandgehalt  
(Tonsteinbröckchen).

Die Fließgrenzen betragen  $w_L = 0,27$ – $0,36$ , die Plastizitätszahl  $I_p = 0,16$ – $0,19$ .

Die Scherfestigkeit der Residualtonlagen wurde im Rahmenscherversuch ermittelt. Sie beträgt:

$$\begin{aligned}\varphi' &= 18,3\text{--}19,8^\circ, \\ c' &= 6 \text{ kN/m}^2.\end{aligned}$$

Laborversuche an festen Tonsteinproben:

Laborversuche an festen Tonsteinproben, die noch in ursprünglicher, unausgelaugter Form vorliegen, weisen im Vergleich zu den entfestigten und vertonten Tonsteinen insgesamt recht hohe Festigkeitswerte auf.

Am Institut für Geotechnik, Freiberg/S., sind Gesteinsdruckfestigkeiten  $\sigma_D$  an zylindrischen Kernstücken mit einem Schlankheitsgrad von 1:2 gemessen worden. Die  $\sigma_D$ -Werte der Horizontalbohrung BK 04 liegen zwischen 6,3 und 25,5 MN/m<sup>2</sup>, i.M. bei 16,9 MN/m<sup>2</sup>. Diese zunächst noch recht niedrigen Werte sind möglicherweise auf eine Anisotropie der Druckfestigkeiten zurückzuführen, die bei einem Belastungswinkel von 8° zur Schichtung bereits deutlich abfallen.

Zur Kontrolle sind daher an festen Kernstücken der Vertikalbohrungen BK 05, BK 06, BK 07, BK 20 und BK 22 noch einmal 24 Druckfestigkeiten ermittelt worden.

Diese Werte normal zur Schichtung liegen zwischen 9,9 und 47,3 MN/m<sup>2</sup>, mit einem Maximalwert von 150,5 MN/m<sup>2</sup>. Der Mittelwert beträgt ohne diesen Maximalwert 31,1 MN/m<sup>2</sup>. Allerdings waren die Kernstücke der erstgenannten Bohrungen durch die in Abschnitt 3.1 beschriebenen Nachsackungsvorgänge vielfach schon etwas geschwächt, während im tieferen Teil der Bohrung BK 20 das Gebirge noch weitgehend intakt ist. Die Werte liegen hier im einzelnen zwischen 24,8 und 47,3 MN/m<sup>2</sup>, i.M. bei 39,2 MN/m<sup>2</sup> (ohne den o.g. Maximalwert). Insgesamt muß bei den festen bis mäßig harten Tonsteinbänken im Bereich der Eberschützer Klippe (Westabhang des Scheibenberges) mit für Tonsteine recht hohen Druckfestigkeiten von 10–50 MN/m<sup>2</sup> (und z.T. mehr) ge-

rechnet werden. Der Mittelwert aller untersuchten Proben liegt bei 20,6 MN/m<sup>2</sup>.

Vergleichsweise wurden an 21 Proben aus der Horizontalbohrung BK 04 (etwa 4° Neigung aus der Horizontalen) und an 16 Proben aus den Bohrungen BK 20 und BK 22 Punktlastversuche zur Bestimmung der sog. indirekten Gesteinsdruckfestigkeit  $\sigma_C$  durchgeführt. Die Versuchstechnik wird von GARTUNG (1982) und TURK & DEARMAN (1985) eingehend beschrieben.

Der Punktlastindex  $I_s(50)$  wird entweder direkt als Vergleichswert für die Gesteinsfestigkeit verwendet oder bei festen bis harten, spröden Gesteinen (SCHULTZ & TAHHAN 1989, cum Lit.) daraus nach folgender empirischen Beziehung

$$\sigma_C = 24 \cdot I_s(50)$$

die Größenordnung der einaxialen Druckfestigkeit  $\sigma_D$  ermittelt, die zur Kennzeichnung auch als indirekte Gesteinsdruckfestigkeit  $\sigma_C(50)$  bezeichnet wird (GREMMINGER 1988, TIEDEMANN 1989).

Die nach der Auswertemethode mit einem Korrekturfaktor 24 indirekten Druckfestigkeiten liegen mit Werten von 20–100 MN/m<sup>2</sup>, in einem Ausnahmefall 200 MN/m<sup>2</sup>, für Tonstein sehr hoch. Der Mittelwert liegt bei 49,9 MN/m<sup>2</sup>.

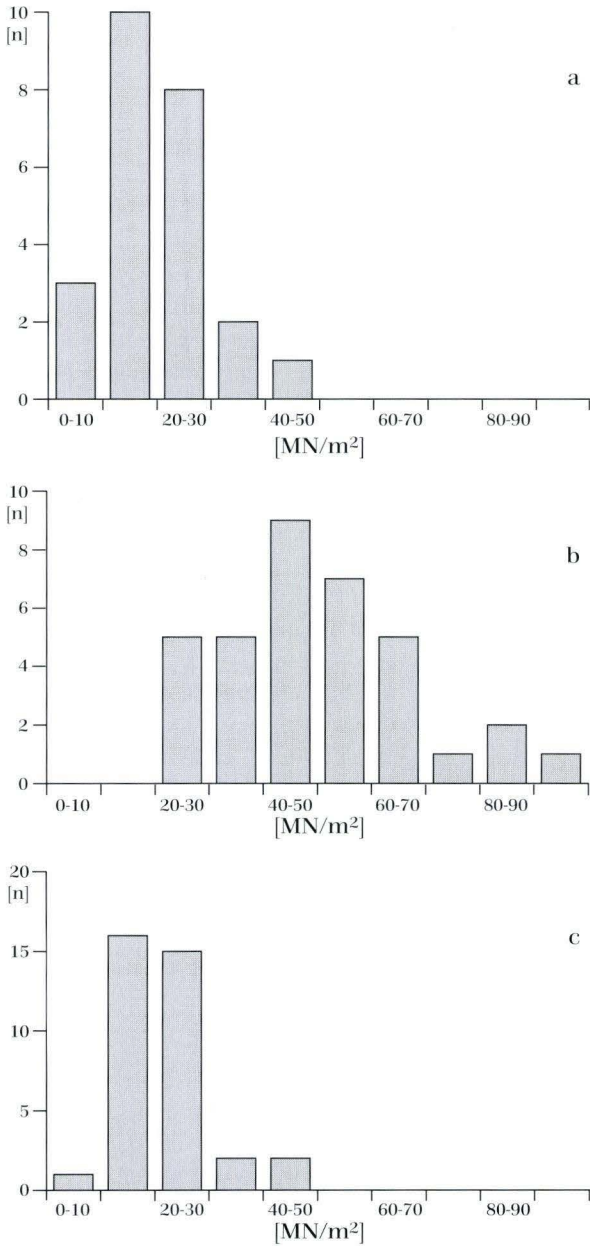
Nach neueren Erkenntnissen (PIETSCH 1990, BECKER 1993) ist der Faktor zur Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit aus dem Punktlastindex gesteinspezifisch und um so niedriger, je geringer die Gesteinsdruckfestigkeiten sind. Die bei der vorliegenden Untersuchung gemachten Beobachtungen bestätigen dies.

Vergleicht man die Häufigkeitsverteilungen der Druckfestigkeiten  $\sigma_D$  und der indirekten Gesteinsdruckfestigkeiten  $\sigma_C$ , so fällt auf, daß das Maximum der  $\sigma_C$ -Werte deutlich höhere Werte ergibt als das Maximum der  $\sigma_D$ -Werte. In den Abb. 8a und 8b sind die Häufigkeitsverteilungen der beiden Versuchsreihen zusammengestellt. Da die Punktlastversuche an den festen Restproben der Druckfestigkeitsuntersuchungen durchgeführt wurden, muß der Mittelwert beider Versuchsreihen identisch sein. Daher muß der Korrekturfaktor modifiziert werden. Die Häufigkeitsverteilung der modifizierten indirekten Gesteinsdruckfestigkeit  $\sigma_C'$  ist in Abb. 8c dargestellt. Die Umrechnung ergibt einen modifizierten Korrekturfaktor von 10, der damit deutlich unter dem bisher verwendeten Einheitsfaktor von 24 liegt.

#### Bohrlochversuche:

In den Bohrungen sind in Tiefen von 75–100 m jeweils zwei oder drei Seitendrucksondierungen mit der Stuttgarter Seitendrucksonde II ( $\varnothing$  146 mm) ausgeführt worden. Nachstehend werden die in Berichtsform vorliegenden Einzelwerte mit der jeweiligen Gebirgsausbildung der Bohrkerne verglichen und diskutiert.





**Abb. 8a.** Gesteinsdruckfestigkeiten  $\sigma_d$  (einaxiale Druckversuche).  
**Abb. 8b.** indirekte Gesteinsdruckfestigkeiten  $\sigma_c = I_s(50) \cdot 24$  (Punktlastversuche).  
**Abb. 8c.** modifizierte indirekte Gesteinsdruckfestigkeiten  $\sigma_c' = I_s(50) \cdot 10$  (Punktlastversuche).

**Tab. 3.** Ergebnisse der Seitendrucksondierungen am Scheibenberg

Bohrung	Teufe [m]	m unter Grenze mu/so	Steifemodul [MN/m <sup>2</sup> ]	Gebirgstyp
BK 07	75	38,5	511	II
BK 07	85	48,5	247	II
BK 06	80	38,3	162	II
BK 05	85	27,7	656	III
BK 05	100	42,2	207	III

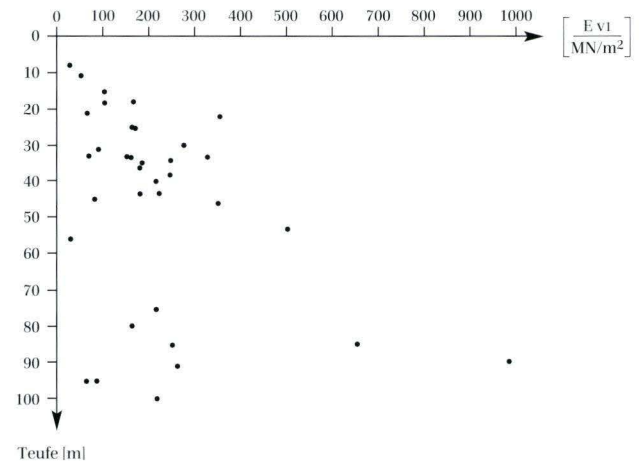
Der Verformungsmodul  $E_v$  wurde für nachstehende Betrachtung als Sekantenmodul des Belastungsastes vom 2. zum 3. Lastzyklus definiert.

Stückig zerbrochene Kernabschnitte (Kernstücke 5–10 cm Länge) des Gebirgstyps II haben Werte zwischen 160 und 520 MN/m<sup>2</sup> ergeben. Zwei Versuche liegen in den in Abschnitt 4.2 beschriebenen Mürbzonen des Gebirgstyps III mit völlig entfestigtem Tonstein. Ihre Steifemoduln liegen zwischen 200 und 670 MN/m<sup>2</sup>.

Die Verformungsmoduln aus den Seitendrucksondierungen liegen insgesamt höher als die Ergebnisse von vergleichbaren Laborversuchen, was, abgesehen von der Größe der Versuchskörper, in der Hauptsache darauf zurückgeführt wird, daß bei den hier vorliegenden Untergrundverhältnissen keine isotropen Verhältnisse vorliegen, sondern durch zwischenliegende, festere Bänken insgesamt eine bessere seitliche Verspannung gegeben ist, als dem Konsolidierungszustand infolge des Vertikaldruckes entspricht. Eine Korrelation ist weder mit der Kernqualität noch mit der Bohrtiefe möglich (Abb. 9).

Die hier ermittelten Verformungsmoduln  $E_{ss}$  aus den Seitendrucksondierungen liegen außerdem weit über den Erfahrungswerten aus dem Gipskeuper Baden-Württembergs und auch weit über den Erfahrungs- bzw. Rechenwerten von anderen Tonsteinen des Buntsandsteins an der Neubaustrecke Hannover-Würzburg (NAUMANN & PRINZ 1988, cum Lit. und SCHETELIG & SEMPRICH 1988). Die Ergebnisse aus den Seitendrucksondierungen zeigen jedoch, wie in Abschnitt 3.4.2 ausgeführt wird, eine brauchbare Übereinstimmung mit den Ergebnissen der horizontalen Plattendruckversuche, was die obengenannte Abhängigkeit von der Gesteinsanisotropie bestätigt.

Nach Literaturangaben (SMOLTCZYK & SEEGER 1980, SEEGER 1980) konnte man bisher davon ausgehen, daß



**Abb. 9.** Tiefenabhängigkeit der  $E_v$ -Moduln aus den Seitendrucksondierungen.

in einigermaßen homogenen Tonsteinabfolgen wozu, ausgehend von den bisher untersuchten Tonsteinen des süddeutschen Keupers, auch die Röttonsteine gezählt werden, eine ausreichende Isotropie des Verformungsverhaltens gegeben ist. Die ausgeführten Versuche haben dies zumindest für die dünnbankig ausgebildeten Röttonsteine widerlegt, was einerseits die Anwendbarkeit der Versuchsergebnisse einschränkt, andererseits aber eine Möglichkeit bietet, die Gebirgsanisotropie versuchstechnisch zu erfassen.

#### 4.4.2. In-situ- und Großversuche im Versuchs- und Erkundungsschacht

Die im Schacht und an Großproben aus dem Schacht gewonnenen Versuchsergebnisse sind in den Berichten der FMPA Stuttgart vom 09.06.1993 und dem IBF der Universität Karlsruhe vom Juni 1993 im einzelnen beschrieben. Nachstehend soll eine Bewertung der Versuchsergebnisse in Anpassung an die jeweiligen Gebirgsverhältnisse erfolgen.

In den vier Versuchsebenen wurden folgende Schichten versuchstechnisch erfaßt:

1. Grüngraue Zone  
Rotbraune Zwischenschichten
2. Grüngraue Zone  
Untere rotbraune Schichten

Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

- vertikale Lastplattenversuche,
- horizontale Doppellastplattenversuche,
- rixiale Scherversuche an Großbohrkernen.

Die 1. Grüngraue Zone befindet sich über dem Injektionsniveau, während die Rotbraunen Zwischenschichten und die 2. Grüngraue Zone im injizierten Bereich liegen. Die Versuchsebene 4 in den Unteren Rotbraunen Schichten liegt unterhalb des Injektionsbereichs. Über die Ergebnisse der Injektionsversuche berichten SEMP- RICH & WESEMÜLLER (1993).

Im folgenden werden die Ergebnisse der Versuche in Bezug zur Gebirgsausbildung in den einzelnen Versuchsebenen bzw. dem Erscheinungsbild des Versuchskörpers beim Ausbau aus der Versuchseinrichtung (Bruchflächenausbildung) diskutiert. Insgesamt wurde im Versuchsschacht ein zwar flächig nachgesacktes, aber in sich überraschend wenig gestörtes und wenig entfestigtes Gebirge angetroffen, in dem nur einzelne Auslaugungs- bzw. Residualgebirgshorizonte stärkere Entfestigung zeigten.

Versuchsebene bei -6,70 m (1. Grüngraue Zone)

In der ersten Versuchsebene wurde im Bereich des 6. Ausbruchsrings ein horizontaler Doppellastplatten- druckversuch durchgeführt. Die Lastplatten wurden direkt unterhalb der Grenze Obere rotbraune Schichten / 1. Grüngraue Zone angesetzt.

Die Tonsteine in diesem Bereich sind deutlich sandiger und halbfest-fest und dünnbankig bis plattig ausgebildet. Sie zerbrechen entlang der z.T. sehr engständigen Klüftflächen recht kleinstückig. Injektionsgut wurde in diesem Bereich nicht gefunden.

Die Klüftung ist deutlich ausgebildet. In der Versuchsposition „B“ (Nordseite) liegt eine steilstehende Mittelklüft in Nord-Süd-Richtung vor.

In der Teufe -6,70 m wurden zwei vertikale Lastplattenversuche gefahren. Das Gebirge ist ähnlich wie im oberen Bereich. In den Versuchsflächen wurde eine engständige Klüftung (Abstand etwa 10 cm) beobachtet.

Im Niveau des 7. und der oberen Hälfte des 8. Ausbruchsrings wurden drei Großbohrkerne entnommen. Der Tonstein entspricht in seiner Ausbildung der 1. Grüngrauen Zone. Allerdings ist der Tonstein von einigen dünnen Calcitlagen (< 5 mm Dicke) durchzogen. Ebenso kommen dünne steifplastische bis halbfeste Grobschluff- bzw. Feinsandlagen im Millimeterbereich vor. In einer Tiefe von etwa 7,5 m wurde eine etwa 10 cm mächtige Schicht von mehreren 1/2 bis 1 cm dicken Injektionsgutlagen festgestellt. Das Injektionsgut hat die nicht verfestigten Residuallagen verdrängt. Teilweise wurden Calcitlagen regelrecht von Injektionsgut umströmt. Die Festigkeit dieser Schicht ist deutlich höher als die der nicht injizierten Tonsteine.

Versuchsebene bei -9,70 m (Rotbraune Zwischenschichten)

In der zweiten Meß- und Versuchsebene wurden im Bereich des 9. Ausbruchsrings zwei Horizontal- Doppellastplattenversuche durchgeführt. In die hier anstehenden feinschichtigen, dünnbankigen, brüchigen Tonsteine der Rotbraunen Zwischenschichten sind dünne Calcit- und Residualtonbänkchen (~1 cm dick) eingelagert. Vereinzelt sind auch dünne Injektionsgutlagen eingeschaltet. Klüftung tritt deutlich zurück.

In der Schachtsohle sind bei -9,70 m zwei vertikale Lastplattenversuche durchgeführt worden.

Im Niveau des 10. und der oberen Hälfte des 11. Ausbruchsrings wurden zwei Großbohrkerne gewonnen. Das durchteufte Gebirge zeigt eine Wechselfolge aus festeren Tonsteinen, Calcitlagen und steifplastischen Grobschluff- und Feinsandlagen. Injektionsgut wurde nur vereinzelt beobachtet. Klüftung ist nur untergeordnet ausgebildet.

Versuchsebene bei -12,70 m (2. Grüngraue Zone)

Im 12. Ausbruchring wurde direkt unter der Grenze der Rotbraunen Zwischenschichten zu der 2. Grüngraue Zone ein horizontaler Doppellastplattenversuch durchgeführt. Im oberen Teil sind die Tonsteine dünnbankig und fest. Lagenweise ist Injektionsgut in das Gebirge eingedrungen.

In der Schachtsohle (Teufe -12,70 m) wurden zwei vertikale Lastplattenversuche durchgeführt. Die Versuchsflächen wurden in einer steifen grobschluffigen bzw. feinsandigen Schicht hergestellt. Darunter stehen dünnplattige Tonsteine mit Residualschlufflagen an.

Im Niveau des 13. und der oberen Hälfte des 14. Ausbruchringes wurden zwei Großbohrkerne gewonnen. Im oberen Teil befindet sich eine Wechselfolge aus dünnplattigen Tonsteinen und plastischen bis steifplastischen Tonen. Sickerwasser führte zu einer leichten Aufweichung der Schichten. Injektionsgut wurde in der Schachtwandung nicht beobachtet. Unter dieser Wechselfolge folgt eine etwa 15 bis 20 cm dicke harte grüngraue Quarzlitze. Darunter liegen dickbankige feste Tonsteine. Der Sickerwasserzutritt ging praktisch vollständig zurück. Die vorhandenen Klüfte sind mit Calcit bzw. Ton gefüllt.

Versuchsebene bei -19,70 m (Untere rotbraune Schichten)

Im 19. Ausbruchring wurde in den Unteren rotbraunen Schichten ein horizontaler Doppellastplattenversuch durchgeführt. Im wesentlichen sind die Tonsteine fest. Etwa in der Mitte der Lastplatte war eine ungefähr 10 cm dicke Schicht aus mürbstem Tonstein eingelagert.

Klüftung ist in diesem Bereich deutlich zu erkennen. Der Klufabstand reicht von 2 bis 3 cm bis zu etwa einem halben Meter.

Von der Schachtsohle aus wurden zwei Großbohrkerne gewonnen. In den Bohrlöchern stellte sich bei -20,60 m Grundwasser ein.

#### 4.4.3. Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Scherfestigkeiten aus den triaxialen Großscherversuchen sind in Tab. 4 zusammengestellt.

Bei den Reibungswinkeln zeichnen sich insgesamt zwei Größenordnungen ab, nämlich zwischen  $\varphi = 26,8^\circ$ - $33,9^\circ$  im Mittel  $29,7^\circ$  und von  $\varphi = 20,5^\circ$ - $22,5^\circ$ . Diese beiden Reibungsfestigkeiten von  $\varphi = 30^\circ$  und  $\varphi = 20$ - $22^\circ$  sind vom Gebirge her, d.h. von der Ausbildung der Scherflächen, erklärbar und entsprechen auch den Erfahrungswerten.

Die Kohäsionswerte von 200-700 kN/m<sup>2</sup> und mehr sind durchweg sehr hoch, was auf das Durchschneiden von Tonsteinbänken und die Ausbildung von Bruchtreppen bzw. auf das Abscheren von calcitisch verheilten Klüften zurückzuführen ist.

Die Scherfestigkeitswerte von  $\varphi = 27^\circ$ - $32^\circ$ ,  $c = 200$ - $700$  kN/m<sup>2</sup> entstammen durchweg Proben, bei denen sich keine durchgehenden Bruchflächen ausgebildet haben und bei denen der Versagensmechanismus untergeordnet auf Bruchtreppen, meist aber nur über unregelmäßige Ribbildung und Ausbauchung der Probe, erfolgt ist. Die Probe KE mit  $\varphi = 20,5^\circ$  zeigt dagegen eine ausgeprägte Bruchfläche. Bei der Probe KH ist offensichtlich die zum Bruch führende Verformung allein im unteren Drittel der Probe in einer stark entfestigten Mürbzone abgelaufen.

Die ermittelten vertikalen Verformungsmoduln gelten im wesentlichen für plattige bis bankige, halbfeste bis feste Tonsteine mit halbfesten, dünnen Residualschlufflagen. Die Werte der vertikalen Lastplattenversuche liegen für den Spannungsbereich 100-600 kN/m<sup>2</sup> zwischen 40 und 80 MN/m<sup>2</sup>, bei stärkerem Einfluß der Residualschluffbänder zwischen 20 und 35 MN/m<sup>2</sup>.

Die Verformungsmoduln aus den triaxialen Scherversuchen (Spannungsbereich 500 kN/m<sup>2</sup>) liegen dementsprechend in der oberen Hälfte dieser Spannbreite (60-80 MN/m<sup>2</sup>), ausgenommen die Proben KE und KH, bei denen sich ein Einfluß von festen Tonsteinen über 2/3 der Probenhöhe bemerkbar macht.

Die horizontalen Doppellastplattenversuche ergeben deutlich höhere Werte, die außerdem zum einen eine deutliche Tiefenabhängigkeit und zum anderen eine Lageabhängigkeit in der jeweiligen Versuchsebene zeigen. Läßt man die erste Meßebeine (-6,70 m) wegen der bis in diese Tiefe reichenden oberflächennahen Auflockerungszone unberücksichtigt, reichen die Werte von 155-725 MN/m<sup>2</sup>. Der Mittelwert liegt bei 327 MN/m<sup>2</sup>.

Ein Vergleich dieser Werte mit den Ergebnissen der Seitendrucksondierungen (s. Tab. 3) zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Sie reichen hier von 162-656 MN/m<sup>2</sup> (i.M. 357 MN/m<sup>2</sup>).

Setzt man die Ergebnisse der horizontalen und der vertikalen Lastplattenversuche der vergleichbaren Spannungsbereiche miteinander ins Verhältnis, ergeben sich je nach Tiefenlage Verhältnisse (HLP/VLP) von 1,2-9,04 : 1 (vgl. Tab. 5). Dies unterstreicht den deutlich anisotropen Charakter der Tonsteine. Der niedrige Wert der ersten Meßebeine (-6,7 m) zeigt den Einfluß der oberflächennahen Auflockerung auf die Festigkeitseigenschaften der Tonsteine am Scheibenberg.

Betrachtet man die Ergebnisse der Doppellastplattenversuche getrennt voneinander, so fällt auf, daß die Werte der Versuchslage „Nord“ von denen der Versuchslage „Süd“ sehr stark abweichen. Demzufolge reicht das Ver-

**Tab. 4:** Ergebnisse der triaxialen Scherversuche

Meßebeene	Tiefe [m]	Probe	Reibungswinkel $\varphi$ [°]	Kohäsion c [kN/m <sup>2</sup> ]	Bemerkungen
1	-6,7	KA	26,8	597	1. Grüngraue Zone: Plattiger bis größtenteils fester bankiger Tonstein, keine Ausbildung einer Bruchfläche, sonst nur mäßiger Abbruch
		KB II	27,3	490	
2	-9,7	KC	31,3	219	Rotbraune Zwischenschichten: dünnbankige, feste Tonsteine im Wechsel mit halbfesten Residualschlufflagen, vereinzelt Injektionsgutlagen. Keine Bruchfläche ausgebildet, z.T. Bruchstüffeln, meist aber nur Ausbauchung der Probe
		KD	33,9	443	
3	-9,7	KE	20,5	568	Oberer Bereich der 2. Grünrauen Zone: Obere ähnlich wie KD, untere <sup>2</sup> / <sub>3</sub> dickbankige feste Tonsteinbänke. Scherfläche folgt vorgegebener calcitverheiliter Kluft mit rauher Fläche, z.T. Harnische ausgebildet. Erhöhte Kohäsion infolge Randeinfluß. Geologie und Ausbildung der Probe wie KE, keine Scherfläche ausgebildet, Kombination von kleinen unregelmäßigen Bruchtreppen und Ausbauchungen des Probenkörpers.
		KF	27,2	686	
4	-19,7	KG	31,4	680	Untere rotbraune Schichten: Feste klüftige Tonsteine, bankig bis dickbankig, keine Bruchfläche ausgebildet, z.T. Bruchtreppen, z.T. nur Ausbauchung
		KH	22,45	1407	

hältnis HLP („Nord“)/VLP von 1,21:1–7,65:1 und das Verhältnis HLP („Süd“)/VLP von 4,38:1–9,04:1.

Dies kann zunächst auf eine unterschiedlich stark aussteifende Wirkung von festeren Bänken innerhalb der Tonsteine zurückgeführt werden, was aber in dieser Höhe unwahrscheinlich ist und im Aufschluß nicht erkennbar war. Wahrscheinlicher ist, daß an oder hinter der Nordwand des Schachtes eine Kluftzone durchstreicht, die von einer merklichen Gebirgsauflockerung begleitet ist, welche die Verformungsmoduln sofort abfallen läßt. Die Tatsache, daß eine solche Kluftzone an der Schachtwand nicht erkennbar war, trotzdem aber ihre Auswirkungen zeigt, ist auch von den Tunnelvortrieben an der NBS-H/W her bekannt (PRINZ 1988, NAUMANN & PRINZ 1988, 1989), wo solche Erfahrungen mehrfach gemacht worden sind.

Auf die Anisotropie von Schichtgesteinen beim verti-

kalen und horizontalen Verformungsverhalten machen SCHELIG & SEMPRICH (1988) aufmerksam. Die in dieser Arbeit ermittelten Verhältnisse zwischen horizontalen und vertikalen Verformungsmoduln liegen ebenfalls zwischen 1:4 und 1:10. Sie bestätigen damit nicht nur die Versuchswerte vom Versuchs- und Erkundungsschacht Scheibenberg-Tunnel, sondern zeigen, daß der niedrige Verhältniswert aus den Versuchsergebnissen der 1. Meßebeene besondere Ursachen haben muß, wie sie oben angesprochen sind. Solche Erkenntnisse ermöglichen damit weitgehende Auswirkungen auf Prognosen über das Verformungsverhalten von Tunneln im Bereich von Kluftzonen, die von Gebirgsauflockerung begleitet sind, und stellen damit einen wichtigen Beitrag zur Erkennung solcher Schwächezonen im Gebirge dar (PRINZ 1991: 323).

**Tab. 5:** Durchschnittswerte der Lastplattenversuche

Meßebeene	Teufe [m]	VLP „Nord“ [MN/m <sup>2</sup> ]	HLP „Nord“ [MN/m <sup>2</sup> ]	HLP/VLP „Süd“ [1]	HLP „Süd“ [MN/m <sup>2</sup> ]	HLP/VLP [1]	HLP „S“ / „N“ [1]
1	-6,7	46,25	56,0	1,21	202,5	4,38	3,62
2	-9,7	28,75	160,0	5,57	260,0	9,04	1,38
		28,75	220,0	7,65	236,0	8,00	0,88
3	-12,7	69,00	242,5	3,51	592,5	8,59	2,44
4	-19,7	-	740,0	-	452,5	-	0,61

## 5. Geotechnische Bewertung

### 5.1. Vergleich der Aufschlußmethoden Kernbohrung – Schacht

Die Aufschlußbohrungen für den Röhthberg-Tunnel und den Scheibenberg-Tunnel sind nach DIN 4021 mit durchgehender Gewinnung von gekernten Bodenproben ausgeführt worden. Die angewitterten und teilentfestigten Röttonsteine gelten insgesamt als schwer zu bohrende Gesteine, die weder mit dem Einfachkernrohr ohne Spülung noch mit Doppel- oder Dreifachkernrohr mit Spülung zufriedenstellende Kerne liefern. Bei den Kernbohrungen mit Spülung werden entfestigte und mürbefeste Partien ausgespült, so daß nur die festeren Kernstücke übrig bleiben und Kernverluste von z.T. über 50 % auftreten. Beim Bohren mit Einfachkernrohr ohne Spülung tritt i.d.R. kein Kernverlust auf, die Tonsteine werden jedoch beim Trockenbohren sehr stark beansprucht, zusätzlich zerbrochen und erwärmt, so daß der tatsächliche Entfestigungsgrad sehr schwer festzustellen ist. Hinzu kommt, daß durch das hohe Drehmoment und den Andruck moderner Geräte offensichtlich auch festere Tonsteine besser als erwartet mit dem Einfachkernrohr ohne Spülung gebohrt werden können. Das Problem, wann zweckmäßigerweise auf Doppelkernrohr mit Spülung umgestellt werden soll, ist mit den Bohrmeistern mehrfach angesprochen worden. Versuche eines zu frühen Umstellens haben dann auch zu entsprechenden Kernverlusten geführt.

Eine Abhilfe ist praktisch nur durch Kernbohrungen mit großen Kerndurchmessern ( $\varnothing > 200$  mm) oder durch schachtartige, befahrbare Großbohrungen mit Bohrgreifern o.ä. möglich.

Als Hilfskriterium für die Ermittlung des Entfestigungsgrades der Tonsteine kann die Entnahme von Sonderproben durch Eindringen der üblichen Stahlzylinder ( $\varnothing 120$  mm) herangezogen werden. Beim Scheibenberg-Tunnel konnten noch in folgenden Tiefen Sonderproben entnommen und folgende höherwertigen Laborversuche durchgeführt werden, was gemäß den Ausführungen in Abschn. 4.4.1 eine stärkere Verwitterung bzw. Entfestigung des Gebirges anzeigt:

BK	Sonderproben (Röt) in m Tiefe	höherwertige Laborversuche
09	8,30	-
10	10,00	-
11	8,30	-
12	19,30	KD-Versuch
13	8,70	KD-Versuch
14	11,70	-
18	9,00	-
19	5,15	-
V1	5,00	-

Beim Röhthberg-Tunnel liegen aus folgenden Tiefen Sonderproben vor, die teilweise so stark verwittert waren, daß über die Zustandsform hinausgehende höherwertige Laborversuche vorgenommen werden konnten:

BK	Sonderproben (Röt) in m Tiefe	höherwertige Laborversuche
01	5,00	Triaxialer Scherversuch
02	29,60	Einaxialer Druckversuch
05	28,30	KD-Versuch
06	32,60 <sup>2</sup>	Triaxialer Scherversuch
07	15,90	Einaxialer Druckversuch
21	13,10	-

Als weiteres Hilfskriterium können Rammsondierungen eingesetzt werden, die über die Schlagzahlen Hinweise auf die Gebirgsfestigkeit und den Auflockerungsgrad geben. In Betracht kommen Standard-Penetration-Tests in Bohrlöchern oder die Schwere Rammsonde nach DIN 4094 vom Gelände aus. Versuchsweise sind nachträglich neben den Bohrungen BK 18 und BK 19 Sondierungen mit der Schweren Rammsonde ausgeführt worden. Die maximale Eindringtiefe (Abbruchkriterium: Schlagzahlen  $n_{10} > 50$ ) lag in der Größenordnung der Maximaltiefe für die Entnahme der Sonderproben in den Bohrungen.

Eine kritische Nachbetrachtung der eingesetzten Aufschlußmethoden zeigt deutlich die Notwendigkeit, bei empfindlichen Gebirgsarten, und dazu zählen besonders die hier vorliegenden veränderlich-festen Röt-Tonsteine (s. Abschn. 3.1), die ingenieurgeologische Fachbetreuung bereits bei der Ausschreibung, d.h. bei der Auswahl der jeweiligen Aufschlußverfahren zu beginnen und trotz der üblichen Kostenbeschränkungen variabel zu handhaben, wenn man optimale Prognoseunterlagen erzielen will.

### 5.2. Gebirgstypisierung des nordhessischen Röts

Die Kennwerte für die Festigkeit und Verformbarkeit der teilweise noch recht festen, teilweise stark entfestigten und auch aufgelockerten Röttonsteine sind aus den durchgeführten Labor- und Feldversuchen abgeleitet und mit Erfahrungs- bzw. Rechenwerten aus vergleichbaren Schichtenfolgen des ausgelaugten Gipskeupers abgestimmt.

<sup>2</sup> als Versturzbrekzie

Die Auswertung der Daten hat gezeigt, daß die Bandbreite der Kennwerte für die einzelnen Schichtglieder recht groß ist und ein rascher Wechsel des Gebirgsverhaltens auf engstem Raum zu erwarten ist. Daher war es zweckmäßig, Gebirgstypen zu entwickeln, die von der stratigraphischen Stellung des Gesteins im Rötprofil unabhängig sind. Im vorliegenden Fall des unterschiedlich auslaugungsgeschädigten Röts konnten vier Haupttypen mit jeweils zwei Untertypen ausgehalten werden, die im folgenden kurz beschrieben sind. Die Klassifikation erfolgt anhand des Auslaugungsgrades des Gebirges. In Tab. 6 sind die Gebirgstypen und die wesentlichen Gebirgsparameter zusammengestellt.

**Gebirgstyp I:**

Dieser Gebirgstyp umfaßt unverwitterte und nicht auslaugungsgeschädigte Tonsteine. Tonsteine, in denen primär kein Gips eingelagert war, wurden im Gebirgstyp IA zusammengefaßt. Der Gebirgstyp IB bezeichnet Tonsteine mit eingelagertem Gips.

Der Gipsanteil liegt zwischen 10 und 20 % und ist noch nicht der Auslaugung unterworfen. Insgesamt sind die Tonsteine und Tonmergelsteine fest bis hart. Teilweise kommen zentimeter- bis dezimeterdicke Quarzlagen vor.

**Gebirgstyp II:**

Durch Teilauslaugung der Gipslagen wenig nachgesackte, gering zerbrochene, noch deutlich gebankte, mäßig feste bis feste Tonsteine wurden im Gebirgstyp II zusammengefaßt.

Die festen Tonsteine mit teilweise noch verbliebenen Gipslagen und bis zu 50 % weitgehend entfestigten Auslaugungs- bzw. Mürbzonen (<1 m) und einzelnen dünnen plastischen Lagen von Residualtonen ergeben den Gebirgstyp IIA.

Als Gebirgstyp IIB werden gipsfreie auslaugungsgeschädigte Tonsteine eingestuft, die flächig nachge-

sackt und wieder weitgehend konsolidiert sind. Gefügestrukturen (Schichtung, Klüftung) haben sich dabei weitgehend erhalten.

Die genannten Kennwerte entsprechen einem Anteil der Mürbzonen von etwa 50 %. Die Mürbzonen selbst sind als Gebirgstyp III und schlechter einzustufen.

**Gebirgstyp III:**

Tonsteine, bei denen die Auslaugung soweit gegangen ist, daß überhaupt kein Gips mehr vorhanden ist, wurden in Gebirgstyp III zusammengefaßt.

Der Untertyp IIIA umfaßt Gesteine, die zusätzlich zur Gipsauslaugung der oberflächennahen Auflockerung unterworfen wurden.

Der Typ IIIB beschreibt durch Auslaugung dünner Gipsbänder entfestigte und nachgesackte, brüchig-mürbe und bröckelig zerfallende, wenig kohäsive Tonsteine. Der Anteil dieser Mürbzonen liegt über 50 %.

**Gebirgstyp IV:**

Auslaugungsgeschädigte, oberflächlich stärker angewitterte, entfestigte und aufgelockerte oder vertonte Tonsteine (wechselnd schluffig-toniges Material mit 25-30 % Schluff und Ton bzw. stärker stückiges Material mit 50-80 % Tonsteinbröckchen und nur 5-20 % Schluff und Ton) beschreiben diesen Gebirgstyp.

Der Gebirgstyp IVA beschreibt die vertonten Tonsteine in Störungszonen.

Der Gebirgstyp IVB umfaßt nachgestürzte, stark angewitterte und entfestigte Tonsteine, die als schluffig-tonige Residualbrekzie am Röthberg in Grebenstein im Prinzip ein neues Sediment darstellen. Auch die Füllungen von Erdfallschloten werden in diesen Gebirgstyp gestellt.

Kennwerte für die Festigkeit und Verformbarkeit der vier bzw. acht Gebirgstypen sind in Tab. 6 zusammengestellt.

**Tab. 6:** Gebirgstypisierung des Röts in Nordhessen

Gebirgstypen	Gebirgstyp I unbeeinflusste Tonsteine	Gebirgstyp II teilw. auslaugungsgeschädigte Tonsteine (< 50 %)	Gebirgstyp III auslaugungsgeschädigte Tonsteine, gipsfrei	Gebirgstyp IV auslaugungsgeschädigte, umgewandelte Tonsteine
	Gebirgstyp IA ohne Gips	Gebirgstyp IIA mit bis zu 50 % Residualbildung	Gebirgstyp IIIA oberflächennahe Auflockerung	Gebirgstyp IVA vertonte Gesteine in Störungszonen
Kennwerte	Gebirgstyp IB mit Gipseinlagen	Gebirgstyp IIB wie oben, aber nachgesackt und konsolidiert	Gebirgstyp IIIB dickere Mürbzonen (Residualbildungen)	Gebirgstyp IVB verstürzte und brekziöse Residualbildungen
Feuchtwichte $\gamma$	24 kN/m <sup>3</sup>	23 kN/m <sup>3</sup>	22,5 kN/m <sup>3</sup>	20 kN/m <sup>3</sup>
Reibungswinkel Gebirge $\phi_G$	30-35°	22-27°	20-24°	18-22°
Verformungsmodul $E_v$	> 100 kN/m <sup>2</sup>	50-70 kN/m <sup>2</sup>	30-50 kN/m <sup>2</sup>	15-30 kN/m <sup>2</sup>

## 6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die untersuchten gipsführenden Tonsteine der Röt-Folge zeigen alle denkbaren Grade der Auslaugung. Das Spektrum reicht von intaktem Gebirge bis hin zu völlig entfestigtem Gestein. Außerdem wurden interessante Rückstandsbildungen beobachtet. Die oberflächigen Auswirkungen auf die Schichtenfolge beschränken sich im Untersuchungsgebiet auf ein Nachsacken bzw. eine Absenkung der Geländeoberfläche.

Anhand der Auslaugungsstadien lassen sich die Tonsteine in verschiedene Gebirgstypen einteilen. Im Verlauf der Bearbeitung wurden vier Gebirgstypen entwickelt, die außerdem in je zwei Untertypen differenziert werden konnten. Die Gebirgstypisierung läßt sich im Gelände bzw. an den Bohrkernen nachvollziehen.

Der Auslaugungs- bzw. Entfestigungsgrad der Tonsteine hat entscheidenden Einfluß auf die Gebirgskennwerte. Daher ist eine detaillierte Beschreibung des Gebirges zur Einordnung und Bewertung von Versuchsergebnissen unbedingt erforderlich.

Den einzelnen Gebirgstypen können aussagekräftige Anhaltswerte für die wesentlichen boden- bzw. felsmechanischen Parameter zugeordnet werden. Die Verknüpfung der Ergebnisse der umfangreichen Laboruntersuchungen mit den Feld- bzw. Großversuchen gibt wertvolle Anhaltspunkte zur Umsetzung der bei den meisten Bauvorhaben üblichen Laborversuche in Richtung von aussagekräftigen Rechenwerten.

Die hier vorgestellte Gebirgstypisierung ermöglicht es dem Ingenieurgeologen, anhand der ersten Bohraufschlüsse schnell eine erste Abschätzung der Gebirgsverhältnisse vorzunehmen. Dadurch wird es möglich, eine dem Gebirge angepaßte Erkundungsstrategie zu entwickeln, die zu einer kostenbewußten Lösung der gestellten Aufgabe führt.

Durch die vergleichende Auswertung von Punktlast- und einaxialen Druckversuchen an identischen Bohrlochabschnitten konnte eine materialgerechte Modifizierung des Umrechnungsfaktors von Punktlastfestig-

keiten zu Druckfestigkeiten vorgenommen werden (Abminderung von 24 auf 10).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit passen gut zu den Literaturangaben und ergänzen die vorhandenen Untersuchungen über Auslaugungserscheinungen anderer Rötverbreitungsgebiete und über vergleichbare Formationsglieder des Keupers und Muschelkalks. Damit kann es dann möglich werden, die hier vorgestellte Gebirgstypisierung auch für andere Formationen zu überprüfen und anzuwenden.

**Danksagung:** Die vorliegende Arbeit wurde als Dissertation am Fachbereich Geowissenschaften der Philipps-Universität Marburg durchgeführt. Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. HELMUT PRINZ, möchte ich für die Vergabe des Themas sowie für die allseitige Unterstützung und Hilfe bei der Durchführung sehr herzlich danken. Der Deutschen Bahn AG, Direktion Hannover, Projektgruppe NBS sei für die Erlaubnis zur Verwendung der Untersuchungsergebnisse gedankt. Herrn Prof. Dr. WALTER VORTISCH, Montanuniversität Leoben, gebührt mein Dank für seine kritischen Anmerkungen im Verlauf der Arbeit.

Den Kommilitoninnen und Kommilitonen vom Fachbereich Geowissenschaften der Philipps-Universität gilt mein Dank für die gute Zusammenarbeit. Meinen Kolleginnen und Kollegen im Hessischen Landesamt für Bodenforschung danke ich für die anregenden Diskussionen und die vielen erbaulichen Stunden innerhalb des HLFb. Besonders hervorzuheben sind hier meine Mitstreiter im alten Dezernat II/4, die Herren Dipl.-Ing. NORBERT SCHOLZ und Prof. Dr.-Ing. REINHARD SCHWERTER.

Frau cand. phil. HANNE NITSCHKE, Frau Dr. med. EVA SADOWSKI, Herrn Dipl.-Ing. KARL-HANS MÜLLER und Herrn Dr. SIEGFRIED HOLTZ sei jeweils für die Durchsicht des Manuskriptes recht herzlich gedankt.

## 7. Schriftenverzeichnis

- AMANN, P., BEST, G. & SCHNEIDER, W. (1976): Bodenmechanische und geologisch-sedimentpetrographische Ergebnisse einer 100 m tiefen Kernbohrung im Untermiozän von Frankfurt am Main. - Geol. Jb., C 16: 23-68, 19 Abb., 3 Tab., 4 Taf.; Hannover.
- BECKER, L. P. (1993): Überkonsolidierte Schluffe Klasse 6 (leichter Fels) oder Klasse 7 (schwerer Fels). - Geotechnik, 16: 81-83, 2 Abb.; Essen (DGEG).
- BÜHMANN, D. & RAMBOW, D. (1979): Der Obere Buntsandstein (Röt) bei Borken/ Hesse, Stratigraphie und Tonmineralogie. - Geol. Jb. Hessen, 107: 125-138, 1 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- EINSELE, G. & WALLRAUCH, E. (1964): Verwitterungsgrade bei mesozoischen Schiefer-tonen und Tonsteinen und ihr Einfluß bei Standsicherheitsproblemen. - Vorträge der Baugrundtagung Berlin: 59-83, 12 Abb., 2 Taf.; Essen (DGEG).
- GARTUNG, E. (1982): Punktlastversuche an Gesteinsproben - Empfehlung Nr. 5 des Arbeitskreises 19 (Versuchstechnik Fels) der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. - Die Bautechnik, 59: 13-15, 6 Abb. 1 Tab.; Berlin (Ernst & Sohn).
- GREMMINGER, M. (1988): Untersuchungen zur Bruchbildung beim Punktlast-Versuch unter besonderer Berücksichtigung anisotroper Festgesteine. - Geotechnik, 11: 158-163, 8 Abb.; Essen (DGEG).
- HEITFELD, K.-H. (Hrsg.) (1985): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein. - 695 S., 397 Abb.; Berlin (Springer).

- HEITFELD, K.-H. & KRAPP, L. (1991): Bedeutung von Sulfatkarst beim Hochwasserrückhaltebecken Salzderhelden (HRB). - Wasserwirtschaft, **81**: 1-6, 5 Abb.; Stuttgart.
- HENKE, K. F. & HILLER, M. (1985): Veränderung bodenmechanischer Parameter bei überkonsolidierten Peliten durch Verwitterung - Versuch einer Deutung anhand des Opalinustons. - In: HEITFELD, K.-H. (Hrsg.): Ingenieurgeologische Probleme im Grenzbereich zwischen Locker- und Festgestein: 83-96, 10 Abb.; Berlin (Springer).
- HINZE, C. (1967): Der Obere Buntsandstein (Röt) im südniedersächsischen Bergland. - Geol.Jb., **84**: 637-716, 4 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Hannover.
- HORN, M. (1982): Erl. geol. Kt. Hessen 1:25 000; Bl. 4520 Warburg. - 238 S., 28 Abb., 32 Tab., 1 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- ISRAEL, R. (1994): Geologische Kartierung und Bewertung der Machbarkeit eines Verkehrstunnels in der Umgebung von Grebenstein. - Unveröff. Dipl.-Arb. Philipps-Universität Marburg: 149 S., 40 Abb., 1 Taf., 9 Anl.; Marburg.
- KECK, O. (1976): Ingenieurgeologische Untersuchungen an Verwitterungsgesteinen des Oberdevons im Raum Aachen. - Mitt. Ing.- und Hydrogeologie der RWTH Aachen, **2**: 171 S.; Aachen.
- KEIL, K. (1954): Ingenieurgeologie und Geotechnik. - 2. Aufl.; Halle/S. (Wilh. Krapp).
- KOMMODROMOS, A. (1974): Vergleichende bodenmechanische Untersuchungen an rutschgefährdeten mesozoischen Tonen. - Münster. Forsch. Geol. Paläont., **30**: 127 S., 60 Abb., 17 Tab.; Münster.
- LEMP, C. (1979): Die Entfestigung überkonsolidierter, pelitischer Gesteine Süddeutschlands und ihr Einfluß auf die Tragfähigkeit des Straßenuntergrundes. - Diss.; Tübingen.
- LEPPER, J. (1976): Erl. geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25000; Bl. 4322 Karlshafen. - 190 S., 14 Abb., 11 Tab., 6 Taf.; Krefeld.
- MAGAR, K. (1967): Zur Klassifizierung überwiegend bindiger Halbfestgesteine. - Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Suppl., **IV**: 25-30; Wien (Springer).
- MORGENSTERN, N. R. (1990): Instabilitäts-Mechanismen bei veränderlich festen Gesteinen. - Geotechnik, **13**: 123-129, 6 Abb.; Essen.
- MÜLLER, K.-H. (1993): XI. Ingenieurgeologie. - Erl. geol. Kt. Hessen 1:25000, Bl. 5818 Frankfurt a.M. Ost. - 3.Aufl.: 222-235, 8 Abb., 8 Tab.; Wiesbaden.
- MUTSCHLER, TH. & NATAU, O. (1991): Further developments for the determination of the stress-strain behaviour of jointed rock masses by large scale tests. - 7th Int. Congr. of ISRM, Aachen 1991: 1557-1560, 10 Abb.; Aachen.
- NATAU, O. (1990): Scale Effects in the determination of the deformability and Strength of Rock Masses.- Proc. 1. Int. Workshop on Scale Effects in Rock Masses, Loen, Norway, A. PINTO DA CUNHA (Hrsg.): 77-87, 13 Abb., 1 Tab.; Rotterdam (Balkema).
- NATAU, O., FRÖHLICH, B. & MUTSCHLER, TH. (1983): Recent developments of the larger scale triaxial test. - 5th Int.Congr. of ISRM, Melbourne: A 65-A 74, 16 Abb., 1 Tab.; Melbourne (Australien).
- NATAU, O. & MUTSCHLER, TH. (1989): International Society for Rock Mechanics - Commission on Testing Methods - Suggested Method for Large Scale and Triaxial Tests of Jointed Rock. - Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., **26**: 427-434, 6 Abb.; Cambridge (Pergamon Press).
- NAUMANN, G. & PRINZ, H. (1988): Tunnelbau im Buntsandsteingebirge mit geringer Überdeckung. - Bautechnik, **65**: 145-152, 5 Abb., 2 Tab.; Essen (Glückauf).
- NAUMANN, G. & PRINZ, H. (1989): Die Bedeutung richtungsabhängiger tektonischer Gebirgauflockerung für den Tunnelbau im Buntsandsteingebirge. - Felsbau, **7**: 190-197, 10 Abb.; Essen (Glückauf).
- PIETSCH, M. (1990): Der Punktlastversuch als Mittel zur qualitativen Festigkeitsuntersuchung eines Tonsteins. - Geotechnik, **13**: 82-91, 8 Abb., 3 Tab.; Essen (DGEG).
- PRINZ, H. (1973): Zur Entstehung von Einbruchsschlotten und Korrosionskesseln über tiefem Salinarkarst. - Proc. Symp. IAEG „Erdfälle und Bodensenkungen“, Hannover, T4, C: 1-3, 2 Abb.; Essen.
- PRINZ, H. (1988): Ein Beitrag zur Kinematik der saxonischen Tektonik anhand der Tunnelaufschlüsse an der DB-Neubaustrecke in Nord- und Osthessen. - Geol. Jb. Hessen, **116**: 169-187, 9 Abb.; Wiesbaden.
- PRINZ, H. (1991): Abriss der Ingenieurgeologie. - 2. Aufl.: 466 S., 352 Abb., 74 Tab.; Stuttgart (Enke).
- RAZIZADEH, F. (1980): Geomechanische Eigenschaften der Verwitterungszonen der diagenetisch verfestigten Tone des Dogger-O. - Veröff. LGA Nürnberg, **41**; Nürnberg.
- REYNOLDS, R. C. (1980): Interstratified Clay Minerals. - In BRINDLEY, G. W. & BROWN, G. (Hrsg.): Crystal Structures of Clay Mineral and their X-ray Identification: 249-303; London (Miner. Soc.).
- RÖSING, F. (1966): Erl. geol. Kt. Hessen 1: 25 000, Bl 4621 Wolfhagen. - 246 S., 13 Abb., 8 Tab., 2 Diagr.; Wiesbaden.
- SCHENK, D. (1983): Auswirkung der Verwitterung auf Festigkeit und Mikrogefüge überkonsolidierter Tonsteine der Oberen Röt-Folge (Rhön). - Diss. Christian-Albrechts-Universität Kiel: 121 S., 71 Abb., 5 Tab.; Kiel.
- SCHETELIG, K. (1994): Der Quelldruck auf Tunnel im Anhydritgestein und deren geologisch-mineralogischer Hintergrund (am Beispiel des Hasenberg-Tunnels in Stuttgart). - Veröff. Inst. Grundbau, Bodenmech., Felsmechanik und Verkehrswasserbau RWTH Aachen, **26**: 119-126, 4 Abb., Aachen.
- SCHETELIG, K. & SEMPRICH, ST. (1988): Ingenieurgeologische Aspekte bei der Ermittlung von Gebirgskennwerten im Buntsandstein. - Geotechnik Sonderheft 1988: 171-177, 9 Abb.; Essen (DGEG).
- SCHULTZ, TH. & TAHHAN, I. AL. (1989): Erfahrungen mit dem Gerät zur Bestimmung der Punktlastfestigkeit. - Z. angew. Geol., **35**: 59-62, 8 Abb., 2 Tab.; Berlin (Akad. Verlag).
- SEGER, H. (1980): Beitrag zur Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls in Böden durch Seitendruckversuche im Bohrloch. - Mitt. Baugrundinst. Stuttgart, **13**: 107 S., 57 Abb., 11 Anl.; Stuttgart.
- SEMPRICH, ST. & WESEMÜLLER, H. (1993): Versuchsschacht Scheibenberg-Tunnel - Ein Großversuch zur Ermittlung optimaler Injektionsparameter. - Proceedings of the International Conference in Grouting in Rock and Concrete /Salzburg/Austria/ 11.-12. October 1993 (Ed.: R. WIDMANN): 471-480, 11 Abb.; Rotterdam (Balkema).
- SMOLTZYK, U. (1972): Keupermechanik. - Vorträge der Baugrundtagung 1972 in Stuttgart: 407-419, 6 Abb.; Essen (DGEG).
- SMOLTZYK, U. & SEGER, H. (1980): Erfahrungen mit der Stuttgarter Seitendrucksonde. - Geotechnik, **3**: 165-173, 14 Abb.; Essen (DGEG).
- SPAUN, G. (1973): Über die Verbreitung und Eigenschaften von Weichgesteinen in Baden-Württemberg. - Vorträge und Diskussionen eines Colloquiums über Felsbaumechanik bei der Sicherung oberflächennaher Tunnel und tiefer Baugruben in halbfestem Fels und überkonsolidierten Böden am 05.11.1973, Veröff. Univ. Karlsruhe, **63**; Karlsruhe.
- TIEDEMANN, J. (1989): Strukturbezogene ingenieurgeologische Untersuchungen als Grundlage einer verbesserten Vorerkundung für große Felsbauprojekte. - Ber. 7. Nat. Tag. Ing. Geol. Bensheim: 213-221, 7 Abb.; Essen (DGEG).
- TURK, N. & DEARMAN, W. R. (1985): Improvements in the Determination of Point Load Strength. - Bull. IAEG, **31**: 137-142, 6 Abb., 4 Tab.; Paris.
- VORTISCH, W. (1982): Claymineralogical Studies of some Tills in Northern Germany. - Geol. et Palaeont., **15**: 167-192, 14 Abb., 7 Tab.; Marburg.
- WEBER, H. (1958): Die Oberflächenformen des festen Landes. - 350 S., 245 Abb., 34 Taf.; Leipzig (Teubner).

Überarbeitetes Manuskript eingegangen am 28. 2. 1996, angenommen am 4. 4. 1996



ANNETTE E. GÖTZ\*

# Fazies und Sequenzanalyse der Oolithbänke (Unterer Muschelkalk, Trias) Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete

## Kurzfassung

Die beispielhafte Leitbankstratigraphie im Unteren Muschelkalk des germanischen Beckens bildet eine wertvolle Grundlage für überregionale Faziesanalysen. In der lateralen Faziesverteilung der Oolithbänke bildet sich eine flache, SSE ge-

neigte Karbonatrampe ab, welche sich von NW nach SE in einen lagunären, intertidalen und flach subtidalen Faziesbereich gliedern läßt.

Die zyklische Sedimentation im Unteren Muschelkalk dokumentiert eine vertikale Faziesentwicklung pe-

ritidaler Flachwasserkarbonate in charakteristischen Faziesreihen. Die untersuchten Kleinzyklen werden als high-frequency Sequenzen innerhalb der ersten Sequenz des Muschelkalks interpretiert.

## Abstract

The long established detailed lithostratigraphic subdivision of the German Lower Muschelkalk (Middle Triassic, Anisian) provides an ideal basis for basin-wide facies analysis. The lateral facies distribution of the Oolith-beds reflects a shallow

SSE-sloping homoclinal carbonate ramp. This ramp was subdivided from NW to SE into a shallow lagoonal, intertidal and subtidal zone, each showing characteristic sediment types.

The cyclic sedimentation of the

Lower Muschelkalk is documented by vertical facies successions consisting of characteristic facies units. The metre-scale minor cycles recognized are interpreted as high-frequency sequences in terms of sequence stratigraphy.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	68
2. Geologischer Rahmen	68
2.1. Paläogeographie	68
2.2. Stratigraphie	69
3. Arbeitsmethodik	71
3.1. Arbeitsgebiet	71
3.2. Anschliffe, Folienabzüge, Dünnschliffe	72
4. Sedimentologie	72
4.1. Lithofaziestypen	72
4.1.1. Wellenkalke	72
4.1.2. Plattenkalke	73
4.1.3. Gelbkalke	73
4.1.4. Hartgründe	75
4.1.5. Intraklastbänke	75
4.2. Sedimentstrukturen	75
4.2.1. Slumps	75
4.2.2. Debris flows	77
4.2.3. Load casts	77

\* Dr. ANNETTE E. GÖTZ, Geologisch-Paläontologisches Institut der TH Darmstadt, Schnittspahnstraße 9, 64287 Darmstadt.

5. Mikrofazies	77
5.1. Mikrofaziestypen	77
5.1.1. Mudstones	77
5.1.2. Bioklasten-Peloid-Wackestones	78
5.1.3. Crinoiden-Wacke-/Packstones	78
5.1.4. Intraklasten-Pack-/Floatstones	78
5.1.5. Bioklasten-Grainstones	78
5.1.6. Bioklasten-Ooid-Grainstones	79
5.1.7. Peloid-Grainstones	79
5.1.8. Bioklasten-Float-/Rudstones	79
6. Faziesmodell	80
7. Zyklizität und Sequenzanalyse	82
8. Zusammenfassung	83
9. Schriftenverzeichnis	84

## 1. Einleitung

Mitteldeutschland zählt zu den klassischen Untersuchungsgebieten der germanischen Trias. Der Untere Muschelkalk Hessens und Thüringens wurde bereits im letzten Jahrhundert sedimentologisch und lithostratigraphisch bearbeitet (BORNEMANN 1886, 1888); die bis heute gültige Gliederung der Schichtenfolge beruht auf überregional auftretenden bioklastenreichen Bänken, welche eine Leitbankstratigraphie ermöglichen (FRANTZEN 1888; FRANTZEN & KOENEN 1889).

Voraussetzung für überregionale Vergleiche und Parallelisierungen innerhalb des germanischen Beckens sind neben feinstratigraphischen Profilaufnahmen und Mikrofaziesanalyse detaillierte biostratigraphische Untersuchungen (MÄDLER 1964; KOZUR 1974; KOZUR & MOSTLER 1970, 1972). Darüber hinaus ermöglicht die se-

quenzstratigraphische Analyse die beckenweite Korrelation genetisch isochroner Einheiten, sog. Sequenzen, mittels überregional ausgebildeter Kleinzyklen (AIGNER & BACHMANN 1992).

Die sedimentologisch-fazielle Bearbeitung und sequenzstratigraphische Analyse der Oolithbänke im Unteren Muschelkalk Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete sollen Ergebnisse zur Genese dieses Leitbankhorizontes innerhalb des germanischen Beckens liefern. Hierzu werden im folgenden Sedimentologie, Mikrofazies und Zyklizität der bearbeiteten Schichtenfolge diskutiert, das daraus abgeleitete Sedimentationsmodell vorgestellt und schließlich die chronostratigraphische Bedeutung der Oolithbänke innerhalb der germanischen Mitteltrias aufgezeigt.

## 2. Geologischer Rahmen

### 2.1. Paläogeographie

Das Auseinanderbrechen des Superkontinents Pangea wurde bereits im höheren Oberkarbon bzw. basalen Perm durch großräumige Riftingprozesse eingeleitet (ZIEGLER 1988, 1990). Während der Trias entstanden an reaktivierten variszischen (permokarbonischen) Frakturen jüngere Riftsysteme des Mesozoikums. Die Entwicklung dieser Grabenstrukturen in West- und Mitteleuropa stand in direktem Zusammenhang mit intensiver Dehnungsbeanspruchung während der Ausbreitung des Arktik-Nordatlantik-Riftsystems nach Süden in das Gebiet der heutigen Nordsee sowie der nach Westen fortschreitenden Öffnung des Tethys-Riftsystems in den mediterranen Raum. In Mitteleuropa bildeten der bereits

permisch angelegte NW-SE-streichende Dänisch-Polnische Trog sowie die NNE-SSW-streichende Hessische Senke die strukturprägenden Elemente innerhalb des germanischen Beckens (Abb. 1).

Nach einem globalen Meeresspiegeltiefstand am Ende des Perms, ist während der Trias ein zyklischer Anstieg des Meeresspiegels zu beobachten (VAIL et al. 1977, BRANDNER 1984, HAQ et al. 1987). Eine erste Transgression am Ende des Skyth (Röt) überflutete erstmals weite Teile des germanischen Beckens. Die Muschelkalktransgression setzte mit einem weiteren Meeresspiegelanstieg zu Beginn des Anis ein. Zunächst wurden nur im östlichen Beckenteil Karbonate gebildet. In Polen be-

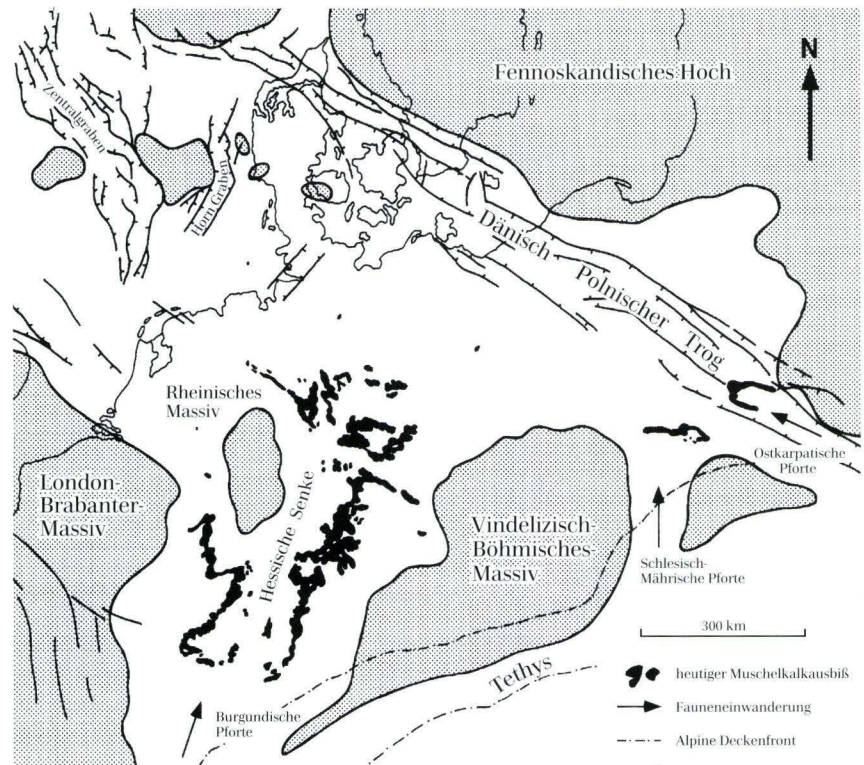


Abb. 1. Paläogeographie der Mitteltrias (nach ZIEGLER 1990 und HAGDORN 1991).

gann die Karbonatsedimentation bereits im tieferen Anis (Aege) mit den basalen Gogoliner Schichten (SZULC 1991), während im Nordwesten und Westen erst ab dem höheren Unteranis (Bithyn) die Karbonate des Unteren Muschelkalks abgelagert wurden. Die Beckenränder unterlagen weiterhin klastischen Schüttungen (ZIEGLER 1990).

Pelagische Faunenelemente der asiatischen Provinz wanderten im Unteranis zunächst über die Ostkarpaten Pforte ein (KOZUR 1974). Im höheren Anis, zu Beginn des Pelsons, öffnete sich zusätzlich zur Ostkarpaten Pforte die Schlesisch-Mährische Pforte in Südpolen, erstmals wanderten austroalpine Faunen der westlichen Tethys in den germanischen Faziesraum ein (MOSTLER 1993).

Im Oberen Anis (Illyr) war die Verbindung des germanischen Beckens mit dem tethyalen Raum wieder eingeschränkt, die Evaporite des Mittleren Muschelkalks wurden im westlichen Teil des Beckens abgelagert. Ein erneuter Meeresspiegelanstieg im späten Illyr leitete die Sedimentation der Karbonate des Oberen Muschelkalks ein. Alpine Faunen der westmediterranen Provinz, welche nun über die Burgundische Pforte einwanderten, indizieren vollmarine Bedingungen.

Der Meeresspiegel erreichte im Oberen Muschelkalk zur Zeit der cycloides-Bank den höchsten Stand während der gesamten Trias (AIGNER & BACHMANN 1992). Mit dem Einsetzen einer Regression im höheren Ladin endete im germanischen Becken die marine Entwicklung der Mitteltrias. Die tonig-sandige Lettenkeuperfazies leitete die Playa-Sedimentation des Keupers ein.

Nach den paläogeographischen Rekonstruktionen der Trias lag das germanische Becken zwischen 15° und 20° nördlicher Breite. In Mitteleuropa herrschte ein subtropisch-tropisch, ganzjährig arides Klima (ROBINSON 1973, HALLAM 1985, ZIEGLER 1990).

## 2.2. Stratigraphie

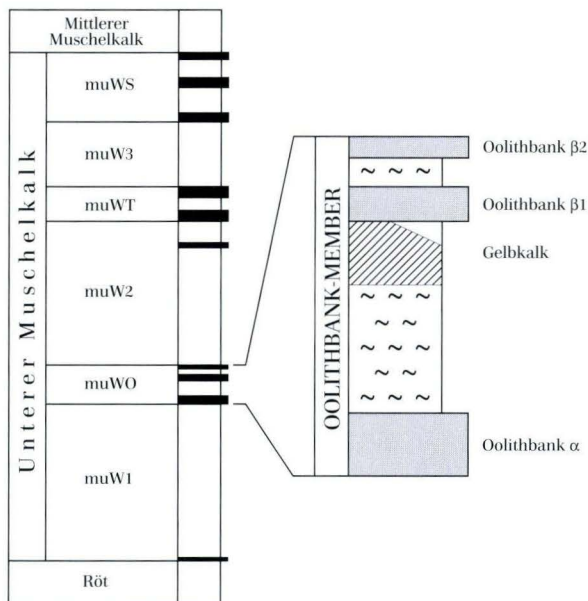
Die lithostratigraphische Gliederung des Unteren Muschelkalks in Hessen und Thüringen erfolgt anhand sog. Leitbänke, den Oolith-, Terebratel- und Schaumkalkbänken, welche bereits Ende des letzten Jahrhunderts als Schaumkalkbänke  $\alpha$ - $\delta$  beschrieben wurden (FRANTZEN 1888) und seitdem eine bis heute gültige Leitbankstratigraphie ermöglichen (vgl. HAGDORN et al. 1987).

Trotz der beispielhaften Bankstratigraphie im Unteren Muschelkalk wird eine überregionale Bearbeitung und Korrelation einzelner Bänke innerhalb des germanischen Faziesraums durch die regional unterschiedliche Benennung gleicher Bankbereiche erschwert. Neben zahlreichen Synonymen und Homonymen wurden in der Muschelkalk-Stratigraphie bisher immer noch Begriffe wie Zone oder Horizont im Sinne von lithostratigraphischen Einheiten verwendet (z.B. Oolithbank-Zone, Horizont der Terebratelbänke etc.).

Den internationalen Richtlinien zur lithostratigraphischen Nomenklatur (HEDBERG 1976) folgend, stellen HAGDORN et al. (1993) für den gesamten Muschelkalk

**Tab. 1:** Gliederung des Unteren Muschelkalks im westlichen germanischen Becken. Conodontenzonierung nach KOZUR (1974).

Stufe	Unterstufe	Zone	Geologisches Profil	FRANTZEN 1888 Thüringen/Hessen	KOZUR 1974	HAGDORN et al. 1993 Mitteldeutschland	GÖTZ 1994 West-Thüringen											
<b>A N I S</b>	Illyr		Unterer Dolomit	Mittlerer Muschelkalk	mm1	Mittlerer Muschelkalk <i>orbicularis</i> -Member mmKO ( <i>orbicularis</i> -Schichten)	Mittlerer Muschelkalk											
			Grenzbank <i>orbicularis</i> -Schichten					Schaumkalk δ	mu2ζ	muWS	Schaumkalk-Member (Schaumkalkbänke)	mu IV	c					
			Obere Schaumkalkbank										γ <sup>3</sup>	γ <sup>2</sup>	γ <sup>1</sup>	a		
	Pelson	<i>kockeli</i> -Zone	Mittlere Schaumkalkbank	Oberer Wellenkalk	mu2	muW3	Wellenkalk-3-Member (Oberer Wellenkalk)	mu III	d									
			Untere Schaumkalkbank						Schaumkalk γ	mu2τ	muWT	Terebratelbank-Member (Terebratelbänke)	a					
			Obere Terebratelbank											τ <sup>2</sup>	τ <sup>1</sup>	b		
			Untere Terebratelbank						Spiriferinabank	mu1γ	muW2	Wellenkalk-2-Member (Mittlerer Wellenkalk)	mu II	e				
			Spiriferinabank											Schaumkalk β	mu1βoo	muWO	Oolithbank-Member (Oolithbänke)	a
			Obere Oolithbank															
	Bithyn	<i>germanica</i> - A.-Zone	Untere Oolithbank	Unterer Wellenkalk	mu1β	muW1	Wellenkalk-1-Member (Unterer Wellenkalk)	mu I	c									
			Obere Oolithbank						Gelbe Grenzbank Grenzgelbkalk Myophorienschichten	Röt	mu1α	Röt	Röt	d				
	Aege	<i>nevadensis</i> - A.-Zone	Gelbe Grenzbank											f				
Grenzgelbkalk			g															
								h										



**Abb. 2:** Lithostratigraphische Gliederung des Unteren Muschelkalks nach HAGDORN et al. (1993) und Übersichtsprofil der Oolithbänke Mitteldeutschlands.

des germanischen Beckens eine revidierte Benennung der lithostratigraphischen Einheiten vor (Tab. 1). Im Sinne dieser Revision wird die untersuchte Schichtenfolge der Oolithbänke im folgenden als **Oolithbank-Member** bezeichnet (Abb. 2).

Weiterhin wird auf die homonyme Benennung der Oolithbänke β1 und β2 Thüringens und Frankens hingewiesen, deren fehlerhafte Korrelation bereits KOZUR (1974) erörtert. So wird die Untere Oolithbank Hessens und Thüringens im Fränkischen als Oolith- oder Konglomeratbank β1 (Dentalienbank), die Obere Oolithbank als Oolith- bzw. Hauptkonglomeratbank β2 bezeichnet (WILCZEWSKI 1967).

Die Obere Oolithbank Mitteldeutschlands zeigt jedoch eine deutliche Zweiteilung (vgl. SEIDEL & LOECK 1990), so daß eine einheitliche stratigraphische Benennung der Oolithbänke α, β1 und β2, wie sie bereits von FREYBERG (1920) aus Thüringen vorliegt, für das gesamte Arbeitsgebiet vorgeschlagen wird (Abb. 2).

Eine detaillierte biostratigraphische Zonierung der gesamten germanischen Mitteltrias wurde von KOZUR (1974) vorgelegt. Neben der litho- und biostratigraphischen Gliederung des Unteren Muschelkalks ermöglicht

te die feinstratigraphische Bearbeitung der Schichtenfolge eine zyklische Gliederung (SCHULZ 1972) mittels

überregional korrelierbarer transgressiv-regressiver Kleinzyklen (KRAMM 1986, KLOTZ 1990, GÖTZ 1994).

### 3. Arbeitsmethodik

#### 3.1. Arbeitsgebiet

Das Arbeitsgebiet umfaßt die Muschelkalkgebiete Thüringens sowie der angrenzenden Regionen Unterfrankens, Hessens, Südniedersachsens und Sachsen-Anhalts. 42 Geländeprofile und eine Kernbohrung (Abb. 3) wurden feinstratigraphisch aufgenommen und für mi-

krofazielle Untersuchungen beprobt. Für die Bearbeitung wurden neben im Abbau stehenden und auflässigen Steinbrüchen, Bahn- und Straßenanrissen auch natürliche Aufschlüsse herangezogen, welche in den nächsten Jahrzehnten weiterhin zugänglich sein werden.

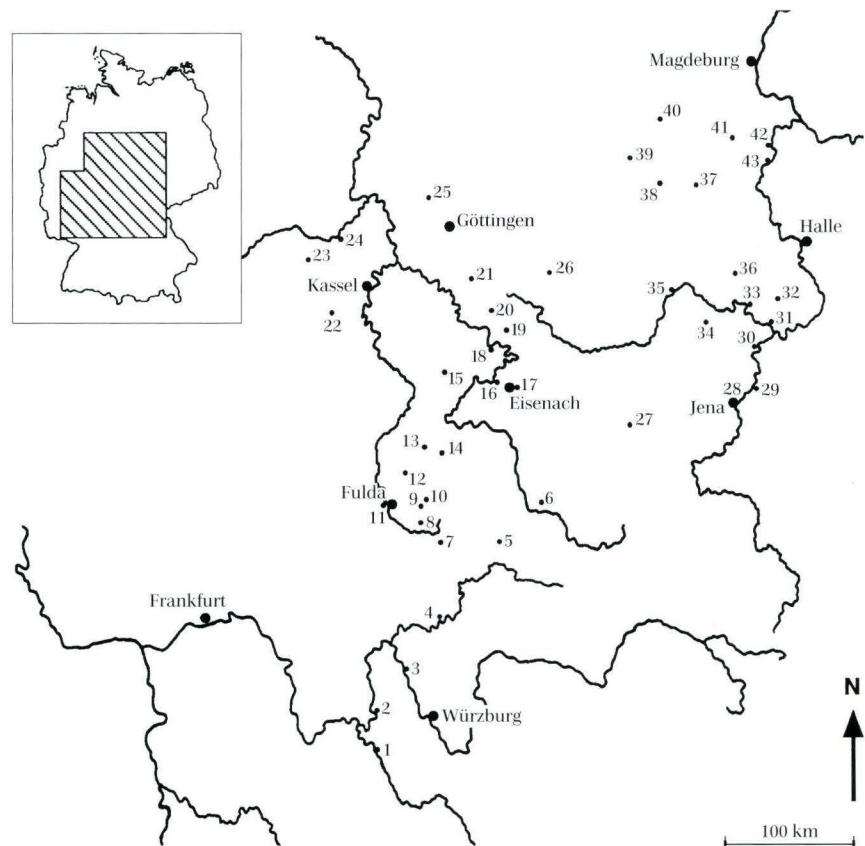


Abb. 3. Arbeitsgebiet und Lage der untersuchten Geländeprofile. Aufschlußverzeichnis siehe Tab. 2.

Tab. 2: Lage der untersuchten Profile, welche in Abb. 3 angeführt sind.

Nr.	Lokalität	Meßtischblatt	Rechtswert	Hochwert
1	Werbach (Wer)	6323 Tauberbischofshm.	R 3547750	H 5503300
2	Lengfurt (Lf)	6123 Marktheidenfeld	R 3544650	H 5520000
3	Karlstadt (Kar)	6024 Karlstadt	R 3548500	H 5535300
4	Elfershausen (Eh)	5825 Hammelburg	R 3568850	H 5558250
5	Frickenhausen (Fri)	5527 Mellrichstadt	R 3587500	H 5587000
6	Rohr (Ro)	5329 Zella-Mehlis	R 3607700	H 5608800
7	Haselbach (Has)	5625 Wildflecken	R 3569680	H 5584875
8	Poppenhausen (Pop)	5525 Gersfeld	R 3560730	H 5595925
9	Oberbernhardts (Ob)	5425 Kleinsassen	R 3563830	H 5602800
10	Elters (El)	5425 Kleinsassen	R 3562350	H 5604525
11	Mittelrode (Mit)	5423 Großenlöder	R 3543100	H 5601000

Nr.	Lokalität	Meßtischblatt	Rechtswert	Hochwert
12	Hünfeld (Hün)	5324 Hünfeld	R 3553175	H 5614275
13	Großentaft (Gt)	5225 Geisa	R 3561300	H 5623680
14	Borsch (Bo)	5225 Geisa	R 3566875	H 5623725
15	Sontra (Son)	4925 Sontra	R 3566090	H 5662680
16	Hörschel (Hör)	4927 Creuzburg	R 3586600	H 5653290
17	Wutha (Wu)	5028 Eisenach-Ost	R 3598000	H 5648100
18	Heldrastein (Hel)	4827 Treffurt	R 3582775	H 5664550
19	Diedorf (Die)	4827 Treffurt	R 3590800	H 5671350
20	Großbartloff (Gb)	4727 Küllstedt	R 3585600	H 5681800
21	Lenterode (Len)	4626 Heiligenstadt	R 3574950	H 5689350
22	Züschel (Züs)	4821 Fritzlar	R 3515370	H 5669680
23	Volkmarsen (Vol)	4620 Arolsen	R 3509400	H 5695470
24	Liebenau (Lie)	4521 Liebenau	R 3518700	H 5706625
25	Hardeggen (Har)	4325 Nörten-Hardenberg	R 3558000	H 5725250
26	Deuna (Deu)	4628 Niederorschel	R 4395000	H 5691150
27	Arnstadt (Arn)	5131 Arnstadt	R 4423500	H 5632200
28	Jena (Je)	5035 Jena	R 4473280	H 5644800
29	Stuednitz (St)	4936 Camburg	R 4478750	H 5653100
30	Bad Kösen (Kö)	4836 Naumburg	R 4479500	H 5665500
31	Freyburg (Fb)	4736 Freyburg	R 4481300	H 5675650
32	Mücheln (Mü)+	4636 Mücheln	R 4477755	H 5685578
33	Karsdorf (Kas)	4735 Nebra	R 4476750	H 5681750
34	Schafau (Sc)	4734 Wiehe	R 4459000	H 5674000
35	Sachsenburg (Sa)	4632 Frankenhausen	R 4441375	H 5685225
36	Querfurt (Qu)	4635 Querfurt	R 4470500	H 5693700
37	Ermsleben (Erm)	4233 Ballenstedt	R 4453000	H 5733450
38	Gernrode (Ger)	4232 Quedlinburg	R 4440550	H 5733575
39	Michaelstein (Mi)	4131 Derenburg	R 4426100	H 5741750
40	Schwanebeck (Sb)	4032 Schwanebeck	R 4435500	H 5760200
41	Hecklingen (He)	4135 Staßfurt	R 4466000	H 5747650
42	Nienburg (Nb)	4136 Nienburg a.d.S.	R 4482850	H 5746750
43	Bernburg (Ber)	4136 Nienburg a.d.S.	R 4481750	H 5741850

+ Kernbohrung Projekt „Deutsche Einheit“, Deutsche Bahn AG

### 3.2. Anschliffe, Folienabzüge, Dünnschliffe

Die gereinigten Gesteinsproben wurden zunächst gesägt und angeschliffen. Die weitere Bearbeitung beginnt mit dem Anfertigen von Acetatfolienabzügen. Hierzu wird die anpolierte Schnittfläche mit verdünnter Salzsäure (3 %) angeätzt, mit Wasser abgespült und anschließend getrocknet. Die angeätzte Schnittfläche kann dann mit Aceton benetzt und von der Acetatfolie abge-

deckt werden. Für mikroskopische Untersuchungen wird die abgezogene Folie eingeklebt und gerahmt.

Anhand der polierten Anschliffe und Acetatfolienabzüge wurden schließlich weitere Proben zur Herstellung von Dünnschliffen ausgewählt, deren mikrofazielle Bearbeitung eine Klassifizierung der einzelnen Faziestypen ermöglichte (Kap. 5).

## 4. Sedimentologie

Bei der feinstratigraphischen Profilaufnahme wurden im Aufschluß unterschiedliche Lithofaziestypen und Sedimentstrukturen angesprochen, welche im folgenden beschrieben werden. Die mikrofazielle Analyse und Klassifizierung der einzelnen Mikrofaziestypen erfolgt getrennt in Kapitel 5.

### 4.1. Lithofaziestypen

#### 4.1.1. Wellenkalke

Flaserige bis dünnplattige, oft intensiv bioturbate Mudstones des flachen Subtidals (ZWENGER 1988, LUKAS 1989) werden im Unteren Muschelkalk als Wellenkalke bezeichnet. Sie bilden in den untersuchten Profilerien

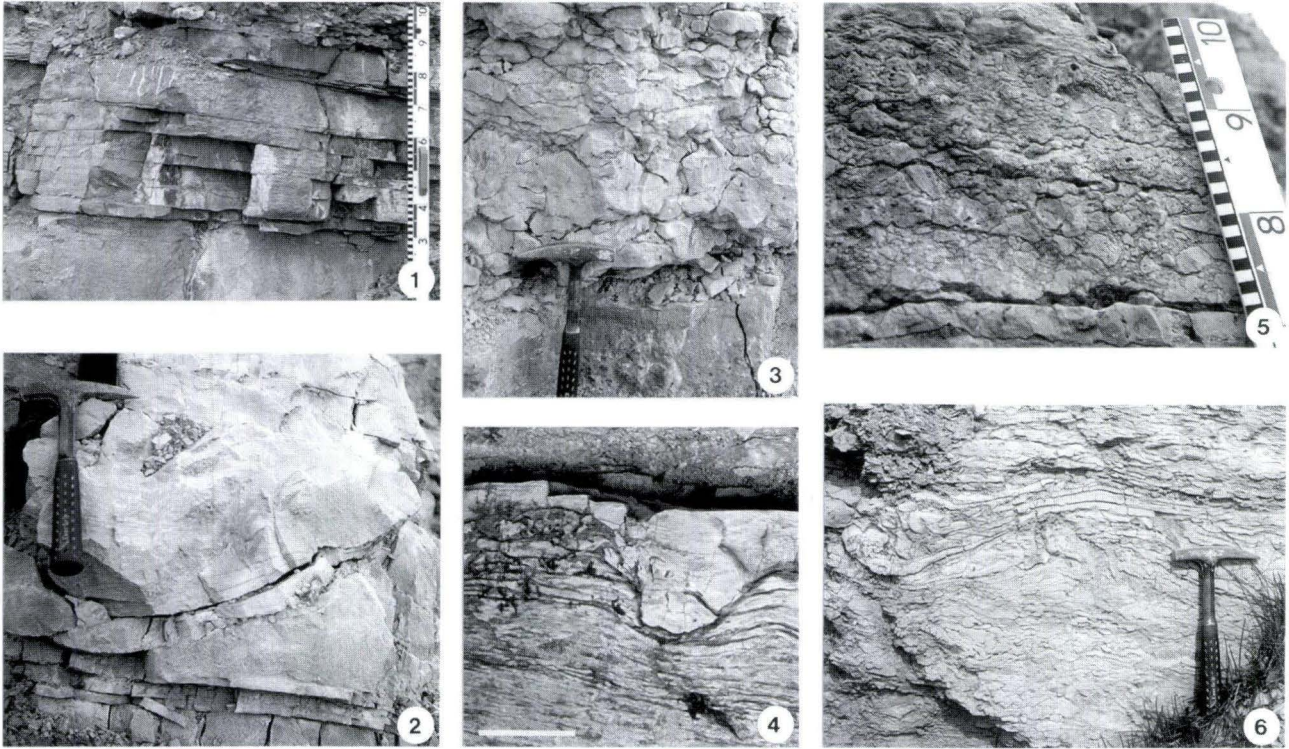


Abb. 4. Lithofazies und Sedimentstrukturen.

Fig. 1. Plattenkalk im Liegenden der Oolithbank β1; Frickenhausen.

Fig. 2. Load cast, Oolithbank α; Ermsleben.

Fig. 3. Hartgrundknauerkalk, Oolithbank α; Rohr.

Fig. 4. Load cast im Liegenden der Oolithbank β1, Maßstab 10 cm; Arnstadt.

Fig. 5. Debris flow im Hangenden der Oolithbank β1; Arnstadt.

Fig. 6. Slump im Hangenden der Oolithbank α; Querfurt.

das sog. Zwischenmittel der Oolithbänke. Die Ichnofauna wird von Wühl-, Freß- und Spreitenbauten der *Cruziana*-Assoziation (SEILACHER 1964) dominiert. *Rhizocorallium irregulare* MAYER, *Rh. jenense* ZENKER sowie Bauten von *Pholeus* sp. und *thalassinoiden* Crustaceen sind sehr häufig, Steinkerne von Muscheln und Kleingastropoden seltener. Foraminiferen und Holothuriensklerite zählen zu den häufigsten Mikrofossilien.

Die wellige Textur wurde von SCHWARZ (1970) als Linsen- und Flaserschichtung tidaler Rhythmiten gedeutet. LUKAS (1989) jedoch zeigt, daß die Wellenkalkflaser nicht primär entstanden, sondern diagenetisch bedingt sind. Durch Drucklösung entstandene solution seams und die oft starke Bioturbation verursachen die charakteristische Flasertextur (Abb. 5, Fig. 1).

Den Wellenkalken sind vereinzelt detritische Schillbänke eingeschaltet, welche als Tempestite gedeutet werden (AIGNER 1979, 1982). Durch episodische Stürme wurden epi- und endobenthonische Organismen mit dem Sediment aufgewühlt und anschließend resedimentiert. Muschelschalen sind meist gewölbt-oben eingeregelt, Gastropodenschill und Pelloide hingegen unsortiert.

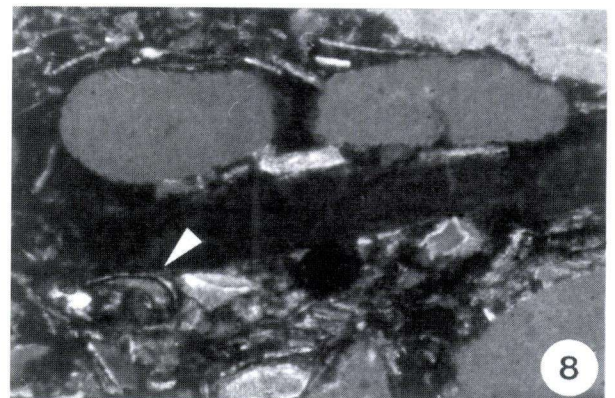
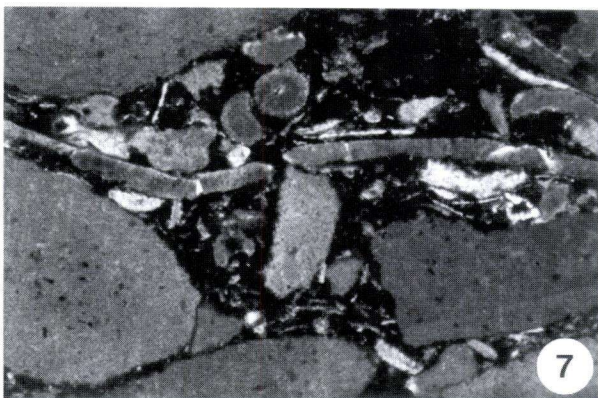
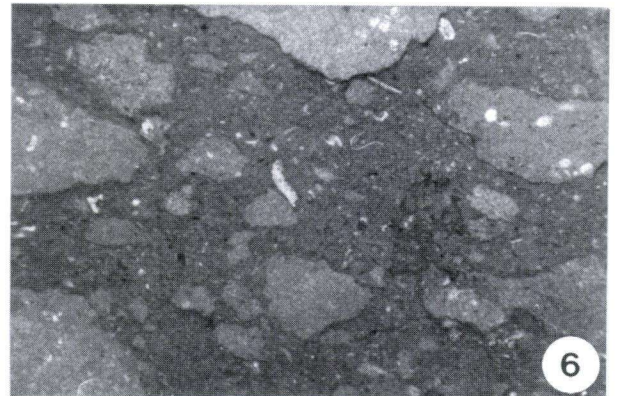
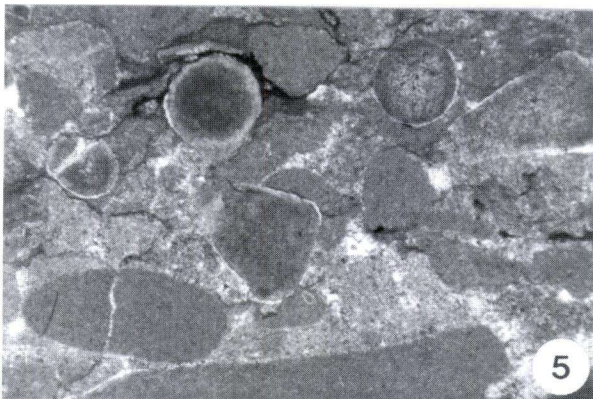
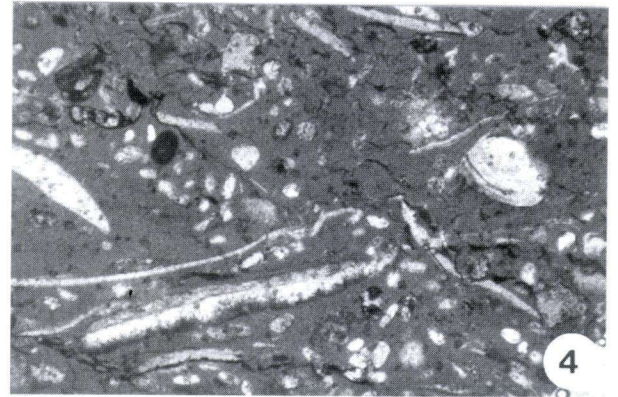
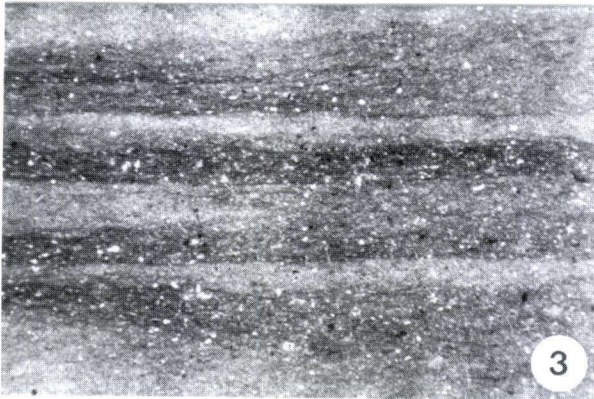
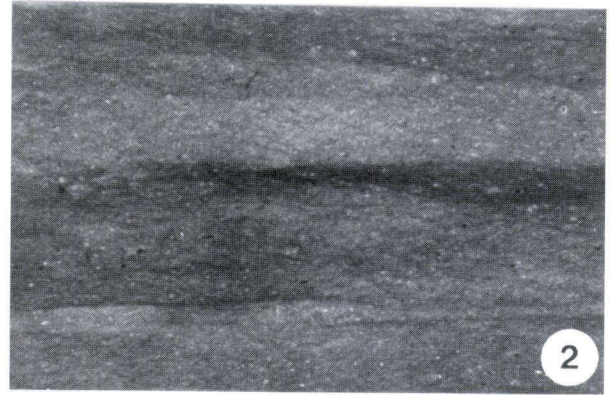
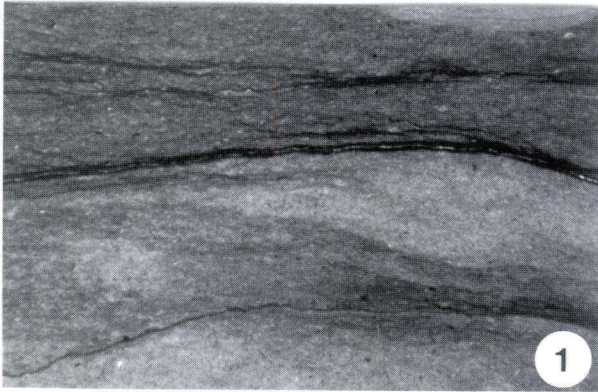
#### 4.1.2. Plattenkalke

Im südlichen Arbeitsgebiet bilden dünnplattige Mudstones das Liegende der Oolithbänke. Diese Gesteine zeigen eine laminierte Feinschichtung (Abb. 5, Fig. 2), welche durch eine Kalk-Mergel-Wechselagerung hervorgerufen wird. Der Anteil an detritischem Ton in diesen Mudstones kann bis zu 5% betragen (ZWENGER 1988). Die flaserige Wellenkalktextur sowie Ichnofossilien fehlen. Foraminiferen sind z.T. sehr häufig.

Mikritische Kalkschlämme mit charakteristischer Feinschichtung sedimentierten in einem ruhigen Ablagerungsmilieu. Solche Plattenkalke werden als subtidale Mudstones interpretiert (ZWENGER 1988), sie treten oft zusammen mit Hartgründen oder Knauerkalken auf.

#### 4.1.3. Gelbkalke

In den nördlichen Profilerien sind die plattigen Kalke im Liegenden der Oolithbank β1 z.T. intensiv gelbfärbt. Diese Mudstones sind frühdiagenetisch gebildete Dolomite, welche durch vadose Wässer rezent bis subrezent dedolomitisiert wurden. Die primär grauen Gesteine





ne erhalten durch Freisetzung von  $Fe^{2+}$  aus dem Dolomit und nachfolgende Oxidation sekundär ihre charakteristische Gelbfärbung (SCHÜLLER 1967, PAUL & FRANKE 1977, LUKAS & WENZEL 1988, ASSARURI & LANGBEIN 1990). Der primäre Dolomitgehalt liegt zwischen 30 und 40 % (LUKAS & WENZEL 1988). Die horizontale Feinschichtung beruht auf lagenweisen, siliziklastischen Einschaltungen von Glimmer und Quarz (Abb. 5, Fig. 3). Makro- und Mikrofossilien fehlen.

Dieser markante Gelbkalkhorizont erreicht im Subherzyn maximale Mächtigkeiten. Nach Süden werden die Gelbkalke geringmächtiger und bereits in der Kuppenrhön (Osthessen) sind blaßgraue, mergelige Plattenkalke anzutreffen, die weiter südlich im Fränkischen als typische Plattenkalke (vgl. Kap. 4.1.2.) ausgebildet sind.

Dolomitische Mudstones werden als Sedimente des hohen Intertidals bis Supratidals interpretiert (LUKAS & WENZEL 1988, TUCKER 1990). Frühdiagenetische Dolomitierung ist charakteristisch für das hohe Intertidal und Supratidal arider Gebiete (KENDALL & SKIPWITH 1969, SHINN et al. 1969, MCKENZIE 1981, PATTERSON & KINSMAN 1982, TUCKER 1990). Die lagenweise Anreicherung von terrigenen Siliziklastika ist rezent im Supratidal der Bahamas und auf den flachen Küstenebenen des Persischen Golfs zu beobachten (HARDIE & GINSBURG 1977, SHINN 1983).

Das Fehlen von Makro- und Mikrofossilien kann auf erhöhte Salinität zurückgeführt werden. Die Palynomorphen beschränken sich auf vom Festland eingewehte bzw. von Küstenebenen eingetragene Pollen und Sporen, marines Plankton fehlt (Götz 1995).

#### 4.1.4. Hartgründe

Im Liegenden von Intraklastbänken sind häufig angebohrte Mudstones, sog. Hartgründe, entwickelt. Senkrecht zur Schichtung verlaufende Bohrgänge mit einem Durchmesser von 1 mm zählen zur Ichnospezies *Trypanites weisei* MÄGDEFRAU. Gebogen verlaufende Gänge mit Durchmessern bis 5 mm werden dem Ichnogenus *Balanoglossites* (MÄGDEFRAU 1932) zugeordnet. Die Gänge

sind oft erosiv erweitert und ausgekolkt, größere Hohlräume mit biogenem Detritus gefüllt. Zu den Hartgrundbesiedlern zählen neben bohrenden Organismen Crinoiden und sessile Muscheln.

Hartgründe belegen Omissionsphasen (PURSER 1969), durch eine verstärkte Wasserzirkulation wurde eine rasche Zementation der obersten Sedimentschichten begünstigt. Die frühdiagenetische Lithifizierung kann sehr schnell erfolgen. SHINN (1969) gibt für Hartgründe im Persischen Golf  $^{14}C$ -Alter von durchschnittlich 2200 Jahren an.

In den südlichen Profilen treten mächtigere Abfolgen von Fest- und Hartgründen auf. Die knauerige Textur dieser Gesteine ist vermutlich wie die Flasertextur der Wellenkalke diagenetisch bedingt (ZWENGER 1987). Solche Mudstones werden als Knauerkalke (Abb. 4, Fig. 3) bezeichnet. Sie belegen den Wechsel von Omission und Sedimentation: Frühe Zementationsphasen wurden durch periodisch einsetzende Sedimentation wiederholt unterbrochen. Das Fehlen von Anbohrungen ist typisch für Festgründe.

#### 4.1.5. Intraklastbänke

Die Hauptkomponenten der Intraklastbänke, welche bereits makroskopisch angesprochen werden können, sind dunkelgraue, flach-scheibenförmige bis zugerundete, z.T. angebohrte Lithoklasten, Muschel- und Gastropodenschill sowie Crinoidenstielglieder.

Intraklastbänke werden als sturminduzierte Resedimente interpretiert. Die angebohrten Intraklasten (Abb. 6, Fig. 8) stammen direkt aus dem Liegenden, es handelt sich um aufgearbeitete und resedimentierte Hartgründe. Im südlichen Arbeitsgebiet wurden die Hartgründe von Crinoiden-Kolonien besiedelt, welche durch episodische Sturmereignisse zerstört wurden. Bei nachlassender Hydroenergie sedimentierten die Crinoiden und Hartgrundfragmente zusammen mit aufgearbeitetem Karbonatsand bzw. -schlamm.



#### Abb. 5. Mikrofaziestypen.

**Fig. 1.** Wellenkalk mit Flasertextur. Probe Pop 94.8.VI., Dünnschliff.

**Fig. 2.** Plattenkalk mit laminiertes Feinschichtung. Probe Kar 92.6.IV., Dünnschliff.

**Fig. 3.** Gelbkalk mit lagenweisen, siliziklastischen Einschaltungen. Probe Hör 92.8.IV., Dünnschliff.

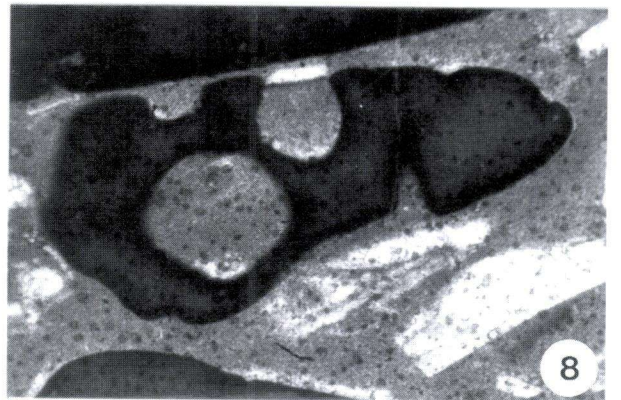
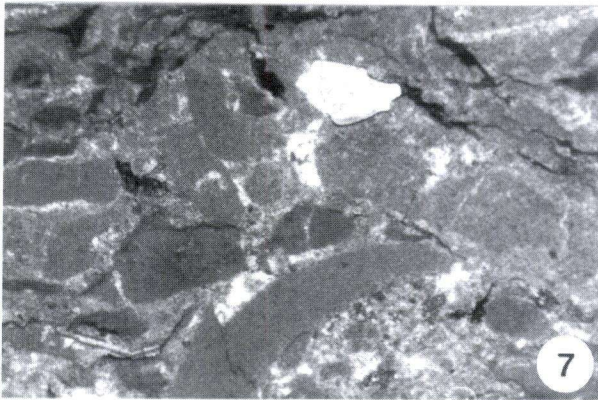
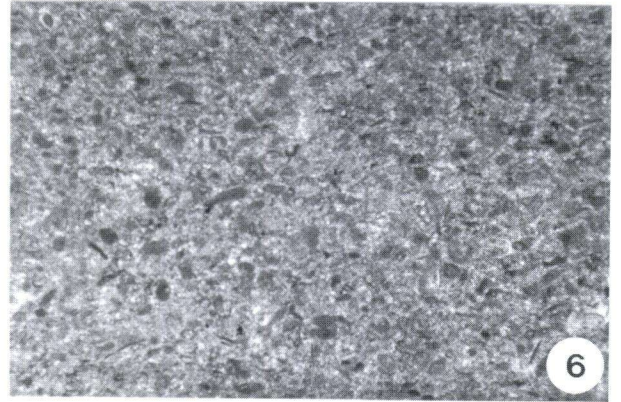
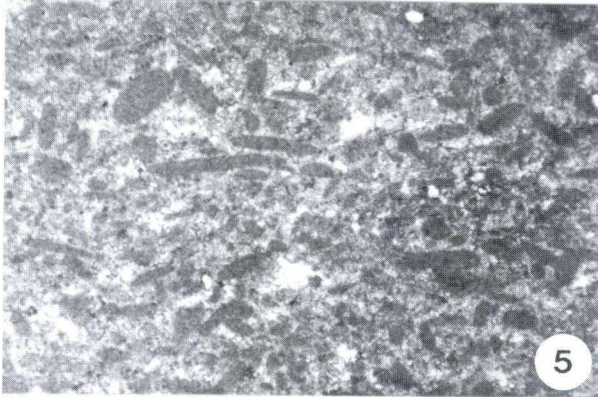
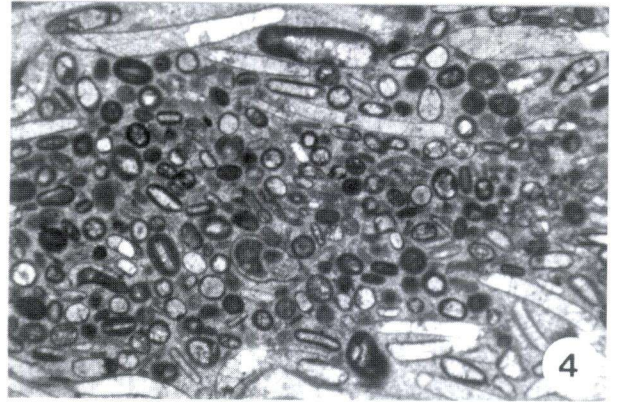
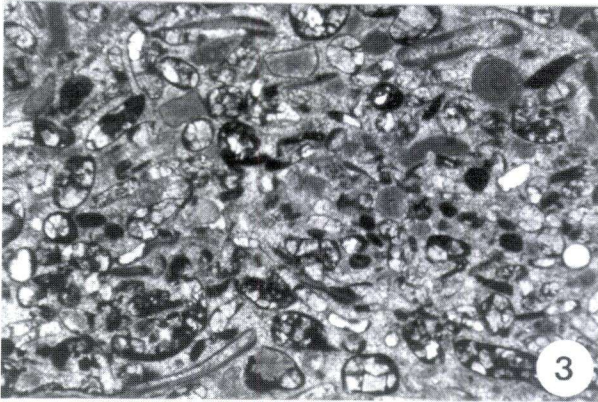
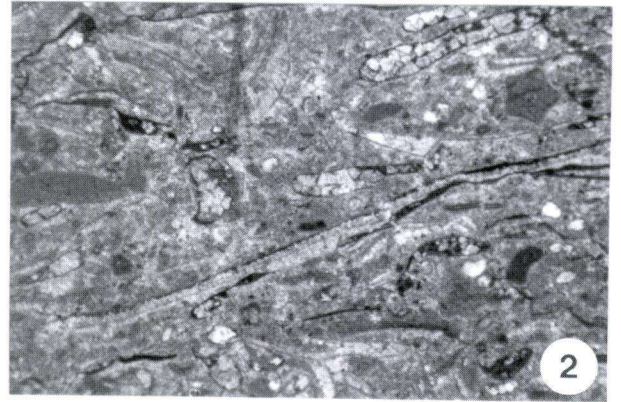
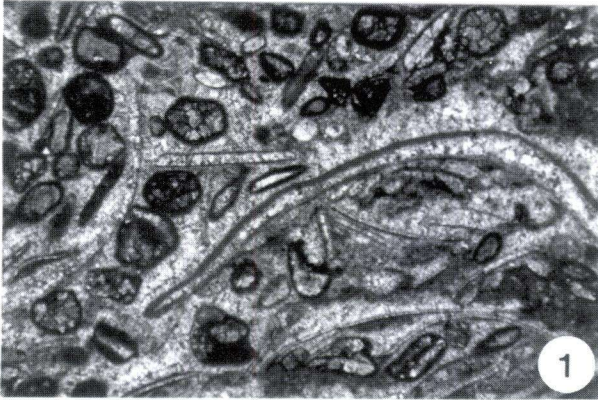
**Fig. 4.** Bioklasten-Peloid-Wackestone. Probe Pop 94.8.I. (muWO $\alpha$ ), Dünnschliff.

**Fig. 5.** Crinoiden-Wacke-/Packstone. Probe Eh 92.9.I. (muWO $\alpha$ ), Dünnschliff.

**Fig. 6.** Intraklasten-Pack-/Floatstone. Probe Lf 93.5.I. (muWO $\alpha$ ), Dünnschliff.

**Fig. 7.** Bioklasten-Float-/Rudstone. Probe Wer 93.4.VI. (muWO $\alpha$ ), Dünnschliff.

**Fig. 8.** Bioklasten-Float-/Rudstone mit Conodontenfragment (Pfeil). Probe Wer 93.4.V. (muWO $\alpha$ ), Dünnschliff.



## 4.2. Sedimentstrukturen

### 4.2.1. Slumps

Subaquatische Rutschungsgefüge, sog. slumps, sind im Unteren Muschelkalk weit verbreitet (SCHWARZ 1975; SZULC 1991, 1993). Es handelt sich um gefälte bis stark zerscherte Wellenkalkhorizonte (Abb. 4, Fig. 6), welche teilweise zusammen mit debris flows (Kap. 4.2.2.) auftreten.

Slumping-Horizonte lassen sich regional über einige 10er Kilometer verfolgen, ihre stratigraphische Bedeutung innerhalb des germanischen Beckens blieb bisher jedoch weitgehend unbeachtet. So sind z.B. slumps im Hangenden der Oolithbank  $\beta 2$  in den fränkischen und südthüringischen Profilen (loc. 4-6, vgl. Abb. 3, Tab. 2) korrelierbar.

Aus dem Muschelkalk Oberschlesiens beschreibt SZULC (1993) synsedimentäre Fließdeformationen, welche zusammen mit turbiditischen Kalkareniten auftreten. Er interpretiert slumps als erdbebeninduzierte Seismite, die zusammen mit debris flows als event-marker regional korrelierbar sind.

### 4.2.2. Debris flows

Mudstones mit z.T. wellenkalkähnlicher Textur, welche schlecht zugerundete und unsortierte, dunkelgraue Kalkschlammgerölle enthalten, werden als debris flows interpretiert (Abb. 4, Fig. 5). In der älteren Literatur wur-

den diese Gesteine als konglomeratische Wellenkalle bezeichnet (FREYBERG 1922). Die Basis von debris flows ist immer scharf und greift meist erosiv in das Liegende ein. Die Kalkschlammgerölle sind an der Basis dichter gepackt als am Top.

Ähnlich wie slumps besitzen auch debris flows im Unteren Muschelkalk zumindest regional stratigraphische Bedeutung. So sind z.B. in den osthessischen Profilerien debris flows im Hangenden der Oolithbank  $\beta 1$  von Fulda nach NE bis westlich der Werra (loc. 11-13, vgl. Abb. 3, Tab. 2) zu verfolgen. Als subaquatische Massenbewegungen (mass flows) können sie ebenfalls auf seismische Ursachen zurückgeführt werden (SZULC 1993).

### 4.2.3. Load casts

Zu den Belastungsgefügen (load structures) zählen die sog. load casts. Diese synsedimentären Deformationsgefüge sind durch das Einsinken von bereits verfestigten Sedimentpartien in ein noch nicht lithifiziertes Material (z.B. Kalkschlamm) entstanden (SCHWARZ 1970, 1975).

In den hessisch-thüringischen Profilerien treten linsenförmige Schillkörper auf, welche an der Basis von Intraklastbänken in die liegenden Wellenkalle eingesackt sind (Abb. 4, Fig. 4). Bankinterne load cast-Gefüge sind seltener, sie konnten nur in der Unteren Oolithbank der Profile Hünfeld und Ermsleben (Abb. 4, Fig. 2) nachgewiesen werden.

## 5. Mikrofazies

Die Faziesanalyse der untersuchten Lithotypen ermöglichte eine Klassifizierung der Mikrofaziestypen nach DUNHAM (1962). Folienabzüge und Dünnschliffe bildeten die Grundlage mikrofazielier Untersuchungen, die zusammen mit den Geländebefunden zur Interpretation der verschiedenen Faziestypen führten. Die laterale Faziesverteilung und das daraus abgeleitete Sedimentationsmodell werden in Kapitel 6 diskutiert.

### 5.1. Mikrofaziestypen

#### 5.1.1. Mudstones

Lithifizierte Karbonatschlämme, welche keine oder nur sehr wenige Komponenten aufweisen, werden als Mudstones bezeichnet. Hierzu zählen die oft intensiv bioturbaten Wellenkalle, feingschichtete Plattenkal-

Abb. 6. Mikrofaziestypen.

- Fig. 1. Bioklasten-Grainstone. Probe Wu 92.2.II, a. (muWO $\beta$ 1), Dünnschliff.
- Fig. 2. Bioklasten-Grainstone. Probe Fb 93.6.II, a. (muWO $\beta$ 1), Dünnschliff.
- Fig. 3. Bioklasten-Grainstone. Probe Hör 92.8.I. (muWO $\alpha$ ), Dünnschliff.
- Fig. 4. Bioklasten-Ooid-Grainstone. Probe Gb 93.5.II, a. (muWO $\beta$ 1), Dünnschliff.
- Fig. 5. Peloid-Grainstone, Sortierung mäßig. Probe Züs 93.7.II, a. (muWO $\beta$ 1), Dünnschliff.
- Fig. 6. Peloid-Grainstone, Sortierung gut. Probe Mi 93.8.I. (muWO $\alpha$ ), Dünnschliff.
- Fig. 7. Bioklasten-Grainstone. Probe Pop 94.8.II, a. (muWO $\beta$ 1), Dünnschliff.
- Fig. 8. Angebohrter Lithoklast. Probe St 92.7.II, a. (muWO $\beta$ 1), Dünnschliff.

ke, mikritische Kalkbänke und die sog. Gelbkalke, welche als dolomitische Mudstones interpretiert werden (vgl. Kap. 4.1.3.).

Bioturbate Mudstones besitzen eine deutliche Flaserstruktur (Abb. 5, Fig. 1). Tonige Drucklösungssäume (solution seams) bilden zahlreiche undulierende, schichtparallele Mikrostylolithen (WANLESS 1979), welche lateral in schwach suturierte Vertikal-Stylolithen übergehen können (vgl. LUKAS 1989, 1992). Die Amplituden liegen bei maximal 4 mm.

Mudstones mit intensivem Bioturbationsgefüge gleichen den von GARRISON & KENNEDY (1977) und WANLESS (1979) beschriebenen nodular limestones. Einzelne Bauten sind mit Peloiden verfüllt, welche z.T. als fecal pellets (Koprolithen) interpretiert werden können (vgl. Kap. 5.1.2.). Die Ichnofossilien der *Cruziana*-Assoziation (vgl. Kap. 4.1.1.) weisen auf einen intertidalen bis flach subtidalen Sedimentationsraum der Wellenkalke hin (EKDALE et al. 1984, ZWENGER 1986).

Dünnpaltige bis bankige Mudstones sind meist sehr reich an Mikrofossilien, Muschel- und Gastropodenschill ist hingegen seltener. Hoher Matrixgehalt und nur wenige bzw. fehlende resedimentierte Komponenten belegen ein ruhiges, niedrigerenergetisches Ablagerungsmilieu. Mikritische Kalkbänke und feingeschichtete Plattenkalke (Abb. 4, Fig. 1) werden als Sedimente des flachen Subtidals interpretiert (ZWENGER 1988, LUKAS 1991).

Dolomitische Mudstones (Kap. 4.1.3.) des flachen Inter- bis Supratidals zeigen eine horizontale Feinschichtung, hervorgerufen durch die lagenweise Anreicherung terrigener Siliziklastika (Abb. 5, Fig. 3). Mikro- und Makrofossilien fehlen.

### 5.1.2. Bioklasten-Peloid-Wackestones

Die Hauptkomponenten der Bioklasten-Peloid-Wackestones sind Schalenreste und Bruchschill von Aragonitschalern sowie zahlreiche mäßig sortierte Peloiden (Abb. 5, Fig. 4). Wackestones führen eine reiche Mikrofauna. Foraminiferen, Holothuriensklerite, Conodonten und Wirbeltierreste sind sehr häufig (Götz 1995).

Die Peloiden können z.T. als fecal pellets angesprochen werden. Im Vergleich mit der mikritischen Matrix besitzen sie eine dunklere Färbung, nicht selten sind diese Peloiden in Pyrit oder Phosphorit umgewandelt. Die Erzeuger der Koprolithen sind Gastropoden, Muscheln, marine Polychaeten, Holothurien, Echinodermen und Crustaceen. Rezent sind Kotpillen ein dominierender Bestandteil von subtidalen und flach intertidalen Küstenbereichen, wo sie bevorzugt in niedrigerenergetischen Zonen auftreten. Eine rasche Zementation erfolgt insbesondere in  $\text{CaCO}_3$ -übersättigten, niedrigerenergetischen Flachwasserbereichen (FLÜGEL 1982).

Die meisten Peloiden entstanden jedoch aus gerundetem Schill, sie sind oft nur randlich mikritisiert und innen mikroparitätisch oder aber vollständig mikritisiert (Bahamit-Peloiden, vgl. FLÜGEL 1982).

Bioklasten-Peloid-Wackestones treten im südlichen Arbeitsgebiet meist zusammen mit dünnplattigen bis bankigen Mudstones auf. Der hohe Matrixgehalt dieser Gesteine weist auf ruhigere Sedimentationsbedingungen hin. Gerundeter Schilldetritus wurde episodisch aus einem höherenergetischen Ablagerungsmilieu eingeschwemmt.

### 5.1.3. Crinoiden-Wacke-/Packstones

Bankige Crinoiden-Wacke-/Packstones enthalten überwiegend Trochiten und dunkelgraue, z.T. angebohrte Lithoklasten (Abb. 5, Fig. 5). Schalen und Bruchschill von Muscheln und Gastropoden sind seltener, zu den Mikrofossilien zählen Foraminiferen, Holothuriensklerite, Wirbeltierreste und Conodonten (Götz 1995).

Diese matrixreichen Gesteine treten in den südlichen Profilen meist zusammen mit Hartgründen auf, welche lateral auskeilen können. Sie enthalten Hartgrundgerölle und zahlreiche Bioklasten, die teilweise bereits makroskopisch zu erkennen sind.

Hartgrundgerölle, Bioklasten und hoher Matrixgehalt der Gesteine weisen auf nur episodische Umlagerung hin. Durch Sturmereignisse wurden Crinoiden-Kolonien zerstört, die Hartgründe erodiert und anschließend mit aufgearbeitetem Karbonatschlamm resedimentiert.

### 5.1.4. Intraklasten-Pack-/Floatstones

Zahlreiche Lithoklasten bilden die Hauptkomponenten der Intraklasten-Pack-/Floatstones Unterfrankens (Abb. 5, Fig. 6), Bruchschill ist z.T. häufig. Die Lithoklasten sind meist nur wenig gerundet und schlecht sortiert, sie „schwimmen“ in einer Kalkschlamm-Matrix. Im Unterschied zu den Hartgrundgeröllen der Crinoiden-Wacke-/Packstones (Kap. 5.1.3.) fehlen Anbohrungen.

Karbonatschlämme sedimentierten in einem niedrigerenergetischen Ablagerungsmilieu. Das Alternieren von Omission und Sedimentation führt zur Bildung von Festgründen (vgl. ZWENGER 1988). Zementationsphasen wurden jedoch durch periodisch einsetzende Sedimentation immer wieder unterbrochen, Hartgründe mit charakteristischen Anbohrungen fehlen daher. Durch episodische Sturmereignisse wurden diese lithifizierten Festgründe mit aufgearbeitetem Kalkschlamm resedimentiert.

### 5.1.5. Bioklasten-Grainstones

Bioklasten-Grainstones sind im hessisch-thüringischen Untersuchungsgebiet und in Sachsen-Anhalt weit verbreitet. Sie enthalten überwiegend Muschel- und Gastropodenschill, Crinoidenstielglieder und Echinodermenstacheln sowie Intraklasten, coated grains und einzelne Peloide (Abb. 6, Fig. 1–3, 7). Foraminiferen sind die häufigsten Mikrofossilien (Abb. 6, Fig. 3). Die Sortierung der Komponenten ist im allgemeinen mäßig bis schlecht, gut sortierte, reine Detritusbänke sind selten. Schalen sind meist zerbrochen und randlich oder manchmal vollständig mikritisiert, wobei der äußere Rand der Mikritrinden (micrite envelopes) den ursprünglichen Schalenrand nachzeichnet (Abb. 6, Fig. 1). Frühe Mikritisierung von unterschiedlich gerundeten Biogenfragmenten kann auf die bohrende Tätigkeit von Pilzen, Algen oder Mikroorganismen zurückgeführt werden (BATHURST 1966, FRIEDMAN et al. 1971).

Bioklastische Karbonatsande wurden in höherenergetischen Flachwasserbereichen gebildet. Das Fehlen einer Kalkschlamm-Matrix, zahlreiche Intraklasten und Bruchschill belegen hochenergetische Bedingungen. Bioklastensande können als häufig umgelagerte Sandflächen des flachen Intertidals, vergleichbar dem *lamelibranch sand* des Persischen Golfs (WAGNER & VAN DER TOGT 1973), interpretiert werden. SWINCHATT (1969) postuliert für die Mikritisierung karbonatischer Bioklasten durch bohrende Mikroorganismen Wassertiefen von weniger als 15–20 m.

### 5.1.6. Bioklasten-Ooid-Grainstones

Bioklasten-Ooid-Grainstones sind auf die Obere Oolithbank NW-Thüringens und Sachsen-Anhalts, in den Profilen westlich der Saale, beschränkt. Muschel- und Gastropodenschill, Peloiden, coated grains und Ooide bilden die Hauptkomponenten dieser Gesteine (Abb. 6, Fig. 4). Foraminiferen sind auch in diesen Grainstones die häufigsten Mikrofossilien. Die Sortierung der Komponenten ist mäßig bis gut. Bruchschill und Schalenreste sind randlich, z.T. auch vollständig mikritisiert. Die Peloiden entstanden durch fortschreitende Mikritisierung gerundeter Bioklasten, welche verschiedene Stadien der Mikritisierung und Zurundung aufweisen (Abb. 6, Fig. 4).

Ooide sind seltener, sie erreichen Durchmesser von 450 µm und sind z.T. randlich mikritisiert. Die Kerne der Ooide sind in der Regel aufgelöst, der Hohlraum ist spärlich zementiert.

Bioklastische Karbonatsande werden als häufig umgelagerte Sandflächen des flachen Intertidals interpretiert (vgl. Kap. 5.1.5.). Ooide entstehen im hochenergeti-

schen Bewegtwasserbereich, möglicherweise sind sie von fossil nicht erhaltenen Ooid-Barren durch episodische Umlagerung eingeschwemmt worden. Rezente Bioklasten-Ooid-Sande des Persischen Golfs sind auf Wassertiefen von 2–5 m beschränkt (LOREAU & PURSER 1973).

### 5.1.7. Peloid-Grainstones

Die bankigen Peloid-Grainstones im nördlichen Arbeitsgebiet enthalten neben zahlreichen mäßig sortierten Peloiden mit Durchmessern von 100–800 µm einzelne gerundete Bioklasten (Abb. 6, Fig. 5, 6), größere Schalenbruchstücke sind selten. Mikrofossilien beschränken sich auf einzelne Foraminiferen bzw. fehlen vollkommen.

Bei den Peloiden handelt es sich um vollständig mikritisierte Biogenfragmente, sog. Bahamit-Peloiden (vgl. BATHURST 1975). Zurundung und Größe schwanken z.T. sehr stark, Übergänge zu fast vollständig mikritisierten Schalenfragmenten kommen vor. Fecal pellets (Koprolithen) lassen sich in den Karbonatsanden nicht nachweisen.

Rezente Peloid-Sande des Persischen Golfs charakterisieren höhersalinare Milieus in flachstem Wasser (WAGNER & VAN DER TOGT 1973). Die untersuchten Peloid-Grainstones werden aufgrund der fehlenden Kalkschlamm-Matrix und eingeschränkter Mikro- und Makrofauna als höherenergetische Sedimente eines lagunären Ablagerungsmilieus interpretiert.

### 5.1.8. Bioklasten-Float-/Rudstones

Bioklasten-Float-/Rudstones enthalten überwiegend Muschel- und Gastropodenschill, Crinoidenstielglieder, Echinodermenstacheln und zahlreiche Intraklasten. Peloiden sind selten (Abb. 5, Fig. 7, 8). Die Sortierung der Komponenten ist meist schlecht, gut gerundeter Schalendetritus selten. Die Lithoklasten besitzen häufig eine flach-scheibenförmige Gestalt, die meisten sind jedoch nur wenig zugerundet. Der Anteil an mikritischer Matrix wechselt, oft ist eine eindeutige Einteilung in Float- oder Rudstone mit matrix- bzw. komponentengestütztem Gefüge nicht möglich.

Wechselnder Matrixgehalt, zahlreiche Lithoklasten und Bruchschill weisen auf episodisch höherenergetische Sedimentationsbedingungen hin. Die Bioklasten-Float-/Rudstones Unterfrankens entstanden im hohen Subtidal bis flachen Intertidal. Mikritische Lithoklasten lassen eine Aufarbeitung von Kalkschlamm erkennen. Crinoidenstielglieder stammen von Crinoiden-Kolonien des hohen Subtidals, sie wurden durch episodische Sturmereignisse umgelagert.

## 6. Faziesmodell

Während des tieferen Unteren Muschelkalks (muW1) sedimentierten im westlichen germanischen Becken vorwiegend Karbonatschlämme (Wellenkalke). Im höheren Anis öffnete sich zusätzlich zur Ostkarpaten Pforte die Schlesisch-Mährische Pforte in Südpolen (KOZUR 1974, SENKOWICZOWA & SZYPERKO-SLIWCZYNSKA 1975). Durch die verbesserte Wasserzirkulation und verstärkte Strömungen entstanden im Unteren Muschelkalk erstmals ausgedehnte Karbonatsandflächen. Es herrschten optimale Lebensbedingungen für karbonatsandproduzierende, stenohaline Organismen. In Brandenburg begann die Sedimentation von Karbonatsandbarren (ZWENGER 1985).

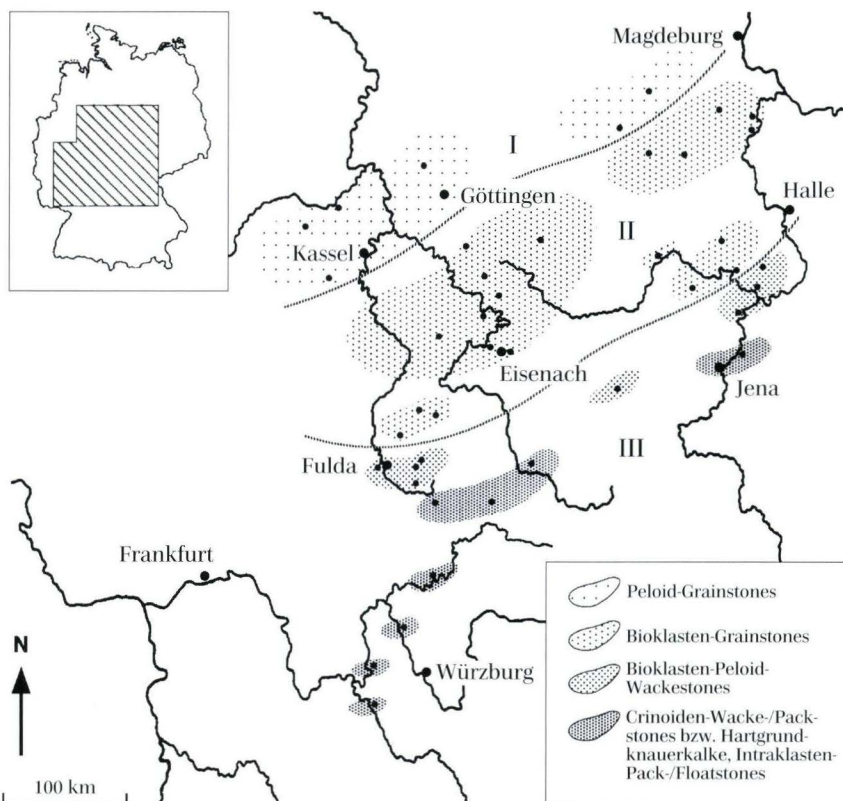
Im nordwestlichen Arbeitsgebiet bildeten lagunäre Peloid-Grainstones die Untere Oolithbank. Nach SE folgen zunächst Bioklasten-Grainstones, anschließend Bioklasten-Peloid-Wackestones und Crinoiden-Wacke-/Packstones mit Hartgründen. Im südlichen Arbeitsgebiet dominieren Hartgrundknauerkalke und Intraklasten-Pack-/Floatstones (Abb. 7). Die laterale Faziesverteilung von intertidalen Karbonatsanden bis zu bioklastischen Karbonatschlämmen des flachen Subtidals entspricht einer Zunahme der Wassertiefe von NNW nach SSE.

Auch während der Sedimentationsphase der Oberen Oolithbank war das Becken im NW flacher als im SE. Im N und W des Arbeitsgebietes bildeten dolomitische Mud-

stones, sog. Gelbkalke, das Liegende der Oolithbank  $\beta 1$ . Im Subherzyn erreichen die Gelbkalke maximale Mächtigkeiten, nach E werden sie sehr geringmächtig bzw. fehlen vollkommen. Im S sedimentierten dünnplattige Mudstones, Gelbkalke fehlen (Abb. 8).

Die Gelbkalke werden im NW von Peloid-Grainstones und Bioklasten-Ooid-Grainstones überlagert. Nach SE sind diesen intertidalen Sedimenten Bioklasten-Peloid-Wackestones des höheren Subtidals vorgelagert. Hartgründe dokumentieren periodische Omissionsphasen. In den südlichen Profilen Mainfrankens dominieren Bioklasten-Float-/Rudstones und Crinoiden-Wacke-/Packstones (Abb. 9).

Die laterale Verteilung der Faziestypen zeigt ein Vertiefen des Sedimentationsbeckens von NW nach SE. Im Supratidal und hohen Intertidal sedimentierten Karbonatschlämme, welche fröhdiagenetisch dolomitisiert wurden. Peloid-Grainstones entstanden in höherenergetischen Flachwasserbereichen mit erhöhter Salinität. Diesen lagunären Sedimenten folgen beckenwärts bioklastische Karbonatsande und einzelne Ooid-Barren, welche oberhalb der Wellenbasis ständig umgelagert und aufgearbeitet wurden. Im flachen Intertidal bzw. hohen Subtidal entstanden Bioklasten-Float-/Rudstones und Bioklasten-Peloid-Wackestones. Die Sedimente des



**Abb. 7.** Faziesverteilung der Unteren Oolithbank. Der untersuchte Sedimentationsraum gliedert sich in einen lagunären (I), intertidalen (II) und subtidalen (III) Faziesbereich.

flachen Subtidals wurden nur episodisch umgelagert. Crinoiden-Kolonien besiedelten unterhalb der Wellenbasis ausgedehnte Hartgrundareale. Durch Stürme wurden diese Kolonien zerstört, die Hartgründe erodiert und mit aufgearbeitetem Karbonatschlamm resedimentiert.

Der Sedimentationsraum lag oberhalb der Sturmwellenbasis, sowohl in den flacheren als auch den tieferen Faziesbereichen ist der Einfluß von Stürmen durch sturminduzierte, intraklastische Resedimente bzw. tempestitische Schillbänken belegt.

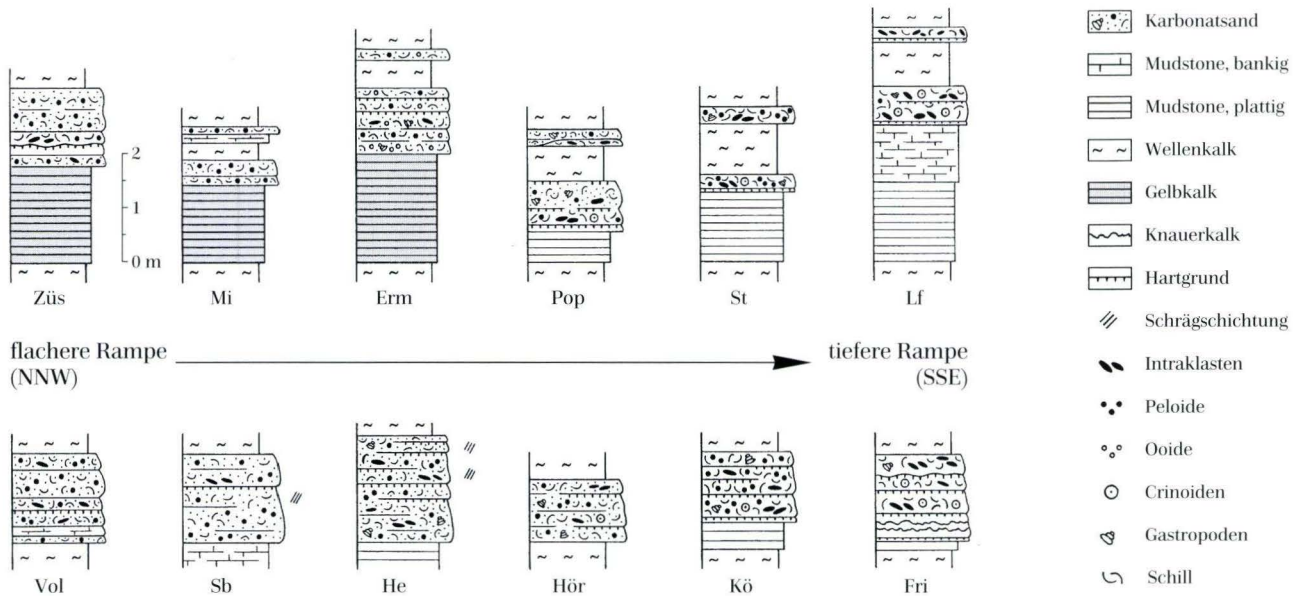


Abb. 8. Profilerie der Unteren Oolithbank (unten) und der Oberen Oolithbank (oben). Bezeichnung und Lage der dargestellten Profile siehe Abb. 3 und Tab. 2.

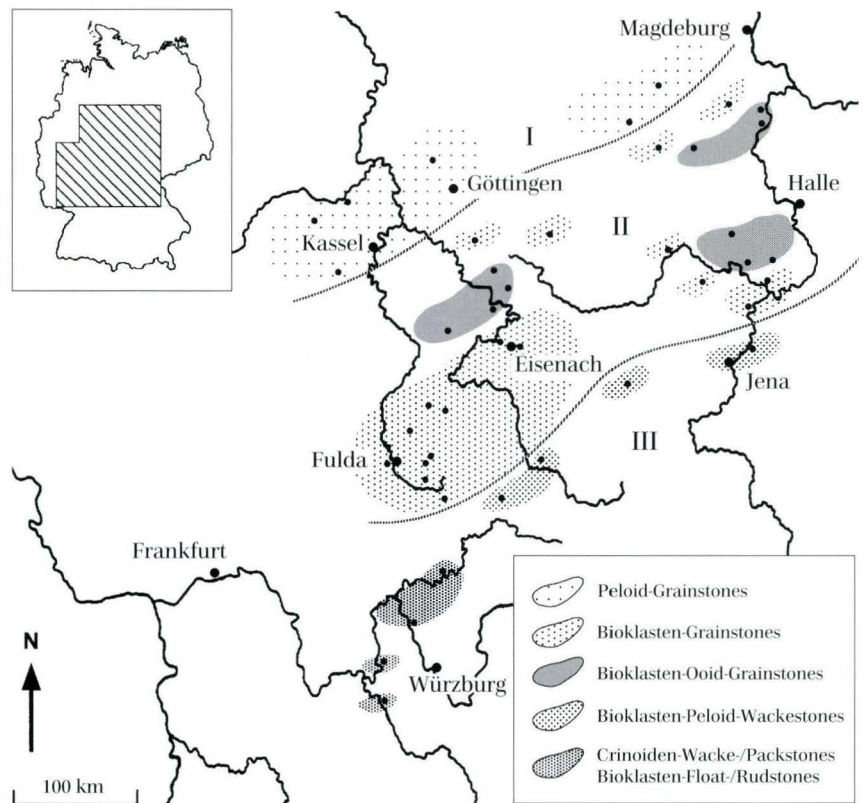


Abb. 9. Faziesverteilung der Oberen Oolithbank. In der lateralen Faziesabfolge bildet sich eine flache, SSE geneigte Karbonatrampe ab.

Vergleichbare Sedimentationsbedingungen können auf rezenten Karbonatrampen, wie z.B. der Arabian homocline des Persischen Golfs (PURSER & SEIBOLD 1973) beobachtet werden. Solche homoklinen Rampen (READ 1982, 1985) weisen ein sehr geringes Gefälle von meist weniger als 1° auf. In Abhängigkeit von Wassertiefe und -energie entstehen die unterschiedlichen Sedimenttypen, welche küstenparallele Faziesgürtel bilden (AHR 1973). Lagunären Karbonatschlamm und Peloid-Sanden sind beckenwärts Ooid- und Schillsandflächen vorgelagert. Auf der tieferen Rampe sedimentieren bioklastische Karbonatschlamm bzw. reine Karbonatschlamm (WAGNER & VAN DER TOGT 1973).

Die großräumige Ausbildung des Unteren Muschelkalks im germanischen Becken zeigt, daß die Sedimente im Arbeitsgebiet nur den peritidalen Bereich der Rampe (distal shallow ramp) abbilden. Im NW, dem Nordseeraum und den westlichen Niederlanden, entstanden auf der flachsten Rampe (proximal shallow ramp) Evaporite und dolomitische coastal-sabkha Sedimente mit charakteristischen Trockenrissen, teepee-Strukturen, Stromatolithen und Algenmatten (BRENNAND 1975, RUEGG 1981). In Polen sedimentierten auf der tiefen Rampe (deep ramp) im heutigen Oberschlesien und

Heiligkreuz-Gebirge mergelige Karbonatschlamm und matrixreiche Karbonatsande (TRAMMER 1975, KOSTECKA 1978, SZULC 1991).

Vergleichende Untersuchungen der faziellen Entwicklung von Kleinzyklenabfolgen innerhalb des Unteren Wellenkalks (KRAMM 1994) lassen die Entwicklung einer nach SSE geneigten Karbonatrampe bereits ab dem höheren Unteren Wellenkalk (muW1) erkennen. Unter eingeschränkter Wasserzirkulation sedimentierten im westlichen germanischen Becken zunächst vorwiegend Karbonatschlamm. Mit dem Öffnen der Schlesi-sch-Mährischen Pforte verbesserte sich die Wasserzirkulation durch verstärkte Strömungen, die Oolithbänke belegen eine erhöhte Karbonatsandproduktion auf der gesamten Rampe. Ab dem höheren Unteren Muschelkalk (muW2) wurde die Sedimentation im westlichen germanischen Becken von ausgedehnten Karbonatsandbarren im heutigen Brandenburg gesteuert (ZWENGER 1985; LUKAS 1989, 1991).

Zyklische Meeresspiegelschwankungen überlagerten diese hydrodynamischen Prozesse. Auf der flacheren Rampe wird die zyklische Sedimentation in transgressiv-regressiven Faziesreihen peritidaler Flachwasserkarbonate abgebildet (vgl. Kap. 7).

## 7. Zyklizität und Sequenzanalyse

Die zyklische Sedimentation im Unteren Muschelkalk wurde erstmals von FIEGE (1938) beschrieben, als Ursache diskutiert er eustatische Meeresspiegelschwankungen. In diesem zyklischen Aufbau der Schichtenfolge begründen sich die Gliederungen des Unteren Muschelkalks von SCHÜLLER (1967) und SCHULZ (1972) mittels überregional korrelierbarer transgressiv-regressiver Kleinzyklen (SCHWARZ 1977, KRAMM 1986, KLOTZ 1990, GÖTZ 1994).

Die untersuchten Profile zeigen eine kleinzyklische Abfolge von Wellenkalken, Plattenkalken und intraklastischen Resedimenten mit Hartgründen. Solche shallowing- bzw. coarsening-upward-Zyklen (JAMES 1984, WRIGHT 1984) dokumentieren eine gerichtete Faziesentwicklung peritidaler Sedimente in Abhängigkeit von Wassertiefe und -energie. Als Ursache der zyklischen Sedimentation werden auto- und allozyklische Prozesse diskutiert (STRASSER 1991). Eine autozyklische Verlagerung von Faziesräumen kann im Unteren Muschelkalk nicht nachgewiesen werden, da sich die einzelnen Faziesseinheiten innerhalb der Kleinzyklen überregional verfolgen lassen. Die Zyklizität wurde daher im wesentlichen durch allozyklische Prozesse, d.h. relative Meeresspiegelschwankungen, gesteuert.

Die Flachwasserkarbonate des Unteren Muschelkalks

entstanden auf einer sehr flachen Karbonatrampe (vgl. Kap. 6). Solche Rampensysteme reagieren bei relativ geringer Wassertiefe besonders empfindlich auf Meeresspiegelschwankungen. Ein Anstieg des relativen Meeresspiegels wurde jedoch bei nur sehr geringer Subsidenz auf der flachen Rampe durch erhöhte Sedimentation infolge verbesserter Wasserzirkulation wieder ausgeglichen (keep-up system). Es herrschten optimale Lebensbedingungen für stenohaline, karbonatsandproduzierende Organismen. Stürme akkumulierten Schill und aufgearbeiteten Kalkschlamm zu mächtigen Bänken.

Mit zunehmender Verflachung des Sedimentationsraumes setzte die Karbonatsandproduktion allmählich aus, Hartgründe dokumentieren periodische Omissionsphasen. Mit einem erneuten Meeresspiegelanstieg leitete die Kalkschlamm-„Normal“-Sedimentation den nächsten Zyklus ein.

Mikrofazielle Untersuchungen ermöglichen eine Unterscheidung zwischen Bioklasten-Grainstone-Zyklen und Crinoiden-Wacke-/Packstone-Zyklen. Innerhalb dieser Kleinzyklen können weiterhin jeweils 3 Faziesseinheiten (Abb. 10) unterschieden werden: Bioturbate Wellenkalk (Faziesseinheit A), Platten- bzw. Gelbkalk (Faziesseinheit B) und Grainstones bzw. Wacke- und Packstones (Faziesseinheit C).



Trotz lateraler Faziesänderungen lassen sich die einzelnen Kleinzyklen überregional sehr gut korrelieren. Die beschriebenen Faziesseinheiten sind jedoch nicht als diachron progradierende Einheiten infolge einer Fazieswanderung zu interpretieren. Die differenzierte Faziesverteilung ist vielmehr auf die Rampenmorphologie im Unteren Muschelkalk zurückzuführen.

Im NW des Arbeitsgebietes, dem Bereich der flacheren Rampe, sind charakteristische Bioklasten-Grainstone-Zyklen ausgebildet. Diese Kleinzyklen beginnen mit bioturbaten Wellenkalken (Fazieseinheit A). Die Ichnofauna wird von Wühl-, Freß- und Spreitenbauten der *Cruziana*-Assoziation dominiert. Steinkerne von Kleingastropoden und schlammgrabenden Muscheln sind seltener. Darüber folgen dünnplattige, z. T. mergelige Gelbkalke (Fazieseinheit B), welche von Hartgründen und intraklastischen Grainstones (Fazieseinheit C) überlagert werden. Die Hartgründe sind z.T. aufgearbeitet. Neben Muschel- und Gastropodenbruchschill zählen angebohrte Lithoklasten zu den Hauptkomponenten der Grainstones, welche als Sedimente des höheren bis flachen Intertidals interpretiert werden (vgl. Kap. 5).

Im SE des Arbeitsgebietes, dem Bereich der tieferen Rampe, sind Crinoiden-Wacke-/Packstone-Zyklen ausgebildet. Bioturbate Wellenkalke (Fazieseinheit A) bilden auch hier die Basis der Kleinzyklen. Darüber folgen mergelige Plattenkalke (Fazieseinheit B) und intraklastische Wacke-/Packstones mit Hartgründen bzw. Hartgrundknauerkalke (Fazieseinheit C). Crinoiden-Wacke-/Packstones werden als sturminduzierte Resedimente des höheren Subtidals interpretiert (vgl. Kap. 5). Crinoidenstielglieder, Bruchschill und angebohrte Lithoklasten bilden die Hauptkomponenten dieser Gesteine.

Die beschriebenen Kleinzyklen werden als high-frequency sequences (MITCHUM & VAN WAGONER 1991) innerhalb der ersten Sequenz des Muschelkalks (AIGNER & BACHMANN 1992, 1993) interpretiert. Sie enthalten alle charakteristischen Bestandteile von Sequenzen (vgl. MITCHUM 1977, VAN WAGONER et al. 1988). Die Sequenzgrenzen (SB) werden von Hartgründen gebildet, welche auf der flacheren Rampe von intraklastischen Grainstones, auf der tieferen Rampe von Wacke-Packstones des Transgressive Systems Tract (TST) überlagert werden. Flaserige bis dünnplattige Mudstones (Wellen-

kalke) bilden den Highstand Systems Tract (HST), zwischen TST und HST war der relative Meeresspiegel am höchsten (maximum flooding). Die Position der Gelbkalke im Liegenden der Karbonatsande stellt innerhalb des Arbeitsgebietes zwei Interpretationsmöglichkeiten zur Diskussion (Abb. 10).

Auf der flacheren Rampe bilden diese dolomitischen Mudstones die Sedimente des späten Highstand, welche als progradierende Fazieseinheit interpretiert werden. Sequenzgrenze (SB), Lowstand Systems Tract (LST) und die transgressive surface (ts) werden von den Hartgründen im Liegenden der Sedimente des TST abgebildet. Bilden die Hartgründe hingegen die transgressive surface (ts) am Top der Gelbkalke, können diese Mudstones als Sedimente des LST interpretiert werden, an deren Basis die Sequenzgrenze liegt.

Die germanische Trias bildet einen Transgressions/Regressions-Zyklus 2. Ordnung (DUVAL et al. 1992). Die beschriebenen high-frequency Sequenzen von einigen Metern Mächtigkeit entsprechen Zyklen 4. oder 5. Ordnung (VAIL et al. 1977) innerhalb der ersten Sequenz des Muschelkalks (AIGNER & BACHMANN 1992, 1993). Zyklen niedrigerer Ordnung wurden auf der flacheren Rampe wegen ständig erfolgter Aufarbeitung nicht abgebildet, sind jedoch auf der tiefen Rampe (Polen) als Kalk-/Mergel Wechselfolge im dm-Bereich dokumentiert.

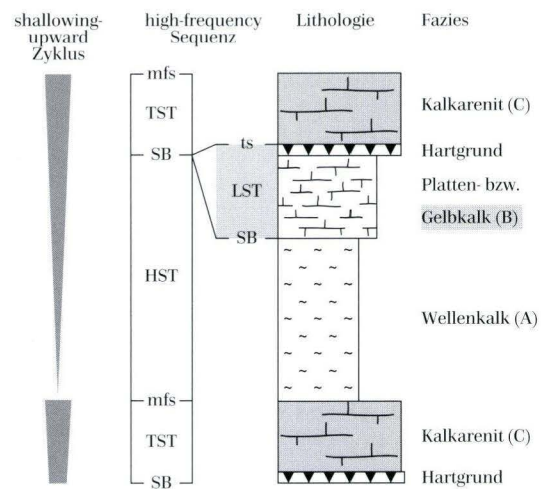


Abb. 10. Sequenzstratigraphische Interpretation der Kleinzyklen als high-frequency Sequenzen. Erläuterungen im Text.

## 8. Zusammenfassung

Die detaillierte Faziesanalyse der Oolithbänke im Unteren Muschelkalk des westlichen germanischen Beckens ermöglichte eine Gliederung des untersuchten Sedimentationsraumes von NW nach SE in einen lagunären, intertidalen und subtidalen Faziesbereich. La-

gunären Peloid-Grainstones folgen beckenwärts zunächst Bioklasten-Grainstones, anschließend Bioklasten-Peloid-Wackestones, intraklastische Pack-/Floatstones und Crinoiden-Wacke-/Packstones. In dieser lateralen Faziesabfolge bildet sich eine flache, SSE geneigte

Karbonatrampe ab, wobei die *buchi*-Mergel Unterfrankens den distalen Bereich der Rampe charakterisieren.

Die zyklische Sedimentation im Unteren Muschelkalk dokumentiert eine vertikale Faziesentwicklung peritidaler Flachwasserkarbonate in Abhängigkeit von Wassertiefe und -energie. Die Sequenzanalyse der untersuchten Kleinzyklen zeigt, daß diese shallowing-upward-Zyklen von einigen Metern Mächtigkeit sog. high-frequency Sequenzen innerhalb der ersten Sequenz des Muschelkalks darstellen. Die unterschiedlichen Faziesseinheiten bilden charakteristische Faziesreihen, sog. Systems Tracts, welche überregional korrelierbar sind.

Die Ergebnisse der Fazies- und Sequenzanalyse bele-

gen, daß die Oolithbänke innerhalb des germanischen Beckens als genetisch isochrone Einheiten interpretiert werden können.

**Danksagung:** Herrn Prof. Dr. D. SCHUMANN danke ich für zahlreiche anregende Diskussionen. Wertvolle Anregungen und Hinweise gaben Prof. Dr. T. AIGNER, Dr. M. HORN, Prof. Dr. S. KEMPE, Dr. v. LUKAS und Prof. Dr. A. STRASSER. Herrn Dr. A. HOPPE danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Das Land Hessen unterstützte die vorliegende Arbeit finanziell durch ein Stipendium der Graduiertenförderung des Landes.

## 9. Schriftenverzeichnis

- AHR, W. M. (1973): The carbonate ramp: an alternative to the shelf model. - Trans. Gulf Coast Assoc. of Geol. Soc., 23rd Ann. Conv.: 221-225, 7 Abb.; Houston.
- AIGNER, T. (1979): Schill-Tempestite im Oberen Muschelkalk (Trias, SW-Deutschland). - N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **157** (3): 326-343, 7 Abb.; Stuttgart.
- AIGNER, T. (1982): Calcareous tempestites: storm dominated stratification in Upper Muschelkalk limestones (Middle Triassic, SW-Germany). - In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. (eds.): Cyclic and event stratification: 180-198, 10 Abb.; Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- AIGNER, T. & BACHMANN, G. H. (1992): Sequence-stratigraphic framework of the German Triassic. - Sed. Geol., **80**: 115-135, 14 Abb.; Amsterdam.
- AIGNER, T. & BACHMANN, G. H. (1993): Sequence Stratigraphy of the German Muschelkalk. - In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (eds.): Muschelkalk - Schöntaler Symposium 1991: 15-18, 2 Abb.; Korb (Goldschneck).
- ASSARURI, M. & LANGBEIN, R. (1990): Dolomitische Gelbkalke des Unteren Muschelkalks (Mittlere Trias) im Thüringer Becken. - Z. geol. Wiss., **18** (11): 1011-1016, 2 Tab., 3 Taf.; Berlin.
- BATHURST, R. G. C. (1966): Boring algae, micrite envelopes, and lithification of molluscan biosparites. - Geol. J., **5** (1): 15-32, 3 Taf.; Liverpool.
- BATHURST, R. G. C. (1975): Carbonate sediments and their diagenesis. - Develop. Sed., **12**: 1-658; Amsterdam.
- BORNEMANN, J. G. (1886): Beiträge zur Kenntnis des Muschelkalks, insbesondere der Schichtenfolge und der Gesteine des Unteren Muschelkalks in Thüringen. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. u. Bergakad., **6**: 267-321, Taf. 7-14; Berlin.
- BORNEMANN, J. G. (1888): Über den Muschelkalk. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. u. Bergakad., **9**: 417-438; Berlin.
- BRANDNER, R. (1984): Meeresspiegelschwankungen und Tektonik in der Trias der NW-Tethys. - Jb. Geol. B.-A., **126** (4): 435-475, 25 Abb.; Wien.
- BRENNAND, T. P. (1975): The Triassic of the North Sea. - In: WOODLAND, A. W. (ed.): Petroleum and the Continental Shelf of North-West-Europe. - Appl. Sci. Publ., Vol. **1**: 295-311, 8 Abb.; Essex.
- DUNHAM, R. J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. - In: HAM, W. E. (ed.): Classification of carbonate rocks. - Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **1**: 108-121, 1 Tab., 7 Taf.; Tulsa.
- DUVAL, B., CRAMEZ, C. & VAIL, P. (1992): Types and hierarchy of stratigraphic cycles. - Abstracts of Intern. Symp. Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins: 44-45; Dijon.
- EKDALE, A. A., BROMLEY, R. G. & PEMBERTON, S. G. (1984): Ichnology. - Soc. Econ. Pal. Min. Short Course, **15**: 1-317; Tulsa.
- FIEGE, K. (1938): Die Epirogenese des Unteren Muschelkalkes in Nordwestdeutschland. - Zentr. Mineral. Geol. Paläont., **1938 B**: 143-170; Stuttgart.
- FLÜGEL, E. (1982): Microfacies Analysis of Limestones. - 633 S., 78 Abb., 58 Tab., 53 Taf.; Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- FRANTZEN, W. (1888): Untersuchungen über die Gliederung des Unteren Muschelkalks in einem Theile von Thüringen und Hessen und über die Natur der Oolithkörper in diesen Gebirgsschichten. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst., **8**: 1-93, 2 Taf.; Berlin.
- FRANTZEN, W. & KOENEN, A. V. (1889): Über die Gliederung des Wellenkalks im mittleren und nordwestlichen Deutschland. - Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. u. Bergakad., **9**: 440-452; Berlin.
- FRIEDMAN, G. M., GEBELEIN, C. D. & SANDERS, J. E. (1971): Micritic envelopes of carbonate grains are not exclusively of photosynthetic algal origin. - Sed., **16** (1/2): 89-96; Amsterdam.
- FREYBERG, B. V. (1920): Ein Profil durch den Unteren Wellenkalk bei Treffurt. - Z. deutsch. geol. Ges., **72**: 140-144; Berlin.
- FREYBERG, B. V. (1922): Der Aufbau des Unteren Wellenkalks im Thüringer Becken. - N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beil. Bd., **45**: 214-274, 5 Abb., 5 Taf.; Stuttgart.
- GARRISON, R. E. & KENNEDY, W. J. (1977): Origin of solution seams and flaser structure in Upper Cretaceous chalks of Southern England. - Sed. Geol., **19** (2): 107-137, 16 Abb.; Amsterdam.
- GÖTZ, A. E. (1994): Feinstratigraphie und Zyklengliederung im Unteren Muschelkalk (Raum Creuzburg - Westthüringen). - Beitr. Geol. Thüringen, N.F., **1**: 3-12, 3 Abb.; Jena.
- GÖTZ, A. E. (1995): Feinstratigraphie und Mikrofazies der Oolithbänke (Unterer Muschelkalk, Trias) Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete. - Diss. TH Darmstadt: 115 S., 10 Abb., 2 Tab., 12 Taf.; Darmstadt.
- HAGDORN, H. (ed.) (1991): Muschelkalk - A Field Guide. - 80 S.; Korb (Goldschneck).
- HAGDORN, H., HICKETHIER, H., HORN, M. & SIMON, T. (1987): Profile durch den hessischen, unterfränkischen und baden-württembergischen Muschelkalk. - Geol. Jb. Hessen, **115**: 131-160, 2 Abb., 2 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- HAGDORN, H., HORN, M. & SIMON, T. (1993): Vorschläge für eine lithostratigraphische Gliederung und Nomenklatur des Muschelkalks in Deutschland. - In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (Hrsg.): Muschelkalk - Schöntaler Symposium 1991: 39-46; Korb (Goldschneck).
- HALLAM, A. (1985): A review of mesozoic climates. - J. Geol. Soc. London, **142**: 433-445; London.
- HAQ, B. U., HARDENBOL, J. & VAIL, P. R.

- (1987): Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present). - Science **235**: 1156-1167, 5 Abb.; Washington.
- HARDIE, L. A. & GINSBURG, R. N. (1977): Layering: The origin and environmental significance of lamination and thin bedding. - In: HARDIE, L. A. (ed.): Sedimentation on the modern carbonate tidal flats of Northwest Andros Island, Bahamas. - Johns Hopkins Univ. Stud. Geol., **22**: 50-123; Baltimore.
- HEDBERG, H. D. (1976): International stratigraphic guide. - Int. Subcom. Strat. Class: 1-200; Wiley Interscience, New York.
- JAMES, N. P. (1984): Shallowing-upward sequences in carbonates. - In: WALKER, R. G. (ed.): Facies models. - Geol. Assoc. Canada, Geosc. Canada, Reprint Ser. 1 (2nd ed.): 213-228, 19 Abb.; Toronto.
- KENDALL, C. G. ST. C. & SKIPWITH, P. A. D'E. (1969): Geomorphology of a recent shallow-water carbonate province: Khor al Bazan, Trucial Coast, Southwest Persian Gulf. - Bull. Geol. Soc. Amer., **80** (5): 865-895, 15 Abb., 5 Tab.; Tulsa.
- KLOTZ, W. (1990): Zyklische Gliederung des Unteren Muschelkalks („Wellenkalk“) auf der Basis von Sedimentations-Diskontinuitäten. - Zbl. Geol. Paläont., **1** (9/10): 1359-1367, 1 Abb., 2 Taf.; Stuttgart.
- KOSTECKA, A. (1978): The Lower Muschelkalk carbonate rocks of the south-western margin of the Holy Cross Mountains (Central Poland). - Roc. Pol. Tow. Geol., Ann. Soc. Geol. Pol., Vol. **XLVIII** (2): 211-243, 3 Abb., 6 Taf.; Krakau.
- KOZUR, H. (1974): Biostratigraphie der germanischen Mitteltrias. - Freib. Forschh. **C 280**, Tl. 1 u. 2: 56 u. 71 S., 8 Anl.; Leipzig.
- KOZUR, H. & MOSTLER, H. (1970): Neue Conodonten aus der Trias. - Ber. Nat. - Med. Ver. Innsbruck, **58**: 429-464, 4 Taf.; Innsbruck.
- KOZUR, H. & MOSTLER, H. (1972): Die Conodonten der Trias und ihr stratigraphischer Wert. I. Zahnreihenconodonten der Mittel- und Obertrias. - Abh. Geol. Bundesanst., **28**: 1-36, 1 Abb., 15 Taf.; Wien.
- KRAMM, E. (1986): Feinstratigraphische Untersuchungen im Unteren Muschelkalk Ostessens. - Beitr. Naturkde. Ostessen, **22**: 3-21, 5 Abb.; Fulda.
- KRAMM, E. (1994): Feinstratigraphie und Zyklengliederung im Unteren Muschelkalk (Trias, Anis) der Rhön (Mitteldeutschland). - Beitr. Naturkde. Ostessen, **29**: 5-34, 4 Abb., 5 Profiltaf.; Fulda.
- LOREAU, J. P. & PURSER, B. H. (1973): Distribution and ultrastructure of holocene ooids in the Persian Gulf. - In: PURSER, B. H. (ed.): The Persian Gulf: 279-328, 20 Abb., 5 Tab.; Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- LUKAS, V. (1989): Sedimentologie, Paläogeographie und Diagenese der Terebratelbänke (Unterer Muschelkalk, Trias) Hessens. - Diss. Univ. Gießen: 203 S., 28 Abb., 7 Taf.; Gießen.
- LUKAS, V. (1991): Die Terebratel-Bänke (Unterer Muschelkalk, Trias) in Hessen - ein Abbild kurzzeitiger Faziesänderungen im westlichen Germanischen Becken. - Geol. Jb. Hessen, **119**: 119-175, 11 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- LUKAS, V. (1992): Zur Diagenese der Karbonate des Unteren Muschelkalk (Trias). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **185**(1): 85-113, 11 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- LUKAS, V. & WENZEL, B. (1988): Gelbkalke des Unteren Muschelkalk (Trias) - Sabkha oder Subtidal? - Bochumer geol. u. geotechn. Arb., **29**: 121-124, 2 Abb.; Bochum.
- MÄDLER, K. (1964): Die geologische Verbreitung von Sporen und Pollen in der Deutschen Trias. - Geol. Jb. Beih., **65**: 1-147, 1 Abb., 3 Tab., 12 Taf.; Hannover.
- MÄGDLEFRAU, K. (1932): Über einige Bohrgänge aus dem Unteren Muschelkalk von Jena. - Paläont. Z., **14** (3): 150-160, 4 Abb., 1 Taf.; Berlin.
- McKENZIE, J. A. (1981): Holocene dolomitization of calcium carbonate sediments from the coastal sabkhas of Abu Dhabi, U. A. E.: A stable isotope study. - J. Geol., **89** (2): 185-198, 7 Abb., 2 Tab.; Chicago.
- MITCHUM, R. M. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 11: Glossary of terms used in seismic stratigraphy. - In: PAYTON, C. E. (ed.): Seismic Stratigraphy - Applications to hydrocarbon exploration. - Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **26**: 205-212; Tulsa.
- MITCHUM, R. M. & VAN WAGONER, J. C. (1991): High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphic evidence of high-frequency eustatic cycles. - Sed. Geol., **70**: 131-160, 19 Abb., 1 Tab.; Amsterdam.
- MOSTLER, H. (1993): Das Germanische Muschelkalkbecken und seine Beziehung zum tethyalen Muschelkalkmeer. - In: HAGDORN, H. & SELACHER, A. (Hrsg.): Muschelkalk - Schöntaler Symposium 1991: 11-14, 1 Abb.; Korb (Goldschneck).
- PATTERSON, R. J. & KINSMAN, D. J. J. (1982): Formation of diagenetic dolomite in coastal sabkha along Arabian (Persian) Gulf. - Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **66** (1): 28-43, 12 Abb., 2 Tab.; Tulsa.
- PAUL, J. & FRANKE, W. (1977): Sedimentologie einer Transgression: Die Röt-Muschelkalkgrenze bei Göttingen. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **3**: 148-177, 7 Abb., 5 Tab.; Stuttgart.
- PURSER, B. H. (1969): Syn-sedimentary marine lithification of middle Jurassic limestones in the Paris basin. - Sedimentology, **12**(3/4): 205-230, 16 Abb.; Amsterdam.
- PURSER, B. H. & SEIBOLD, E. (1973): The principle environmental factors influencing holocene sedimentation and diagenesis in the Persian Gulf. - In: PURSER, B. H. (ed.): The Persian Gulf: 1-9, 4 Abb.; Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- READ, J. F. (1985): Carbonate facies platform models. - Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **69** (1): 1-21; Tulsa.
- ROBINSON, P. L. (1973): Palaeoclimatology and continental drift. - In: TARLING, D. H. & RUNCORN, S. K. (eds.): Implication of continental drift to earth sciences, Vol. **1**: 451-485, 17 Abb.; New York.
- RUEGG, G. H. J. (1981): Sedimentologisch onderzoek in de meest oostlijke groeve in de Schelpkalk bij Winterswijk. - Sed. Afd., Rijk Geol. Dienst, Rapport No. 63: 1-7; Haarlem.
- SCHÜLLER, M. (1967): Petrographie und Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalks in Südniedersachsen und Nordhessen. - Sed. Geol., **1** (4): 353-401, 23 Abb., 7 Tab.; Amsterdam.
- SCHULZ, M.-G. (1972): Feinstratigraphie und Zyklengliederung des Unteren Muschelkalks in N-Hessen. - Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, **41**: 133-170, 2 Abb., 4 Profiltaf., 6 Tab.; Hamburg.
- SCHWARZ, H.-U. (1970): Zur Sedimentologie und Fazies des Unteren Muschelkalks in Südwestdeutschland und angrenzenden Gebieten. - Diss. Univ. Tübingen: 297 S., 136 Abb.; Tübingen.
- SCHWARZ, H.-U. (1975): Sedimentary structures and facies analysis of shallow marine carbonates. - Contr. Sedimentology, **3**: 1-100, 35 Abb., 1 Tab., 11 Taf.; Stuttgart.
- SCHWARZ, H.-U. (1977): Sedimentationszyklen und stratigraphisch-fazielle Probleme der Randfazies des Unteren Muschelkalkes (Kernbohrung Mersch/Luxemburg). - Geol. Rdsch., **66** (1): 34-61, 10 Abb.; Stuttgart.
- SEIDEL, G. & LOECK, P. (1990): Zur Gliederung der Wellenkalk-Folge (Muschelkalk) zwischen Jena und Freyburg. - Z. geol. Wiss., **18** (9): 825-835, 6 Abb., 2 Tab.; Berlin.
- SELACHER, A. (1964): Biogenetic sedimentary structures. - In: IMBRIE, J. & NEWELL, N. D. (eds.): Approaches to Paleocology: 296-316, 8 Abb., 1 Tab.; Wiley & Sons, New York.
- SENKOWICZOWA, H. & SZYPERK-SLIWCZYNSKA, A. (1975): Stratigraphy and palaeogeography of the Trias. - Geol. Inst. Bull., **252**: 131-147, 9 Abb.; Warschau.
- SHINN, E. A. (1969): Submarine lithification of Holocene carbonate sediments in the Persian Gulf. - Sedimentology, **12** (1/2): 109-144, 36 Abb., 2 Tab.; Amsterdam.
- SHINN, E. A. (1983): Tidal flat. - In: SCHOLLE, P. A., BEBOUT, D. G. & MOORE, C. H. (eds.): Carbonate depositional environments. - Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **33**: 171-210, 52 Abb.; Tulsa.
- SHINN, E. A., LLOYD, R. M. & GINSBURG, R. N. (1969): Anatomy of a modern carbonate tidal-flat, Andros Island, Bahamas. - J. Sed. Petrol., **39** (3): 1202-1228, 37 Abb., 1 Tab.; Tulsa.
- STRASSER, A. (1991): Lagoonal-peritidal sequences in carbonate environments: au-

- tocyclic and allocyclic processes. - In: EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A. (eds.): Cycles and Events in Stratigraphy: 709-721, 9 Abb., 2 Tab.; Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- SWINCHATT, J. P. (1969): Algal boring: A possible depth indicator in carbonate rocks and sediments. - Bull. Geol. Soc. Amer., **80** (7): 1391-1396, 2 Abb.; New York.
- SZULC, J. (1991): The Muschelkalk in Poland. - In: HAGDORN, H. (ed.): Muschelkalk - A Field Guide: 58-75, 35 Abb., 1 Tab.; Korb (Goldschneck).
- SZULC, J. (1993): Early alpine tectonics and lithofacies succession in the Silesian part of the Muschelkalk basin. A Synopsis. - In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (eds.): Muschelkalk - Schöntaler Symposium 1991: 19-28, 10 Abb.; Korb (Goldschneck).
- TRAMMER, J. (1975): Stratigraphy and facies development of the Muschelkalk in the South-western Holy Cross Mts. - Acta Geol. Polon., **25** (2): 179-216, 8 Abb., 25 Taf.; Warschau.
- TUCKER, M. E. (1990): Dolomites and dolomitization models. - In: TUCKER, M. E. & WRIGHT, V. P. (eds.): Carbonate Sedimentology: 365-400; Blackwell Sc. Publ., Oxford.
- VAIL, P. R., MITCHUM, R. M. & THOMPSON, S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 4: global cycles of relative changes of sea level. - In: PAYTON, C. E. (ed.): Seismic Stratigraphy - Applications to hydrocarbon exploration. - Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **26**: 83-97, 7 Abb., 1 Tab.; Tulsa.
- VAN WAGONER, J. C., POSAMENTIER, H. W., MITCHUM, R. M., VAIL, P. R., SARG, J. F., LOUITT, T. S. & HARDENBOL, J. (1988): An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. - In: WILGUS, CH. K. et al. (eds.): Sea-Level Changes - An Integrated Approach. - Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ., **42**: 39-45, 4 Abb.; Tulsa.
- WAGNER, C. W. & VAN DER TOGT, C. (1973): Holocene sediment types and their distribution in the southern Persian Gulf. - In: PURSER, B. H. (ed.): The Persian Gulf: 123-155, 20 Abb., 1 Taf.; Berlin-Heidelberg-New York (Springer).
- WANLESS, H. R. (1979): Limestone response to stress: pressure solution and dolomitization. - J. Sed. Petrol., **49** (2): 437-462, 15 Abb.; Tulsa.
- WILCZEWSKI, N. (1967): Mikropaläontologische Untersuchungen im Muschelkalk Unterfrankens. - Inaug. - Diss.: 125 S., 4 Abb., 14 Taf.; Würzburg.
- WRIGHT, V. P. (1984): Peritidal carbonate facies models: a review. - Geol. J., **19** (4): 309-325, 6 Abb.; Wiley & Sons, Chichester.
- ZIEGLER, P. A. (1988): Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Tethys. - Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol., **43**: 1-198, 80 Abb.; Tulsa.
- ZIEGLER, P. A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. - 239 S., 100 Abb., 56 Beil. (2. Aufl.); Den Haag.
- ZWENGER, W. (1985): Mikrofaziesuntersuchungen im Unteren Muschelkalk von Rüdersdorf. - Wiss. Z. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald, Math.-nat. wiss. Reihe, **34** (4): 17-20, 9 Abb.; Greifswald.
- ZWENGER, W. (1986): Invertebratenspuren als Faziesfossilien im Muschelkalk. - Veröff. Naturkundemuseum Erfurt: 34-42, 8 Abb.; Erfurt.
- ZWENGER, W. (1987): Hartgründe im Unteren Muschelkalk von Rüdersdorf. - Z. geol. Wiss., **15** (4): 501-510, 1 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Berlin.
- ZWENGER, W. (1988): Mikrofazies- und Milieuanalyse des Unteren Muschelkalkes von Rüdersdorf. - Freib. Forschh., **C 427**: 113-129, 3 Abb., 5 Taf.; Leipzig.

Manuskript eingegangen am 13.3.1996, angenommen am 20.3.1996

ANNETTE E. GÖTZ\*

# Palynofazielle Untersuchungen zweier Geländeprofile im Unteren Muschelkalk Osthessens und Westthüringens

## Kurzfassung

Im Unteren Muschelkalk des westlichen germanischen Beckens wurden zwei Geländeprofile palynologisch untersucht. Die Ergebnisse der Palynofazies-Analyse und die unterschiedlichen Palynomorphen-

Assoziationen werden diskutiert.

Palynologische Daten werden erstmals in der Sequenzanalyse des Unteren Muschelkalks zur Charakterisierung der systems tracts herangezogen. Die unterschiedlichen Pa-

lynomorphen-Assoziationen, insbesondere die Häufigkeitsverteilung des marinen Planktons, spiegeln transgressive und regressive Trends innerhalb der Sequenz wider.

## Abstract

In the western German Basin two outcrop sections of the Lower Muschelkalk (Middle Triassic, Anisian) have been studied palynologically. Palynofacies and palynomorph associations are discussed.

Palynological data are first applied to sequence analysis of the Lower Muschelkalk giving valuable evidence in the characterization of systems tracts. Significant changes in the palynomorph associations, es-

pecially the relative abundance of marine plankton, indicate the major transgressive and regressive trends within the Lower Muschelkalk sequence.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	87
2. Material und Methoden	88
3. Palynofazies-Analyse	88
4. Palynomorphen-Assoziationen	90
5. Palynologie und Sequenzanalyse im Unteren Muschelkalk	95
6. Aufschlußverzeichnis	95
7. Schriftenverzeichnis	95

## 1. Einleitung

Erste umfassende palynologische Untersuchungen innerhalb der germanischen Mitteltrias wurden u. a. von MÄDLER (1964), KLAUS (1964) und SCHULZ (1966) im deutschen Raum, später von ORLOWSKA-ZWOLINSKA (1977, 1985) in Polen durchgeführt, wobei die systematische und palynostratigraphische Bearbeitung im Vordergrund stand.

Wichtige Beiträge zur Palynostratigraphie der Mitteltrias Englands und des Nordseeraums sowie der westlichen Niederlande lieferten GEIGER & HOPPING (1968),

VISSCHER & COMMISSARIS (1968) und FISHER (1972). Die Arbeiten von VISSCHER & BRUGMAN (1981) und BRUGMAN (1986) aus der alpinen Mitteltrias bieten einen ersten Ansatz für die palynostratigraphische Korrelation des tehyalen mit dem germanischen Faziesraum.

REITZ (1985) untersuchte Palynomorphe aus der Trias Nordhessens und Südniedersachsens, wobei erstmals eine fazielle Auswertung palynologischer Daten aus der germanischen Trias erfolgte.

Erst seit wenigen Jahren werden palynologische Un-

\* Dr. ANNETTE E. GÖTZ, Geologisch-Paläontologisches Institut der TH Darmstadt, Schnittspahnstraße 9, 64287 Darmstadt.

tersuchungen auch mit palökologischer Zielsetzung unternommen. Dazu erfolgt die detaillierte Analyse der Palynofazies und der unterschiedlichen Palynomorphen-Assoziationen (vgl. BRUGMAN et al. 1994). Bei VISSCHER et

al. (1993) finden palynologische Untersuchungen erstmals Verwendung in der sequenzstratigraphischen Analyse des germanischen Muschelkalks.

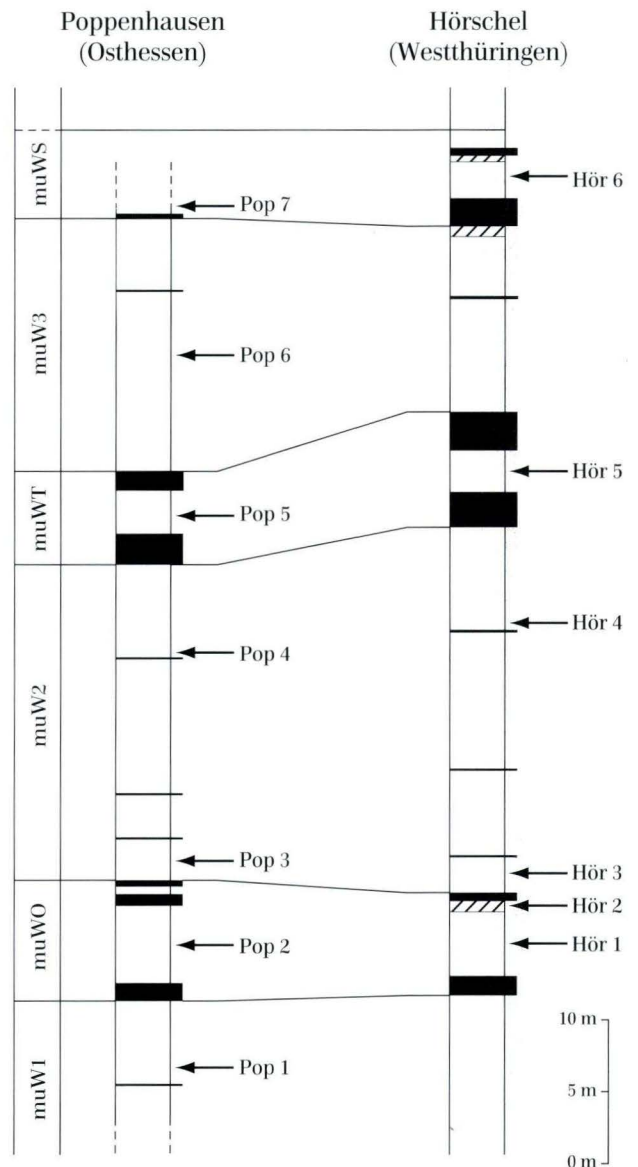
## 2. Material und Methoden

Zwei Geländeprofile im Unteren Muschelkalk Ostthessens (Poppenhausen) und Westthüringens (Hörschel) wurden palynologisch untersucht (Abb. 1). Die Proben stammen aus den Wellenkalken des höheren Unteren Muschelkalks. Im Profil Hörschel wurde neben den Wellenkalken auch der Gelbkalk im Liegenden der Oberen Oolithbank untersucht.

Die Aufbereitung des Probenmaterials beginnt mit dem Reinigen und Trocknen der Gesteinsproben, welche anschließend zerkleinert und mit konzentrierter Salzsäure (30 %) sowie konzentrierter Flußsäure (70 %) zum Lösen der Karbonate und Silikate versetzt werden. Die Trennung des organischen Rückstands von eventuell vorhandenen Schwermineralen erfolgt mittels Schwerretrennung (konzentrierte  $ZnCl_2$ -Lösung,  $D \approx 2,2$  g/ml). Nach dem Zentrifugieren und Sieben (10  $\mu m$  Gaze) wird der Rückstand mit warmer Salzsäure und abschließend mit destilliertem Wasser gewaschen. Die Oxidation des Rückstands entfällt bei der hier durchgeführten Palynofazies-Analyse. Für die mikroskopische Bearbeitung wurden von den vollständig aufbereiteten Proben Streupräparate in Eukitt hergestellt.

Für die Palynofazies-Analyse wurden pro Präparat mindestens 200 Körner, d.h. Palynomorphe, Phytoklasten und amorphe organische Substanz (vgl. TYSON 1995: 27), ausgezählt. In einer zweiten Zählung, welche die Palynomorphen quantitativ erfaßte, wurden pro Präparat mindestens 200 Pollenkörner gezählt. Die Ergebnisse der Palynofazies-Analyse und die unterschiedlichen Palynomorphen-Assoziationen werden im folgenden diskutiert.

**Abb. 1.** Palynologisch untersuchte Geländeprofile im Unteren Muschelkalk Ostthessens (Poppenhausen) und Westthüringens (Hörschel). Lithostratigraphische Gliederung des Unteren Muschelkalks nach HAGDORN et al. (1993).



## 3. Palynofazies-Analyse

Bei der Palynofazies-Analyse wurden folgende Gruppen organischer Bestandteile unterschieden:

- I. Holz- und Pflanzenreste
  - (1) Schwarze Partikel  
Opake, schwarze Fragmente ohne erkennbare ur-

sprüngliche Zellstrukturen; in Anlehnung an die Terminologie der Kohlenpetrographie auch als **Inertinit** bezeichnet (entspr. PM4 nach WHITAKER 1984 und STEFFEN 1993).

Herkunft: Stark oxidierte, verkohlte Reste höherer Pflanzen.

(2) Braune Partikel

Durchscheinende, braune bis dunkelbraune Fragmente, die je nach Degradationszustand meist keine ursprünglichen Zellstrukturen erkennen lassen; in Anlehnung an die Terminologie der Kohlenpetrographie auch als **Vitrinit** bezeichnet (entspr. PM1 nach WHITAKER 1984 und STEFFEN 1993).

Herkunft: Teilweise oxidierte Reste höherer Pflanzen.

II. Palynomorphe

- (1) Pollenkörner (Koniferen)
- (2) Sporen (i.w. Lycopodiophyten)
- (3) Acritarchen (*Veryhachium* spp., *Micrhystridium* spp.)
- (4) Prasinophyten (i.w. *Cymatiosphaera* spp.)

III. Strukturlose organische Substanz

Gelblichbraune bis fast transparente, wolkige organische Fragmente, welche wahrscheinlich zum größten Teil Degradationsprodukte von Koniferenpollen darstellen.

Multicellulare Algen (*Botryococcus* sp., *Plaesiodictyon mosellanum* WILLE), Foraminiferentapeten (organische Membranen aus Tektin, Taf. 2, Fig. 7) und chitinige Scolecodontenbruchstücke (Taf. 2, Fig. 5) sind in den untersuchten Proben mit weniger als einem Prozent ver-

treten. Sie werden deshalb in den Palynofazies-Diagrammen nicht berücksichtigt.

Die Proben aus dem Profil Poppenhausen (Abb. 2a) zeigen einen sehr hohen Anteil an Inertinit und Pollenkörnern, wohingegen Sporen nur untergeordnet auftreten. Auffällig ist das gehäufte Vorkommen der Acritarchen im höheren Unteren Muschelkalk, während sie im tieferen Profilabschnitt mit weniger als einem Prozent vertreten sind. Prasinophyten sind mit nur geringem Anteil im gesamten Profil vorhanden, ein etwas höheres Vorkommen ist erst im oberen Profilabschnitt zu beobachten. Dieser Trend ist in beiden Algengruppen, den Acritarchen und Prasinophyten, deutlich sichtbar. Der Anteil an strukturloser organischer Substanz beträgt im gesamten Profil zwischen 10 und 30 Prozent.

Die Palynofazies im Unteren Muschelkalk des Profils Hörschel (Abb. 2b) ist ebenfalls durch einen hohen Anteil an Inertinit und Pollenkörnern gekennzeichnet. In Probe Hör 6 ist Inertinit mit über 80 Prozent vertreten. Sporen hingegen treten im Gesamtprofil nur untergeordnet auf. Acritarchen wurden erst im Mittleren und Oberen Wellenkalk (Proben Hör 3-5) nachgewiesen. Die Probe aus dem Gelbkalk (Hör 2) im Liegenden der Oberen Oolithbank zeigt einen relativ hohen Anteil an Prasinophyten, Acritarchen fehlen. Die strukturlose organische Substanz kann eine Häufigkeit von bis zu 20 % erreichen.

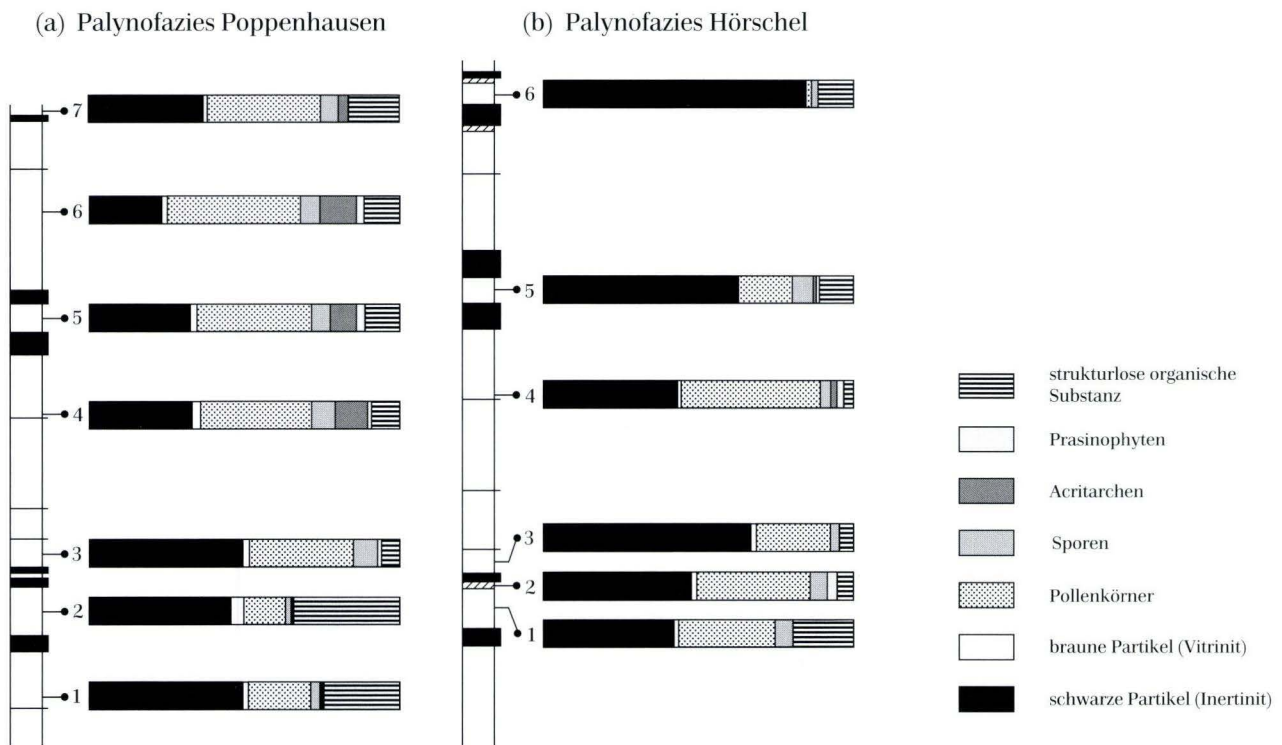


Abb. 2. Palynofazies der Profile Poppenhausen und Hörschel. Erläuterungen im Text.

Der Vergleich beider Profile zeigt einen deutlich höheren Anteil an Inertinit im Profil Hörschel, wohingegen marines Plankton im Profil Poppenhausen stärker vertreten ist. Ein hoher Anteil an Holz- und Pflanzenresten (Inertinit) ist auf verstärkten terrigenen Eintrag zurückzuführen. Algen indizieren normalmarine Bedingungen, wobei Prasinophyten auch aus Extremmilieus bekannt sind, welche von anderen Algen nicht toleriert werden (TAPPAN 1980). So sind in Probe Hör 2 (Gelbkalk) Prasinophyten häufig vertreten, Acritarchen hingegen fehlen.

Die Unterschiede in der Palynofazies können eventuell auf die Lage der untersuchten Profile im westlichen germanischen Becken zurückgeführt werden. Die Sedimente des Unteren Muschelkalks entstanden auf einer sehr flachen, SSE-geneigten Karbonatrampe (LUKAS 1991, Götz 1995). Detaillierte mikrofazielle Untersu-

chungen haben gezeigt, daß Hörschel dem intertidalen Faziesbereich, Poppenhausen dem flach subtidalen Faziesbereich zuzuordnen sind (Götz 1995).

Vom Festland eingewehte bzw. von den Küstenebenen eingetragene Pollen und Sporen sowie Holz- und Pflanzenreste (Phytoklasten) sind im küstennäheren Bereich stark vertreten. Pollenkörner können jedoch durch Wind oder im Wasser sehr weit transportiert werden und sind daher in beiden Profilen sehr häufig. Sporen hingegen werden von den Küstenebenen weniger weit ins Meer verfrachtet, sie treten in den Profilen nur untergeordnet auf. Die Verteilung terrigener Partikel auf der Rampe bzw. im Becken ist jedoch zusätzlich abhängig von den jeweiligen Strömungsverhältnissen. Die relativen Häufigkeiten des marinen Planktons sind wiederum abhängig von der Menge des terrigenen Eintrags.

## 4. Palynomorphen-Assoziationen

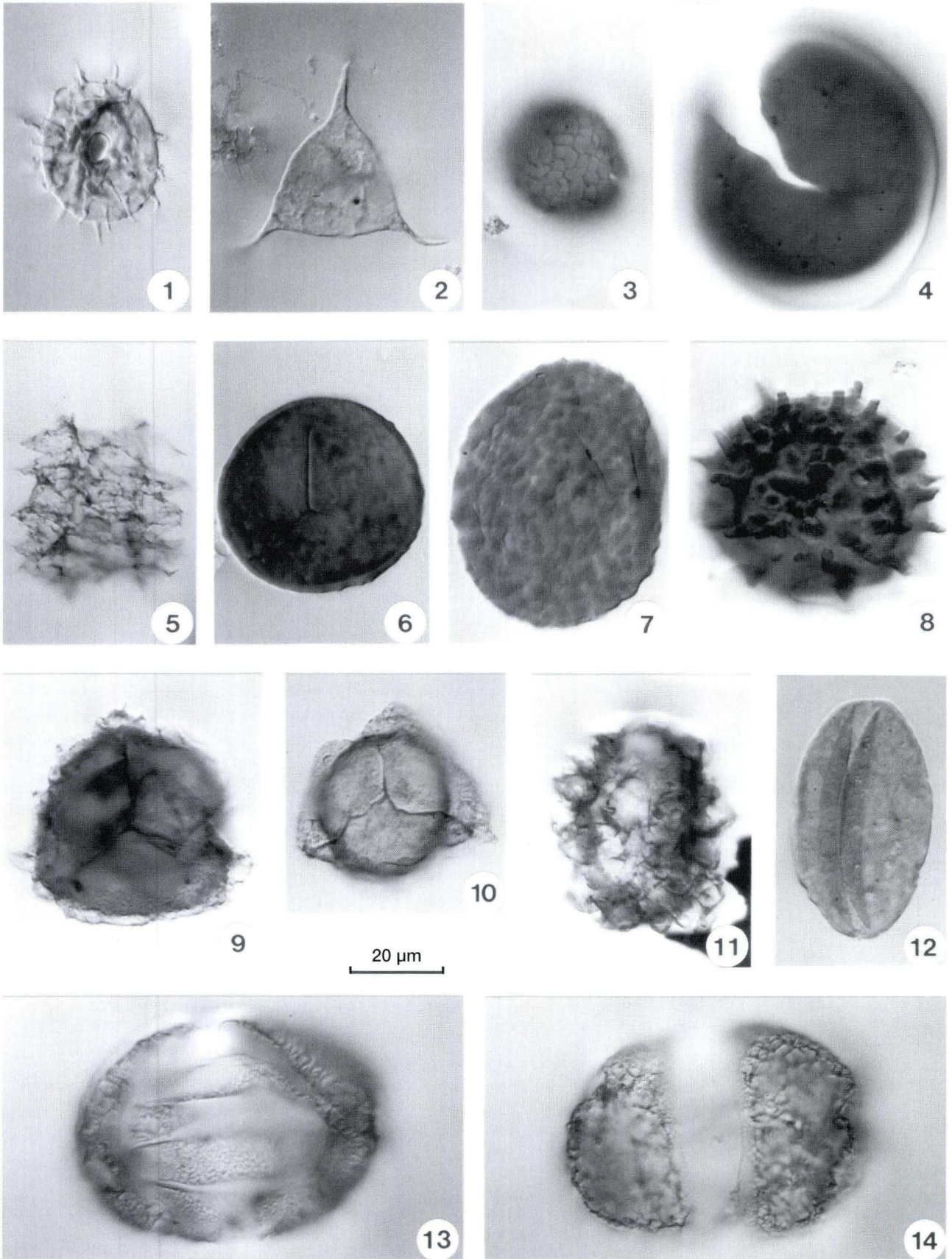
Wegen des relativ hohen Karbonatgehalts der Wellenkalke mußten jeweils 200–300 g Probenmaterial aufbereitet werden, um eine repräsentative Menge organischen Rückstands zu gewinnen. Der mäßige Erhaltungs-

zustand der Palynomorphen hat die quantitative Auswertung erheblich erschwert. Die untersuchten Proben zeigen jedoch eine recht gleichartige Zusammensetzung der Mikroflora. Folgende Taxa wurden bestimmt:

### Tafel 1

- Fig. 1:** *Micrhystridium* sp. Probe Pop 4-2p, England Finder Koordinaten: C27/2. Mariner Acritarch.
- Fig. 2:** *Veryhachium* sp. Probe Pop 4-2p, E.F. Koordinaten: F39/1-2. Mariner Acritarch.
- Fig. 3:** *Cymatiosphaera* sp. Probe Pop 5-5o, E.F. Koordinaten: V32/2. Prasinophyt.
- Fig. 4:** *Tasmanites* sp. Probe Pop 7-3o, E. F. Koordinaten: N18. Prasinophyt.
- Fig. 5:** *Plaesiodyctyon mosellanum* WILLE 1970. Probe Pop 6-3o, E.F. Koordinaten: V40/4. Multicellulare Süßwasseralge (Chlorophyta).
- Fig. 6:** *Punctatisporites* sp. Probe Pop 1-2p, E.F. Koordinaten: B20/4. Trilete Farnspore, Anzeiger für Sumpfvvegetation (VISSCHER et al. 1993).
- Fig. 7:** *Verrucosisporites* sp. Probe Pop 3-2p, E.F. Koordinaten: N13/3. Trilete Spore mit verrucater Ornamentierung.
- Fig. 8:** *Spinotriletes echinoides* MÄDLER 1964. Probe Pop 2-1p, E. F. Koordinaten: L29/2-4. Trilete Spore. Stratigraphische Leitart für den Mittleren Buntsandstein bis Unteren Muschelkalk (GEIGER & HOPPING 1968).
- Fig. 9:** *Kraeuselisporites* sp. Probe Pop 3-2p, E.F. Koordinaten: T27/1. Cavate trilete Spore. Die Gattung *Kraeuselisporites* beinhaltet Lycopodiophyten-Sporen, welche als Anzeiger für Mangroven-Vegetation gedeutet werden (VISSCHER et al. 1993).
- Fig. 10:** *Aequitriradites minor* MÄDLER 1964. Probe Pop 3-2p, E.F. Koordinaten: T15/1-3. Cavate trilete Spore. Stratigraphische Leitart für den Unteren Muschelkalk (GEIGER & HOPPING 1968).
- Fig. 11:** *Tsugaepollenites oriens* KLAUS 1964. Probe Pop 3-2p, E.F. Koordinaten: N29/2. Monosaccater Pollen. Typische Art des germanischen Muschelkalks (VISSCHER et al. 1993).
- Fig. 12:** *Cycadopites* sp. Probe Pop 2-1p, E.F. Koordinaten: X40/1-2. Monocolpater asaccater Pollen, welcher den Cycadophyten zugeordnet wird (BRUGMAN et al. 1994).
- Fig. 13 und 14:** *Lunatisporites* sp. Probe Pop 4-3o, E.F. Koordinaten: D43. 13. Proximaler Pol in niedrigem Fokus, 14. distaler Pol in hohem Fokus. Striater bisaccater Pollen.





**Pollenkörner**

einfache bisaccate Pollenkörner

*Voltziaccaesporites* spp.*Alisporites* spp.*Microcachryidites sittleri* KLAUS 1964*Minutosaccus* spp.*Triadispora* spp.*Triadispora plicata* KLAUS 1964*Triadispora crassa* KLAUS 1964

monolet bisaccate Pollenkörner

*Illinites kosankei* KLAUS 1964*Illinites chitonoides* KLAUS 1964

striate bisaccate Pollenkörner

*Striatoabieites* spp.*Striatoabieites balmei* KLAUS 1964*Lunatisporites* spp.*Protohaploxypinus* spp.

polysaccate Pollenkörner

*Stellapollenites thiergartii* (MÄDLER 1964) CLEMENT-  
WESTERHOF et al. 1974

monosaccate Pollenkörner

*Tsugaepollenites oriens* KLAUS 1964

monocolpate Pollenkörner

*Cycadopites* spp.**Sporen**

einfache trilete Sporen

*Verrucosisporites* spp.*Punctatisporites* spp.*Leiotriletes* spp.*Spinotriletes echinoides* MÄDLER 1964

cavate trilete Sporen

*Aequitriradites minor* MÄDLER 1964*Kraeuselisporites* spp.

cavate monolet Sporen

*Aratrisporites* sp.**Algen**

unicellulare Algen

Acritarchen

*Micrhystridium* spp.*Veryhachium* spp.

Prasinophyten

*Cymatiosphaera* spp.*Tasmanites* spp.

multicellulare Algen

*Plaesiodictyon mosellanum* WILLE 1970*Botryococcus* sp.**Zoomorphe**

Foraminiferentapeten

Scolecodonten

Es handelt sich um eine typische Pollen- und Sporenassoziation der unteren Mitteltrias (Anis) des germanischen Beckens (vgl. GEIGER & HOPPING 1968, VISSCHER & COMMISSARIS 1968). Die cavate trilete Spore *Aequitriradites minor* (Taf. 1, Fig. 10) ist in ihrem stratigraphischen Vorkommen als einzige Art auf den Unteren Muschelkalk beschränkt (GEIGER & HOPPING 1968). Weitere mitteltriassische Leitarten sind *Spinotriletes echinoides* (Taf. 1, Fig. 8), *Illinites kosankei* (Taf. 2, Fig. 6), *Illinites chitonoides* (vgl. Taf. 2, Fig. 6), *Microcachryidites sittleri* (Taf. 2, Fig. 2), *Striatoabieites balmei* (vgl. Taf. 2, Fig. 4), *Stellapollenites thiergartii* (Taf. 2, Fig. 1) und *Tsugaepollenites oriens* (Taf. 1, Fig. 11).

**Tafel 2**

**Fig. 1:** *Stellapollenites thiergartii* (MÄDLER 1964) CLEMENT-WESTERHOF et al. 1974. Probe Pop 3-2p, England Finder Koordinaten: V32/2. Trisaccater Pollen. Stratigraphische Leitart für das Anis (VISSCHER et al. 1993).

**Fig. 2:** *Microcachryidites sittleri* KLAUS 1964. Probe Pop 2-3o, E. F. Koordinaten: R41/2. Bisaccater Pollen. Stratigraphische Leitart für den Oberen Buntsandstein und Unteren Muschelkalk des germanischen Beckens (GEIGER & HOPPING 1968).

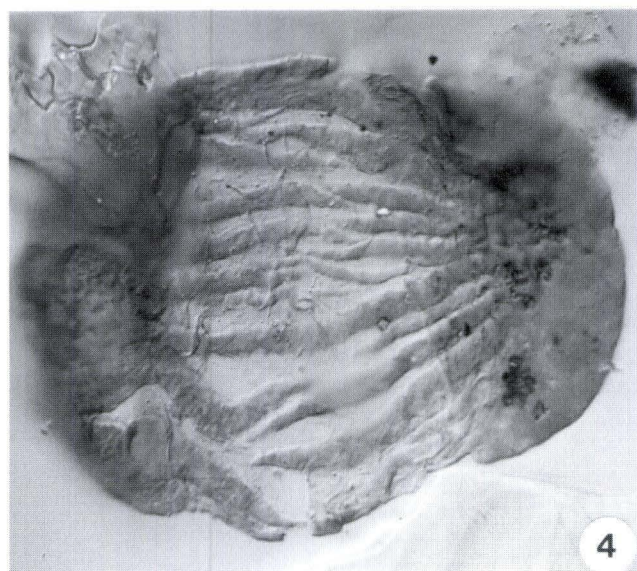
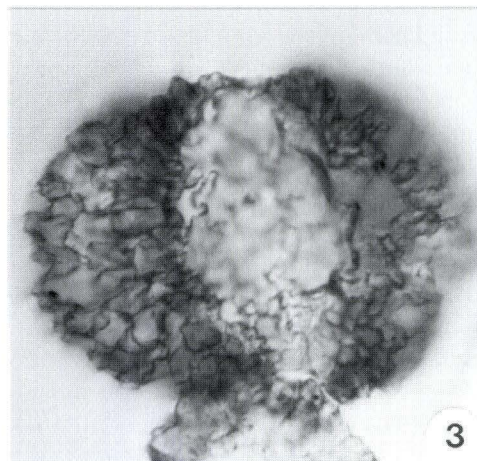
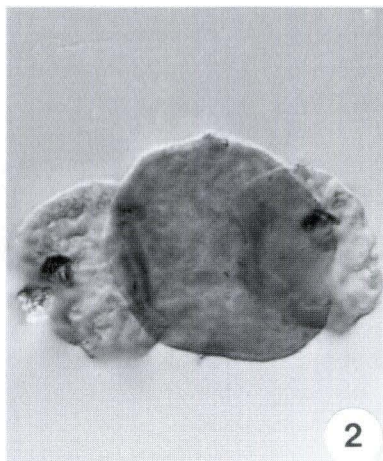
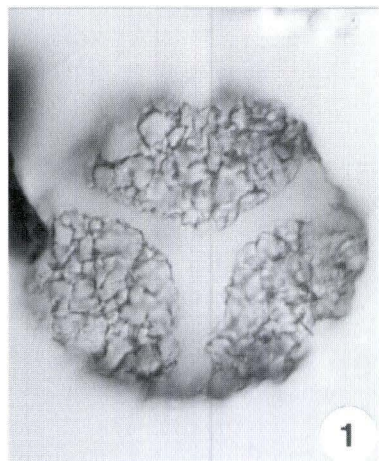
**Fig. 3:** *Triadispora plicata* KLAUS 1964. Probe Pop 3-2p, E. F. Koordinaten: M18/1. Trileter bisaccater Koniferenpollen. Anzeiger für Vegetation in hoch salinaren coastal sabkha environments (VISSCHER et al. 1993).

**Fig. 4:** *Striatoabieites* sp. Probe Pop 7-3o, E.F. Koordinaten: T30/2. Striater Koniferenpollen. Anzeiger für xerophytische Hinterlandvegetation (VISSCHER et al. 1993).

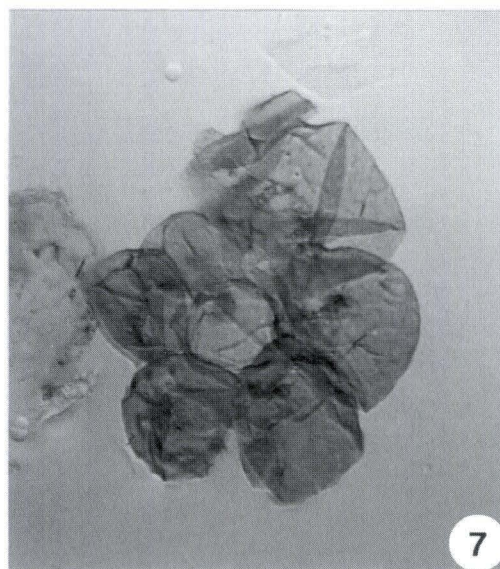
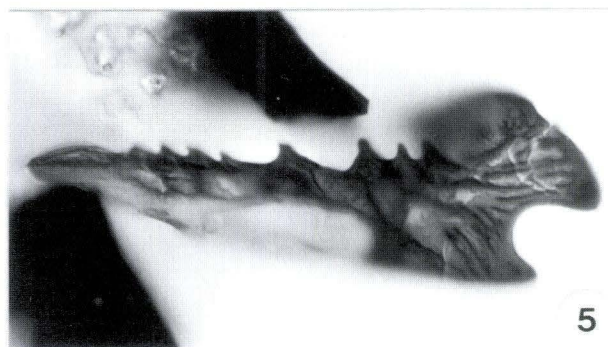
**Fig. 5:** Scolecodont. Probe Pop 5-5o, E.F. Koordinaten: F17/3.

**Fig. 6:** *Illinites kosankei* KLAUS 1964. Probe Pop 2-3o, E.F. Koordinaten: R21/2. Die Gattung *Illinites* ist stratigraphisch leitend für die gesamte Mitteltrias. (GEIGER & HOPPING 1968). Monoleter bisaccater Koniferenpollen. Anzeiger für schilffähnliche Vegetation der Küstenebenen (VISSCHER et al. 1993).

**Fig. 7:** Foraminiferentapete. Probe Pop 6-3o, E.F. Koordinaten: L26/4.



20  $\mu$ m



Bei den verschiedenen Algen handelt es sich fast ausschließlich um sog. Durchläufer. Nur die multicelluläre Alge *Plaesiodictyon mosellanum* (Taf. 1, Fig. 5) besitzt palynostratigraphischen Leitwert innerhalb der Mittel- und Obertrias (WILLE 1970, HOCHULI et al. 1989).

VISSCHER et al. (1993) und BRUGMAN et al. (1994) gelingt es, einzelne mitteltriassische Pollen- und Sporengruppen ihren Mutterpflanzen und/oder dem Standort der Mutterpflanzen zuzuordnen. Pollen der Formgattung *Triadispora* KLAUS 1964 werden Koniferen zugeordnet, welche als Anzeiger eines Playa- bzw. Sabkha-Environments interpretiert werden. Die Schilfvegetation der Küstenebenen ist durch Koniferenpollen der Formgattung *Illinites* KOSANKE 1950 belegt. Zu den Lycopodiophyten-Sporen zählen *Aratrisporites* LESCHIK 1955 und *Kraeuselisporites* LESCHIK 1955, welche auf eine Mangroven-Vegetation hinweisen. Das häufige Vorkommen von triletten Farnsporen der Formgattung *Punctatisporites* IBRAHIM 1933 deutet auf ausgedehnte Sumpf- und Marschgebiete hin. Der Koniferenstandort einer xerophytischen Hinterlandvegetation ist durch striate bisaccate Pollenkörner der Formgattungen *Striatoabeites* SEDOVA 1956 und *Protohaploxylinus* SAMOILOVICH 1953 belegt. Folgende Vegetationsräume können daher unterschieden werden: Küstenebene, Mangrovenwälder, Sumpf- und Marschgebiete und Hinterland. Die vorliegende Pollen- und Sporenvergesellschaftung aus dem Unteren Muschelkalk ist typisch für die küstennahe Vegetation arider Klimagebiete (vgl. VISSCHER et al. 1993).

Die Palynomorphen-Assoziation im Unteren Muschel-

kalk von Poppenhausen (Abb. 3a) ist durch einen sehr hohen Anteil an Pollenkörnern (z.T. über 80 Prozent) im Gesamtprofil charakterisiert. Auffällig ist das gehäufte Vorkommen mariner Acritarchen im höheren Profilschnitt (Proben Pop 4–Pop 7). In den Proben Pop 2 und Pop 4 wurde *Botryococcus* sp., in Probe Pop 6 *Plaesiodictyon mosellanum* nachgewiesen. Beide Taxa gehören zur Gruppe der multicellulären Süßwasseralgen.

Im Profil Hörschel (Abb. 3b) ist der Anteil an Pollenkörnern mit teilweise über 80 Prozent im Gesamtprofil ebenfalls sehr hoch. Prasinophyten sind z.T. sehr häufig (bis 15 Prozent), während Acritarchen nur in den Proben Hör 3 bis Hör 5 mit einem sehr geringen Anteil vertreten sind. Im Gelbkalk (Probe Hör 2) fehlen Acritarchen, neben zahlreichen Prasinophyten konnte auch *Botryococcus* sp. nachgewiesen werden.

Der Vergleich beider Profile zeigt einen deutlich höheren Anteil an Acritarchen im Profil Poppenhausen, während im Profil Hörschel Prasinophyten stärker vertreten sind.

Prasinophyten scheinen Salinitätsschwankungen besser zu tolerieren als andere Algen (vgl. TAPPAN 1980). Die Häufigkeitsverteilung dieser Algengruppe im Profil Hörschel könnte daher auf kurzzeitige Änderungen der Salinität im proximalen Bereich der Rampe hinweisen.

Die gegenläufigen Tendenzen in der Verteilung von Prasinophyten und Acritarchen, welche REITZ (1985) aus dem Unteren Muschelkalk des nördlichen Harzvorlandes beschreibt, treten in den hier untersuchten Profilen weniger deutlich hervor.

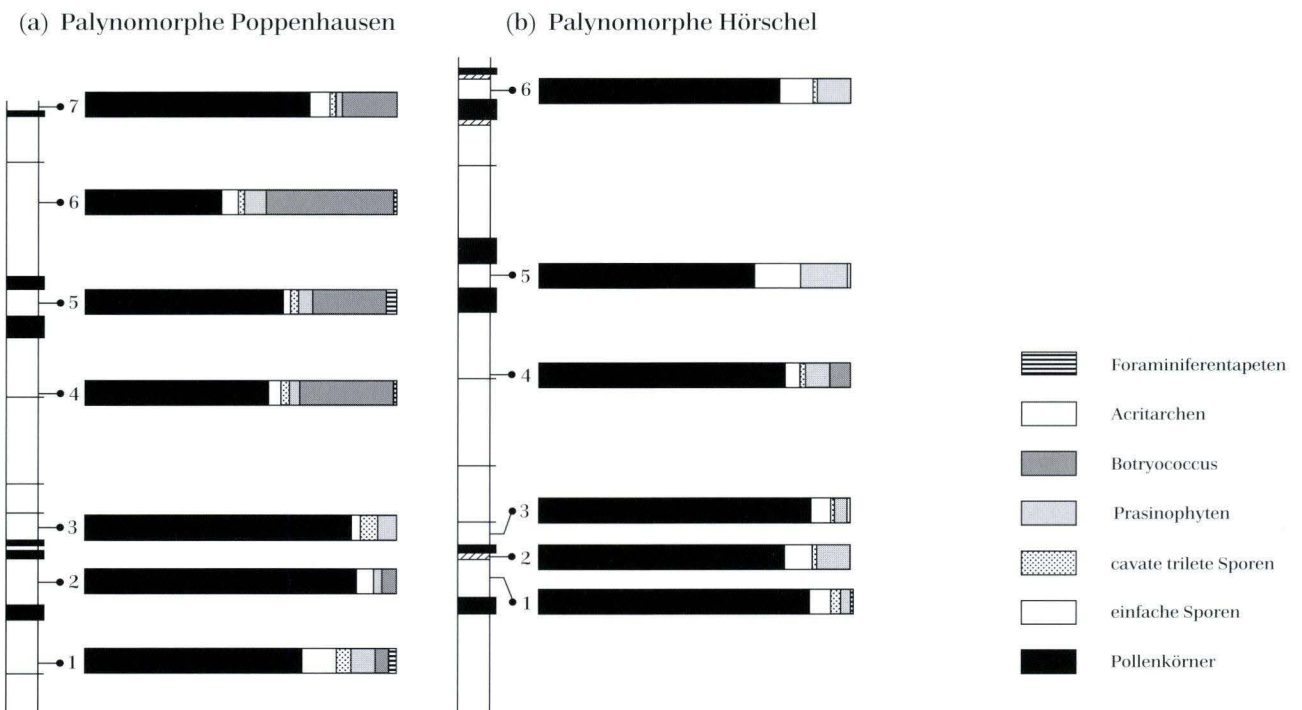


Abb. 3. Palynomorphen-Assoziationen im Unteren Muschelkalk der Profile Poppenhausen und Hörschel. Erläuterungen im Text.

## 5. Palynologie und Sequenzanalyse im Unteren Muschelkalk

Nach AIGNER & BACHMANN (1992) bildet der Untere Muschelkalk die erste von zwei Sequenzen innerhalb der germanischen Mitteltrias, welche einem Zyklus 3. Ordnung nach VAIL et al. (1977) entspricht.

In den beprobten Profilerien sind der Transgressive Systems Tract (TST) und Highstand Systems Tract (HST) dieser Sequenz dokumentiert. Unterer und Mittlerer Wellenkalk zeigen einen deutlich transgressiven Trend innerhalb des TST. Im Bereich der Terebratelbänke erreichte der Meeresspiegel den höchsten Stand während des gesamten Unteren Muschelkalks. Die maximale Überflutungsfläche (maximal flooding surface) wird nach den vorliegenden Untersuchungen (GÖTZ & FEIST-BURKHARDT 1995) an den Top der Oberen Terebratelbank gelegt. Der Obere Wellenkalk bildet den HST mit deutlich regressivem Trend. Die Sequenzgrenze liegt an der Basis der Evaporite des Mittleren Muschelkalks.

Die beschriebenen Unterschiede in der Palynofazies und den Palynomorphen-Assoziationen spiegeln transgressive und regressiv Trends innerhalb der Sequenz wider. Die Häufigkeitsverteilung des marinen Planktons scheint in diesem Zusammenhang die größte Aussagekraft zu besitzen (vgl. REITZ 1985, VISSCHER et al. 1993).

Die deutliche Zunahme des marinen Planktons ab dem höheren Mittleren Wellenkalk (Proben Pop 4, Hör 4) ist charakteristisch für den zunehmenden Anstieg des Meeresspiegels im späten TST. Der hohe Anteil marinen Planktons ist vom Zwischenmittel der Terebratelbänke (Proben Pop 5, Hör 5) bis in den Oberen Wellenkalk (Probe Pop 6) zu beobachten. Im späten HST, d.h. in der regressiven Phase, nimmt der Anteil an marinem Plankton wieder deutlich ab (Proben Pop 7, Hör 6).

Auch REITZ (1985) konnte im Unteren Muschelkalk der KB Remlingen 5 (Asse) die Dominanz des marinen Planktons ab dem oberen Drittel des Profils nachweisen, wobei dort die Acritarchen noch bis an die Grenze zum Mittleren Muschelkalk, d.h. auch im späten HST, mit mehr als 70 % überwiegen.

Die eigenen Beobachtungen sind jedoch sehr gut vergleichbar mit den Ergebnissen von VISSCHER et al. (1993), welche aus dem Unteren Muschelkalk der Forschungsbohrung Obernsees in Franken ein Häufigkeitsmaximum des marinen Planktons im höheren Profilabschnitt beschreiben. Dieser Bereich wird als maximum flooding surface (mfs) innerhalb der ersten Sequenz des Muschelkalks interpretiert. Im obersten Profilabschnitt nimmt der Anteil an marinem Plankton wiederum deutlich ab. Diese Entwicklung dokumentiert den regressiven Trend im späten HST.

Die vorliegenden Daten zeigen, daß die unterschiedlichen Palynomorphen-Assoziationen zur Charakterisierung der Systems Tracts innerhalb einer Sequenz herangezogen werden können. Um die Aussagekraft palynologischer Daten in der Sequenzanalyse des Unteren Muschelkalks zu verifizieren, ist eine höhere Proben-dichte innerhalb der Profile sowie die überregionale Bearbeitung von Profilerien im gesamten germanischen Becken erforderlich. Darüberhinaus ist zu untersuchen, ob sich die oben beschriebenen Trends auch in Zyklen niedrigerer Ordnung abbilden und somit für die sequenzstratigraphische Interpretation verwertbar sind (GÖTZ & FEIST-BURKHARDT, in Vorb.).

## 6. Aufschlußverzeichnis

- 1: Poppenhausen, Stbr. Remerzhof, GK 5525 Gersfeld (R 35 60 730, H 55 95 925)
- 2: Hörschel, Bahnprofil, GK 4927 Creuzburg (R 35 86 600, H 56 53 290)

## 7. Schriftenverzeichnis

- AIGNER, T. & BACHMANN, G. H. (1992): Sequence-stratigraphic framework of the German Triassic. - *Sed. Geol.*, **80**: 115-135, 14 Abb.; Amsterdam.
- BRUGMAN, W. A. (1986): A palynological characterization of the Upper Scythian and Anisian of the Transdanubian Central Range (Hungary) and the Vicentian Alps (Italy). - Diss., Lab. Palaeobot. Palynol. State Univ. Utrecht: 95 S., 6 Abb., 9 Tab., 15 Taf.; Utrecht.
- BRUGMAN, W. A., VAN BERGEN, P. F. & KERP, J. H. F. (1994): A quantitative approach to Triassic palynology: the Lettenkeuper of the Germanic Basin as an example. - In: TRAVERSE, A. (ed.): *Sedimentation of Organic Particles*: 409-429, 7 Abb.; Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- FISHER, M. J. (1972): The Triassic palynofloral succession in England. - *Geoscience and Man*, **4**: 101-109, 2 Abb.,

- 6 Tab., 2 Taf.; Baton Rouge.
- GEIGER, M. E. & HOPPING, C. A. (1968): Triassic stratigraphy of the southern North Sea basin. – *Philos. Transact. R. Soc. London, Ser. B*, **254**: 1–36, 9 Abb., 1 Tab., 4 Taf.; London.
- GÖTZ, A. E. (1995): Feinstratigraphie und Mikrofazies der Oolithbänke (Unterer Muschelkalk, Trias) Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete. – Diss. TH Darmstadt: 115 S., 10 Abb., 2 Tab., 12 Taf.; Darmstadt.
- GÖTZ, A. E. & FEIST-BURKHARDT, S. (1995): Sequence stratigraphical analysis of the Lower Muschelkalk (Middle Triassic, Anisian) in the German Basin: sedimentological and palynological aspects. – Abstracts of the Conference „Predictive High Resolution Sequence Stratigraphy“: 46A–D, 3 Abb.; Norsk Petroleums-forening, Stavanger.
- GÖTZ, A. E. & FEIST-BURKHARDT, S. (in Vorb.): Sequence stratigraphy and palynofacies of the Lower Muschelkalk (Middle Triassic, Anisian) in the German Basin. – Proceedings of the Conference „Predictive High Resolution Sequence Stratigraphy“, Norwegian Petroleum Society; Stavanger.
- HAGDORN, H., HORN, M. & SIMON, T. (1993): Vorschläge für eine lithostratigraphische Gliederung und Nomenklatur des Muschelkalks in Deutschland. – In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (eds.): Muschelkalk – Schöntaler Symposium 1991: 39–46; Korb (Goldschneck).
- HOCHULI, P. A., COLIN, J. P. & VIGRAN, J. O. (1989): Triassic biostratigraphy of the Barents Sea. – In: COLLINSON, J. D. (ed.): Correlation in Hydrocarbon Exploration: 131–153, 13 Abb.; London (Graham & Trotman).
- KLAUS, W. (1964): Zur sporenstratigraphischen Einstufung von gipsführenden Schichten in Bohrungen. – *Erdöl-Z.*, **4**: 119–132, 4 Taf.; Wien–Hamburg.
- LUKAS, V. (1991): Die Terebratell-Bänke (Unterer Muschelkalk, Trias) in Hessen – ein Abbild kurzzeitiger Faziesänderungen im westlichen Germanischen Becken. – *Geol. Jb. Hessen*, **119**: 119–175, 11 Abb., 1 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- MÄDLER, K. (1964): Die geologische Verbreitung von Sporen und Pollen in der Deutschen Trias. – *Geol. Jb. Beih.*, **65**: 1–147, 1 Abb., 3 Tab., 12 Taf.; Hannover.
- ORLOWSKA-ZWOLINSKA, T. (1977): Palynological correlation of the Bunter and Muschelkalk in selected profiles from Western Poland. – *Acta Geol. Polon.*, **27** (4): 417–438, 5 Abb., 8 Taf.; Warschau.
- ORLOWSKA-ZWOLINSKA, T. (1985): Palynological zones of the Polish epicontinental Triassic. – *Bull. Polish Acad. Sci. Earth Sci.*, **33** (3/4): 107–117, 2 Abb.; Warschau.
- REITZ, E. (1985): Palynologie der Trias in Nordhessen und Südniedersachsen. – *Geol. Abh. Hessen*, **86**: 1–36, 11 Abb., 11 Taf.; Wiesbaden.
- SCHULZ, E. (1966): Erläuterungen zur Tabelle der stratigraphischen Verbreitung der Sporen und Pollen vom oberen Perm bis untersten Lias. – *Abh. zentr. geol. Inst.*, **8**: 3–20, 1 Tab.; Berlin.
- STEFFEN, D. (1993): Influence des variations eustatiques sur la distribution de la matière organique dans les roches sédimentaires: Exemple de dépôts berriasiens de Bassins Vocotien, Ultrahelvétique et du Yorkshire. – *Publ. Dep. de Géologie et de Paléontologie*, **13**: 1–106, 36 Abb., 2 Taf.; Genf.
- TAPPAN, H. (1980): The Paleobiology of Plant Protists. – 1028 S.; W. H. Freeman & Company, San Francisco.
- TYSON, R. V. (1995): Sedimentary Organic Matter. – 615 S.; London (Chapman & Hall).
- VAIL, P. R., MITCHUM, R. M. & THOMPSON, S. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 4: global cycles of relative changes of sea level. – In: PAYTON, C. E. (ed.): *Seismic Stratigraphy – Applications to hydrocarbon exploration*. – *Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **26**: 83–97, 7 Abb., 1 Tab.; Tulsa.
- VISSCHER, H. & BRUGMAN, W. A. (1981): Ranges of selected palynomorphs in the alpine Triassic of Europe. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **34** (1): 115–128, 5 Tab., 1 Taf.; Amsterdam.
- VISSCHER, H., BRUGMAN, W. A. & VAN HOUTE, M. (1993): Chronostratigraphical and sequence stratigraphical interpretation of the palynomorph record from the Muschelkalk of the Obersees well, South Germany. – In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (eds.): *Muschelkalk – Schöntaler Symposium 1991*: 145–152, 4 Abb.; Korb (Goldschneck).
- VISSCHER, H. & COMMISSARIS, A. L. T. M. (1968): Middle Triassic pollen and spores from the Lower Muschelkalk of Winterswijk (The Netherlands). – *Pollen et Spores*, **12**: 161–176, 7 Taf.; Paris.
- WHITAKER, M. F. (1984): The usage of palynostratigraphy and palynofacies in definition of Troll Field geology. – In: *Offshore Northern Seas – reduction of uncertainties by innovative reservoir geomodeling*. – Norsk Petroleums-forening, article G6; Oslo.
- WILLE, W. (1970): *Plaesiodyctyon mosellanum* n.g., n. sp., eine mehrzellige Grünalge aus dem Unteren Keuper von Luxemburg. – *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, **H. 5**: 283–310, 15 Abb.; Stuttgart.

Manuskript eingegangen am 19.2.1996, angenommen am 7.3.1996

HANS HAGDORN & MANFRED SCHULZ\*

# Echinodermen-Konservatlagerstätten im Unteren Muschelkalk Osthessens

## 1. Die Bimbacher Seelilienbank von Großenlüder-Bimbach

### Kurzfassung

Zur Makrofauna der Bimbacher Seelilienbank (Mittlerer Wellenkalk, muW2-B; Zyklus muIIId; Anis, Pelson) Osthessens gehören hervorragend erhaltene, artikulierte Echinodermen. 246 Individuen von *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* von 3 bis 64 mm Kronenlänge gestatten die detaillierte Beschreibung von Morphologie, Ontogenie und Variabilität dieser

häufigsten *Encrinus*-Art des Unteren Muschelkalks, die zwischen *Encrinus brahli* und *E. aculeatus* steht. Von *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava*, einem frühen Vertreter der Euechinoidea, wird erstmals das Apikalsystem beschrieben. Die Verschüttungslagerstätte der Bimbacher Seelilienbank hat regionale Verbreitung. Die wenigen adulten Seelilien repräsentieren

eine Pioniergeneration, die sich auf erosiv freigelegtem Festsubstrat (Hartgründe, Intraklasten, Grobschill) ansiedelte. Die Dominanz juveniler Seelilien bei Bimbach belegt, daß sie zusammen mit der Folgegeneration durch Tonschlamm verschüttet wurde (Obrution), bevor diese heranwachsen konnte.

### Abstract

The macrofauna of the Bimbach Crinoid Bed (Middle Wellenkalk Member, muW2-B; cycle muIIId; Anisian, Pelsonian) of eastern Hesse (central Germany) contains outstandingly well preserved echinoderms. 246 individuals of *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* of 3 to 64 mm crown length allow a detailed description of the morphology, ontogeny and variability

of this most common Lower Muschelkalk *Encrinus* which occupies an intermediate position between *Encrinus brahli* and *E. aculeatus*. For the first time, the apical system of the early euechinoid *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* is described. The obrotional fossil lagerstaette of the Bimbach Crinoid Bed is covering a regional area. At Bimbach, the rare

adult crinoids represent a pioneering generation settling on erosional firm substrate surfaces (hard grounds, intraclasts, big shells). The dominating juveniles represent the second generation. The crinoids were smothered by catastrophic deposition of mud before they could grow larger.

### Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	98
2. Lage und Fundstellen	98
3. Fundschicht und Stratigraphie	99
4. Fauna	102
5. Paläoökologie	119
5.1. Rekonstruktion der fossilen Lebensgemeinschaft	119
5.2. Obrutionslagerstätte	119
5.3. Populationsstruktur	120
5.4. Synthese und Diskussion	121
6. Schriftenverzeichnis	122

\* Dr. h.c. H. HAGDORN, Muschelkalkmuseum Hagdorn, Schloßstraße 11, 74653 Ingelfingen, M. SCHULZ, Martin-Luther-Ring 16, 36137 Großenlüder

## 1. Einleitung

Konservatlagerstätten vom Typ der tempestitischen Verschüttungslagerstätten (Obrutionslagerstätten; SEILACHER et al. 1982) erlauben faszinierende Einblicke in vergangene Lebewelten. Außergewöhnliche, für benthische Organismen katastrophale Ereignisse haben uns nicht nur ein getreues Bild der fossilisationsfähigen Arten in ihrer auflistbaren Diversität überliefert, sondern zeigen darüber hinaus als „fossile Schnappschüsse“ von einer Schichtfläche Populationsdichte, Altersaufbau und ökologische Interdependenzen der fossil erhaltenen Teile in ihrer ehemaligen Lebensgemeinschaft. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß das Fossilmaterial flächenhaft gesammelt und möglichst vollständig ausgewertet wird.

Der Muschelkalk ist besonders reich an solchen Verschüttungslagerstätten, unter denen die Echinodermenlager – nicht zuletzt wegen ihrer schönen Fossilien – besonders attraktiv sind und deshalb besonders genau untersucht wurden (SEILACHER 1993). Das galt in erster Linie für den Oberen Muschelkalk (z.B. LINCK 1956, 1965, HAGDORN 1978, 1982, 1986). In jüngster Zeit sind durch glückliche Neufunde wieder Fundstellen aus dem Unteren Muschelkalk, insbesondere aus Niedersachsen, in den Mittelpunkt des Interesses gerückt (z.B. ERNST & LÖFFLER 1993, BIELERT & BIELERT 1995). Aus den osthessischen Muschelkalkgräben und aus der Rhön kannte man zwar seit SPEYER (1875) vereinzelte Crinoidenfunde, doch hat eine gezielte und systematische Besammlung erst in den letzten Jahren begonnen, was in verschiedenen Horizonten zu Neufunden unterschiedli-

cher, meist wenig bekannter Crinoiden, Echiniden und Ophiuren in nie dagewesener Fülle geführt hat.

Mit der vorliegenden Arbeit soll die wohl reichhaltigste dieser Lagerstätten nach Genese und Fossilinhalt beschrieben werden. Darstellungen weiterer osthessischer Echinodermenlager sollen folgen.

Das Material wurde in den Jahren 1983 bis 1987 geborgen und anschließend präpariert und aufbereitet. Außerdem wurde Vergleichsmaterial aus verschiedenen öffentlichen und privaten Sammlungen herangezogen. Das Beleg- und Vergleichsmaterial ist in folgenden Sammlungen hinterlegt:

- BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Außenstelle Berlin
- CKB – Sammlung WALTER KOCH, Großlütder-Bimbach
- CSG – Sammlung MANFRED SCHULZ, Großlütder
- HMG – Heimatmuseum Großlütder
- MB – Museum Für Naturkunde an der Humboldt-Universität Berlin
- MHI – Muschelkalkmuseum Hagdorn, Ingelfingen
- LNH – Landesmuseum für Naturkunde Hannover
- SMK – Sammlung MARTIN, Kronach
- SMNS – Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart

Wenige weitere Einzelstücke gelangten in verschiedene, hier nicht im einzelnen aufgeführte Privatsammlungen; eine Übersicht ist bei M. SCHULZ hinterlegt.

## 2. Lage und Fundstellen

Der Untere Muschelkalk ist in Osthessen im Bereich des Fuldaer, Großlütderer und des Lauterbacher Grabens und in der Rhön aufgeschlossen. Das hier bearbeitete Fundmaterial stammt aus dem aufgelassenen Steinbruch der Firma Hartung-Bau am südlichen Ortsrand von Großlütder-Bimbach, der jetzt als Erddeponie der Gemeinde Großlütder genutzt wird (TK 25 5423 Grosenlütder; R 35 42 00, H 56 03 56). Das innerhalb des Aufschlusses eng begrenzte Vorkommen der im folgenden beschriebenen Fauna ist abgebaut, und der damalige Aufschluß ist heute verfüllt. Am SE-Rand der Grube ist das Profil mit Teilen des Unteren Wellenkalkes, den Oolithbänken und dem Mittleren Wellenkalk bis über die Thüringische *Spiriferina*-Bank noch zugänglich.

Außer dieser Hauptlokalität Großlütder-Bimbach (1) wurde die Fundschicht in weiteren Aufschlüssen identifiziert, von denen einige gleichfalls artikulierte Echinodermenreste lieferten, wenn auch nicht in der Fülle und Erhaltung wie bei Bimbach. Es sind dies folgende Auf-

schlüsse:

- TK 25 5423 Großlütder
  - 2) Großlütder-Müs, Steinbruch Firma ZKW Otterbein (R 35 36 54, H 56 05 62)
  - 3) Fulda-Malkes, Romersberg (R 35 41 02, H 56 02 86)
  - 4) Fulda-Mittelrode, Haimberg (R 35 43 14, H 56 01 07)
- TK 25 5224 Eiterfeld
  - 5) Hünfeld-Roßbach, Steinbruch A. Bock (R 35 55 50, H 56 20 16)
- TK 25 5525 Gersfeld
  - 6) Poppenhausen, Steinbruch Firma Nüdling/Schrimpf (R 35 60 74, H 55 95 94)
- TK 25 5225 Geisa
  - 7) Eiterfeld-Ufhausen, Steinbruch Firma Held (R 35 59 37, H 56 25 78)
  - 8) Eiterfeld-Ufhausen, Steinbruch Firma A. Bock (R 35 59 58, H 56 26 04)
  - 9) Eiterfeld-Ufhausen, Steinbruch Firma Giebel (R 35 59 87, H 56 26 21)



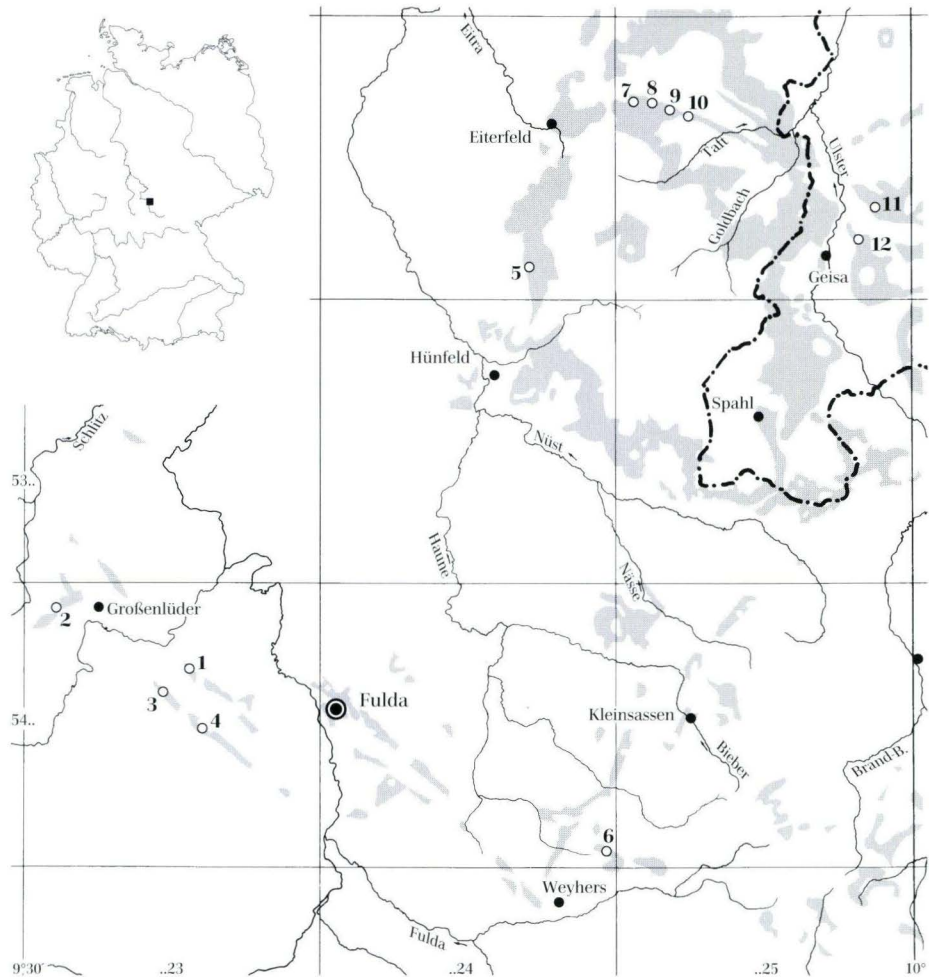


Abb. 1. Lage der Aufschlüsse und Ausstrich des Unteren Muschelkalks (gerastert) im Arbeitsgebiet.

- 10) Eiterfeld-Ufhausen, Steinbruch Nordhessische Basaltunion (R 35 60 14, H 56 26 30)
- 11) Geisa-Borsch, Nordhessische Basaltunion

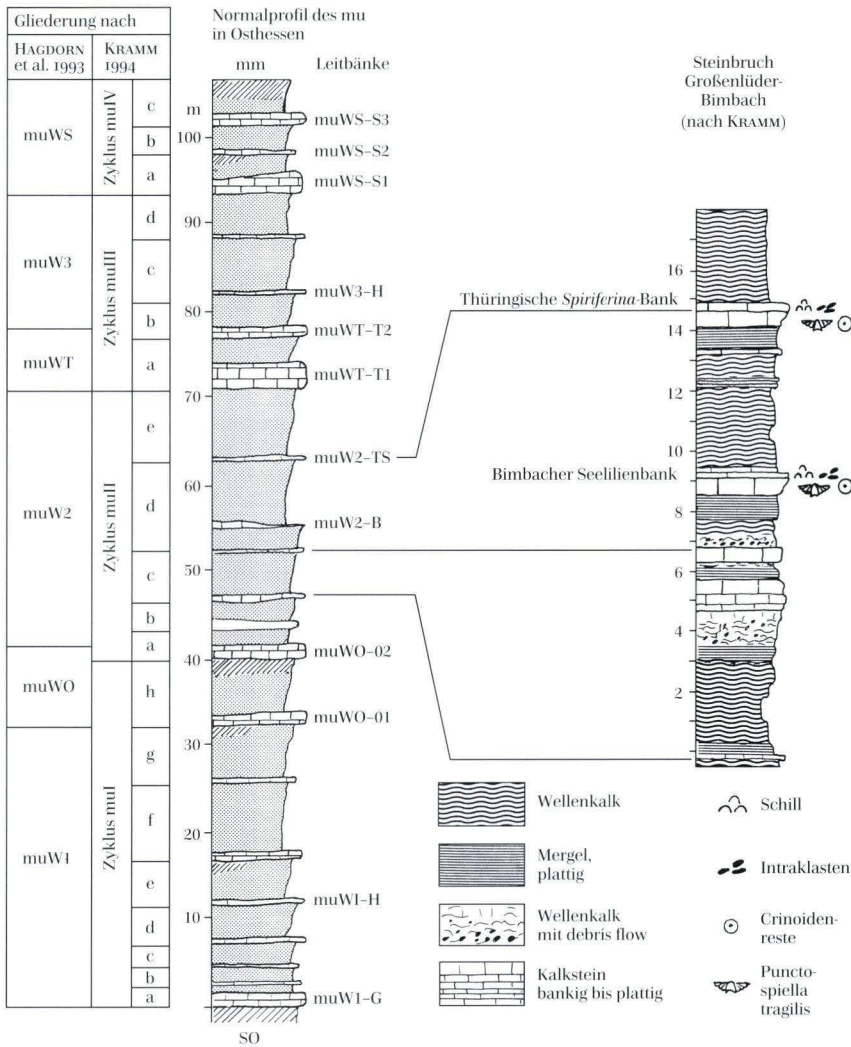
- (R 35 67 40, H 56 22 44)
- 12) Geisa, aufgelassener Steinbruch am Fuß des Zinkbergs (R 35 68 76, H 56 18 90).

### 3. Fundschicht und Stratigraphie

Im Bereich des Fundhorizontes wurden im aufgelassenen Steinbruch Bimbach folgende Schichten aufgenommen, die sich im Aufschlußbereich (drei besammelte Stellen; Abb. 3) lateral etwas verändern:

- 1) Ein Hartgrund von wenigen cm Dicke, in dem die Enteropneusten-Grabspur *Balanoglossites* eine vorausgegangene Festgrundphase, die Bohrspur *Trypanites* sowie *Encrinurus*-Haftscheiben in situ (CSG E-113) anschließende Zementation belegen. Der Hartgrund ließ sich in allen untersuchten Aufschlüssen nachweisen, verschwindet aber im Aufschlußbereich stellenweise; dort kann ihn eine Konglomeratbank (Biointrasparudite) vertreten, die den Hartgrund partiell auch noch überlagert und durch den ganzen Aufschlußbereich

durchgeht. Ihre Mächtigkeit schwankt von 0 bis 20 cm (Aufschluß 2, Großenlüder-Müs). Die Bank besteht aus mehreren Lagen, die in gradierter Dachziegellagerung und in dichter Packung dunkelgraue Mikritintraklasten mit rostbrauner Rinde oder durchweg rostbraune Intraklasten, Schill und einzelne größere Schalen sowie isolierte Echinodermensklerite enthält; ausserdem fanden sich auf der Oberfläche der Konglomeratbank wenige artikulierte Reste ausgewachsener Seelilien, ein Seestern und ein Seeigel. Die meisten Intraklasten sind kaum größer als die größeren Echinodermensklerite, doch dominieren im Erscheinungsbild die bis 4 cm Durchmesser erreichenden, jedoch maximal 5 mm dicken Scheiben aus aufgearbeitetem,



**Abb. 2.** Stratigraphische Einstufung der Bimbacher Seelilienbank ins Gesamtprofil des Unteren Muschelkalks von Osthesen (nach HAGDORN et al. 1993 und KRAMM 1994).

dünnschichtigem Wellenkalk und Hartgrundrelikten. Ein Teil der Intraklasten ist angebohrt (*Trypanites*). In dieser Bank fanden sich recht häufig Einzelklappen von *Punctospirella*, während *Enantiostreon*, *Newaagia*, *Plagiostoma lineatum*, „*Mytilus*“ *eduliformis* und *Lyrionomyphoria* nur vereinzelt auftreten. Größere Schalen liegen als drusige und teilzementierte Hohlräume aus einem gelblichen bis rostbraunen Kalzit vor. Schalenhohlräume von *Enantiostreon* sind von sedimentverfüllten Bohrspuren (*Calciroda*, *Talpina*) durchsetzt. Die Konglomeratbank tritt auch in den Steinbrüchen bei Ufhausen (Aufschlüsse 7–10) auf, ist dort aber nicht durchgängig entwickelt.

2) Ein gelblich-grauer Mergel von 10 bis 15 cm Mächtigkeit, der nach oben hin kalkiger (fester) wird und Glimmerschüppchen führt. An der Grenzfläche des Mergels zur hangenden Kalksteinbank (3) fanden sich größere, meist angebohrte Intraklasten mit aufsitzenden Crinoidenhaftscheiben. Dabei ließen sich Haftscheiben aus mindestens zwei Besiedelungsgenera-

tionen unterscheiden: (a) größere, angelöste und angebohrte Haftscheiben ohne anhängende Stielreste und (2) Haftscheiben und Haftscheibengruppen (bis 15 Individuen), z.T. sogar mit vollständigen Crinoiden in situ, außerdem artikulierte Seeigel. In diesem Niveau liegen auch isolierte Klappen von *Plagiostoma lineatum* und Grobschill bzw. unter Kompaktion zerbrochene Klappen in wirrer Lagerung. Unter und in den Klappen liegen einzelne Intraklasten. Auch die übrige Fauna stammt aus dieser Lage: *Newaagia* und *Enantiostreon*, z.T. mit aufsiedelnden Crinoiden, die Brachiopoden *Punctospirella* (Einzelklappen), *Aulacothyris* (doppelklappig). Ursprünglich aragonitschalige Mollusken sind als Steinkerne (Druckschattenkonkretionen) erhalten. Zusammenhängende Seelilien fanden sich unmittelbar über dem Hartgrund bei Ufhausen, in der Konglomeratbank und an ihrer Oberfläche im Profil Haimberg.

3) Im Profil Bimbach geht der Mergel in einen bis 10 cm mächtigen, krümeligen Kalkstein (Biopelsparit) mit

Echinodermenskleriten und Schill über; auf den Schichtflächen liegen isolierte Echinodermensklerite, Brachiopodenschalen, *Plagiostoma*, aber auch noch zahlreiche artikulierte Echinodermen. Diese Schicht ist stellenweise erosiv in den liegenden Mergel eingetieft; in solchen Kleinrinnen sind dann häufig Schalen angereichert. Diese Strukturen sind außerdem überprägt durch einen diagenetischen Effekt verstärkter Zementation in dem zwischen den Schalen weniger komprimierten Sediment. Selektive Zementation zeigen auch einzelne eingekippte *Plagiostoma*-Klappen in Schicht 2 an, unter deren zentraler Wölbung der Mergel zu kalkigen Druckschattenkonkretionen verfestigt ist, während gegen den Klappenrand die Zementation aussetzte und die Ränder der Muschelklappen unter dem Setzungsdruck des kompaktierten Mergels zerbrachen. Auf der ebenschichtigen Bankoberfläche fand sich ein Seeigelgehäuse mit Bestachelung (CSG EB-15).

- 4) Darüber lagern ca. 10 cm ebenschichtige Mergelkalke mit vereinzelt doppelklappigen *Plagiostoma lineatum*, von welchen zwei Exemplare von juvenilen *Encrinurus* bewachsen sind (Abb. 10). Es folgen noch 2 Kalksteinbänkchen von ca. 6 cm Dicke und unebener Oberseite, die von einer dünnen Mergellage getrennt sind, und schließlich Wellenkalk.

Im Aufschluß 12 bei Geisa fanden sich über der Konglomeratbank in dem Mergel, zum Teil auch im überlagernden Wellenkalk, einzelne faust- bis kopfgroße Intra-klasten, die mit *Encrinurus*-Haftscheiben unterschiedlicher Größe inkrustiert sind.

Die Fundschicht wurde von KRAMM (1986, 1994) in den Mittleren Wellenkalk eingestuft. Sie liegt knapp 6 m unter der Thüringischen *Spiriferina*-Bank, einem wichtigen regionalen Leithorizont, im Zyklus mu1Id. Dieser Bank entspricht nach WENDLAND (1980) die Bank f<sub>3</sub> Ostthüringens (vgl. WAGNER 1897); die Bimbacher Seelilienbank könnte dann mit WAGNERS Bank f<sub>2</sub> parallelisiert werden. Der Zyklus mu1Id setzt nach KRAMM in Ostthessen nicht mit einer Bankfolge, sondern mit unebenschichtigen festen Wellenkalken ein. Die Bimbacher Seelilienbank mit dem Hartgrund und meist auch die Konglomeratbank lassen sich zwischen Kaltensundheim, Fulda-Mittelrode und Eiterfeld 1,5–2,5 m über der Basis des Zyklus nachweisen, ebenso die plattigen Mergelkalke im Hangenden. Weiter nach Süden, in der bayerischen Rhön und am Main, läßt sich diese Bankfolge nicht mehr erkennen. Profile dieser Aufschlüsse bei KRAMM (1994).

Eine sequenzstratigraphische Interpretation wird plausibler, wenn man die Zyklus-, Parasequenz- bzw. Sequenzgrenze (bei Deutung als Hochfrequenz-Sequenz, vgl. AIGNER & BACHMANN 1993) an die Basis der Konglomeratbank legt, wo nach einer Omissionsphase (Hartgrund) ereignisbedingte, erosive Aufarbeitung stattgefunden hat.

Biostratigraphisch gehört der Mittlere Wellenkalk nach KOZUR (1974) bereits zum Pelson (*decurtata*-Zone, nach Conodonten: *kockeli*-Zone). Der Index-Brachiopode *Decurtella decurtata* ist allerdings bislang von seinem oberschlesischen Vorkommen nach Westen nur bis in den Raum Halle/Saale nachgewiesen. Das jüngste Vorkommen des Cephalopoden *Beneckeia buchi*, welcher in



Abb. 3. Fundstelle der Echinodermen und Schichtenfolge im muW2 (Zyklus mu1Id) des Steinbruchs Hartung-Bau in Großenlöder-Bimbach (jetzt Erddeponie). Foto W. REUS.

der ins Unteranis eingestuften Assemblagezone mit *Beneckia buchi*, *Myophoria vulgaris* und *Dadocrinus* leitet,

liegt im Bereich der Unteren Oolithbank. Mikropaläontologische Untersuchungen der Profile liegen nicht vor.

## 4. Fauna

Die im Vergleich mit den Terebratel- oder den Schaumkalkbänken nicht besonders diverse Fauna umfaßt häufige und gut bekannte Arten, die in zahlreichen Horizonten des Unteren Muschelkalks auftreten, außerdem die weniger gut oder kaum bekannten Crinoiden, Echiniden, Seesterne und Brachiopoden (Tab. 6). Deshalb legen wir das Hauptgewicht bei der Beschreibung der einzelnen Arten auf diese Formen, während die Ubiquisten nur mit knappen Angaben verzeichnet werden. Die Mengenangaben beziehen sich auf das geborgene, präparierte und inventarisierte Material. Die „gewöhnlichen“ Taxa sind im inventarisierten Material im Vergleich mit ihrer wirklichen Häufigkeit jedoch unterrepräsentiert.

Echinodermata KLEIN, 1734

Crinoidea MILLER, 1821

Articularia MILLER, 1821

Encrinidae DUJARDIN & HUPÉ, 1862

*Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850

Abb. 4–11, Tab. 1–2

**Material:** 246 Exemplare, davon ca. 9 vollständig, die anderen artikuliert, jedoch mehr oder weniger fragmentarisch, darunter aber zahlreiche vollständige Kronen mit proximalen Stielresten: CKB E-1 bis E-63; CSG E-1 bis E-113; MHI 1152/1 bis 1152/19; SMNS 26682/1 bis 26682/17; einzelne Exemplare in verschiedenen Privatsammlungen und im HMG. Weitere, isolierte Stiel- und Kronenreste MHI 1152. Genaue Belege über Materialverbleib und alle Meßdaten sind bei M. SCHULZ hinterlegt.

Das *Encrinus*-Material von Bimbach ist das nach Umfang und Erhaltung bedeutendste und aufschlußreichste dieser Gattung, das bisher von einer einzelnen Lokalität im Unteren Muschelkalk bearbeitet wurde. Es eignet sich ganz besonders für Untersuchungen der Altersstruktur und der Variabilität der Population und ihres Schicksals, darüber hinaus für die Beurteilung des

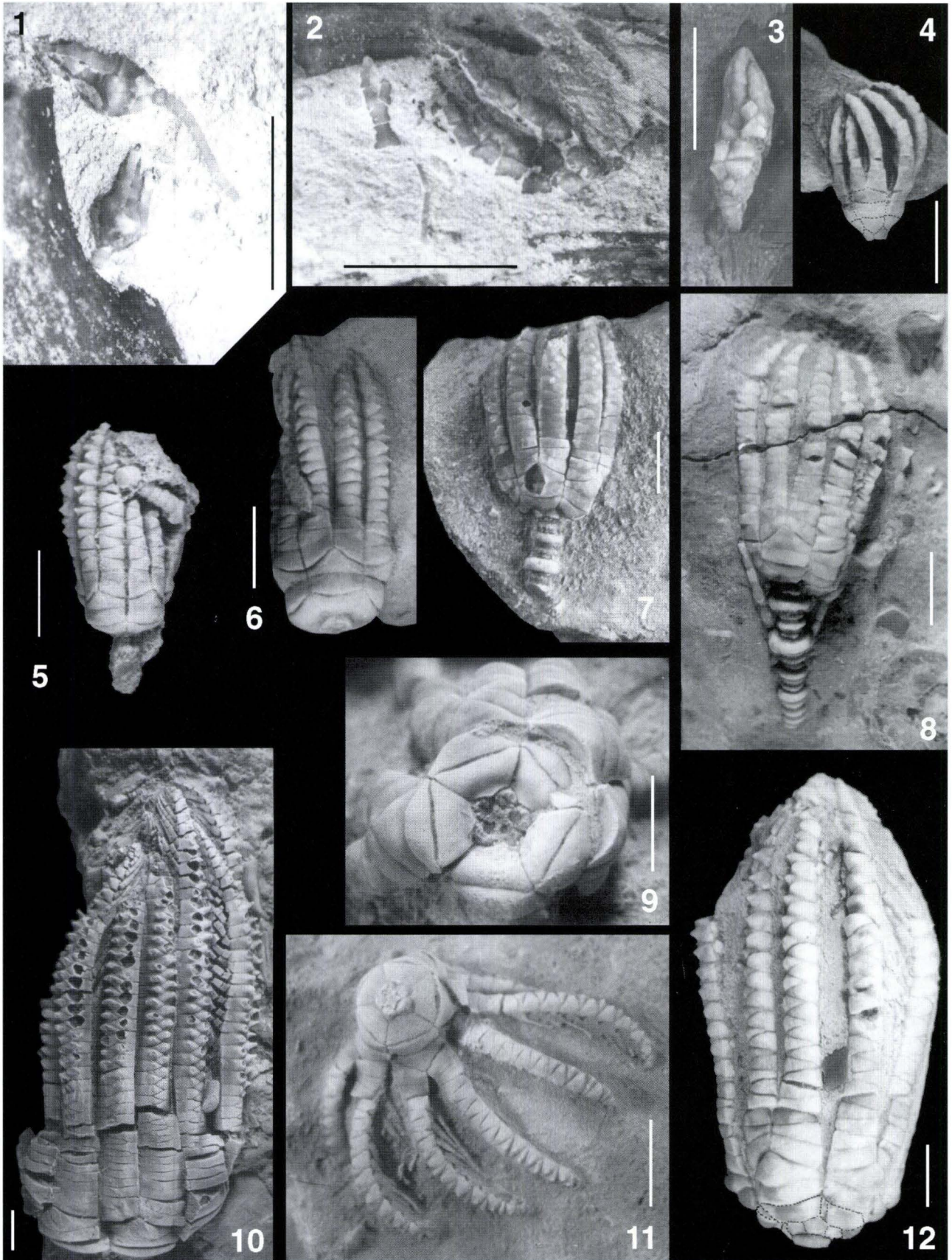
Wertes diagnostischer Merkmale bei den *Encrinus*-Arten des Unteren Muschelkalks. Bislang wurden Taxa stets anhand von weit weniger umfangreichem Material oder nur nach Einzelstücken aufgestellt. Um zu quantifizierbaren Aussagen zu kommen, wurden die vorliegenden Stücke vermessen und mit Kennnummern versehen. Die wichtigsten Meßdaten sind im Appendix erfaßt.

**Beschreibung:** Das Material umfaßt vollständige juvenile Individuen von 2,2 mm bis zu adulten von 64 mm Kronenlänge; allerdings sind semiadulte Exemplare zwischen 16 und 26 mm Kronenlänge am häufigsten vertreten (vgl. Abb. 6). BIESE (1927) wertet Individuen von *Encrinus brahli* mit einer Radialia-Breite von 8 mm als adult; nach diesem Maßstab liegen nur zwei adulte Kronen vor (Abb. 8). Meßdaten ausgewählter Individuen aller vorliegenden Größenabstufungen sind in Tab. 1 zusammengestellt. Die folgende Beschreibung geht von den wenigen adulten Kronen aus.

Die Bimbacher Seelilie ist eine relativ kleine *Encrinus*-Art, deren Kronenlänge unter 70 mm und deren (geschätzte) Gesamtlänge unter ca. 400 mm bleibt. Krone und Arme wirken im Vergleich mit typischen, gleichgroßen *Encrinus liliiformis* etwas weniger gedrungen. Der Kelch ist flach konisch bis schüsselförmig und hat eine schwach konvexe bis subhorizontale Basis. In Dorsalan-sicht ist der Kelch regelmäßig fünfseitig und wird in jedem Radius von den beiden Primibrachialia überragt.

Die rautenförmigen Infrabasalia bilden einen regelmäßigen Stern, der ein gerundetes Lumen umgibt und – wie bei allen Encriniden – die Stielgrube nicht überragt; die Infrabasalia sind also vom Stiel ganz bedeckt und von außen nicht sichtbar (kryptodizyklischer Kelchbau). Wo der Stiel fehlt, sind die Infrabasalia sichtbar (Abb. 4; 9, 11). Ihre Dorsalseite ist flach gewölbt und überragt die Ebene der Stielgrube etwas.

**Abb. 4.** *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850. Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus mu11d), Großenlüder-Bimbach. Maßstab jeweils 5 mm. **1, 2** Juvenile Individuen, auf der Liegefläche von *Plagiostoma lineatum* fixiert; Schicht 4. CSG E-102. Fotos W. REUS. **3** Juvenile Krone mit konischem Kelch und flach aufgerichteten Basalia, auf *Plagiostoma lineatum* fixiert; Schicht 2. MHI 1152/3. **4** Juvenile Krone mit konischem Kelch und flach aufgerichteten Basalia; Schicht 2. CSG E-66. Kelchsuturen nachgezeichnet. **5** Juvenile Krone mit flach schüsselförmigem Kelch und steil aufgerichteten Basalia, die von der Seite nur noch knapp sichtbar sind; Arme noch durchweg uniserial; Schicht 2. CSG E-67. **6** Juvenile Krone; Dorsalseite der IBr1 annähernd rechtwinkelig zur Dorsalseite des schüsselförmigen Kelches; Schicht 2. CSG E-63. **7** Halbwüchsige Krone, Basalia seitlich sichtbar, Arme ab IBr7 wechselzeilig; Schicht 3. MHI 1152/1. **8** Halbwüchsige Krone, Arme ab IBr10 wechselzeilig; zweites Nodale mit Zirren; Schicht 3. MHI 1152/14. **9** Kelch eines halbwüchsigen Individuums von dorsal, Basis etwas eingedrückt; Schicht 3. MHI 1152/4. **10** Adulte Krone mit biserialen Armen ab IBr8; Schicht 1; CKB E-11. **11** Halbwüchsige Krone mit schüsselförmiger Theka, aber seitlich sichtbaren Basalia, Arme wechselzeilig ab IBr9; Schicht 3. CSG E-14. **12** Halbwüchsige Krone mit schüsselförmiger Theka und seitlich sichtbarem Basalkranz, Arme ab IBr11 wechselzeilig; Schicht 2. CSG E-68. Kelchsuturen nachgezeichnet.



Die Basalia sind bei adulten Individuen von der Seite nicht mehr sichtbar, bei semiadulten treten sie zwischen den Radialia deutlich sichtbar hervor, sofern die Basis nicht in den Radialkranz gedrückt wurde (Abb. 4: 7, 12). Der freiliegende Teil ihrer Dorsalseite ist relativ lang, kaum aufgetrieben und greift distal weit zwischen die Radialia aus. Die Basalia stehen beim Adultus unter einem Winkel von ca. 90° gegen die Stielachse steil aufgerichtet. Bei juvenilen Individuen bleibt der Aufrichtungswinkel - je nach Größe des Individuums - mehr oder weniger deutlich unter 90°. Am Rand der Stielgrube umgibt die Basalia ein schwacher Wulst. Ihr in der Stielgrube liegender Teil hat breit tropfenförmigen Umriß und umschließt eine vertiefte Petale mit einem crenulierten Rand; so erhält die Stielgrube ihren gerundet pentalobaten Umriß. Die radialen Suturen zwischen den Basalia sind in der Stielgrube von kurzen Crenellen oder Granulen flankiert, die das Muster der Radiärstege auf die proximalen Stielglieder übertragen.

Die Radialia sind dorsal fünfseitig, wobei die beiden proximalen Facetten, die mit den Basalia artikulieren, einen stumpfen Winkel einschließen. Die Dorsalseite der Radialia ist distal schwach gewölbt, bleibt aber ohne sackartige Wülste, wie sie *Encrinus aculeatus* auszeichnen. Proximal ist die Dorsalseite der Radialia meist eingesenkt, so daß der erhabene Basalkranz von einer mehr oder weniger breiten Depression umgeben ist. Die schräg nach außen und oben gerichteten Radialfacetten sind muskulär und haben eine tiefe aborale Ligamentgrube. Stärkere adorale Flügel als Muskelansätze konnten mangels gut erhaltenen isolierten Materials nicht beobachtet werden. Wie an verdrückten Kelchen zu sehen, haben die interradianalen Facetten vertiefte Ligamentgruben, sind also synostosal; randliche Kerbung war an den kleinen Skleriten nicht zu beobachten. Der taphonomische Befund zeigt, daß auch die interbasalen und die basal-radialen Facetten synostosal waren, denn häufig ist der Stiel mit dem Basalkranz ins Kelchinnere gedrückt, oder der Radialkranz ist verschoben (Abb. 4: 9). Solche Verdrückungsformen treten bei *Encrinus liliformis* mit fest gefügtem, zygosynostosalem Kelch gewöhnlich nicht auf. Der Kelch des Bimbacher *Encrinus* war demnach nicht so fest gefügt wie der Kelch von *Encrinus liliformis*. Die Längen-Breiten-Relationen der Basalia und Radialia belegen verstärktes allometrisches Breitenwachstum der Radialia (Abb. 8).

Die relativ schlanken Arme teilen sich regelmäßig am zweiten, axillären Primibrachiale. Sie sind auch beim Adultus zunächst uniserial und werden dann wechselzeilig; echte Biserialität mit einer dorsalen, annähernd rechtwinkeligen Zickzacknaht aus kurzen Zuschärfungsflächen tritt nur bei den wenigen adulten Individuen auf (Abb. 4: 10). Der Anteil der Arme an der Gesamtlänge einer Krone nimmt mit der Größe des Indi-

viduums von ca. 70 % auf mehr als 95 % zu. Das erste Primibrachiale hat eine glatte, meist schwach gewölbte Dorsalseite, die bei den semiadulten Individuen annähernd parallel zur Kronenlängsachse verläuft (Abb. 4: 5, 6); die Dorsalseiten von Radiale und erstem Primibrachiale stehen dann also fast rechtwinkelig zueinander. Die proximale Suture buchtet sich leicht gegen das Radiale ein, die relativ hohen Seitenflächen artikulieren mit dem Primibrachiale im benachbarten Strahl. Isoliertes Material, das die Facetten zeigt, liegt nicht vor. Das axilläre zweite Primibrachiale ist in der Mitte der Dorsalseite schwach bis kräftig kugelig aufgetrieben; von dort verflacht die Wölbung nach allen Seiten, besonders nach interradianal. Die Seitensuturen sind deutlich kürzer als die der ersten Primibrachialia. Die zweiten Primibrachialia artikulieren mit den ersten aber

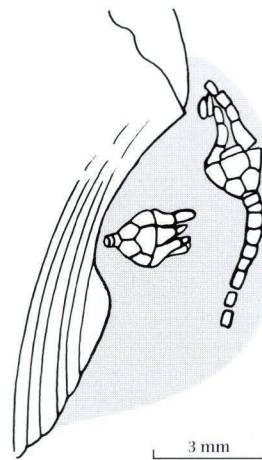


Abb. 5. *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850. Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus muII d), Großlüder-Bimbach. Juvenile Kronen mit konischem Kelch, auf *Plagiostoma lineatum* fixiert; wie Abb. 4: 1 und 8: 3; Schicht 4. CSG E-102.

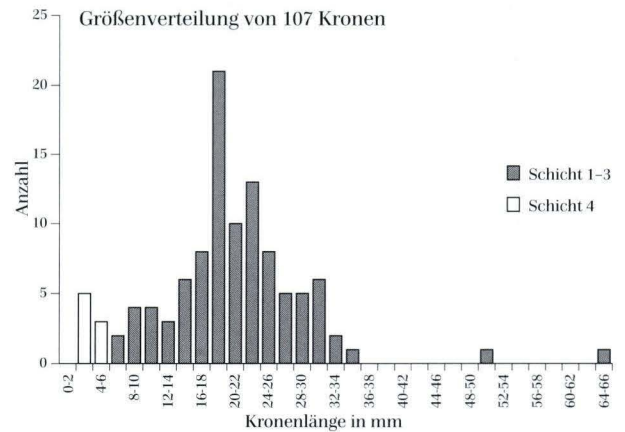


Abb. 6. Längen der vollständigen Kronen (CKB, CSG, MHI, SMNS). Die Längenverteilung in Schicht 1-3 zeigt eine Pioniergeneration aus wenigen adulten Individuen und eine einzige Folgegeneration an, die zusammen mit der Pioniergeneration verschüttet wurde. Die juvenilen Individuen aus Schicht 4 repräsentieren eine spätere Pioniergeneration, die schon kurz nach der Ansiedlung verschüttet wurde.

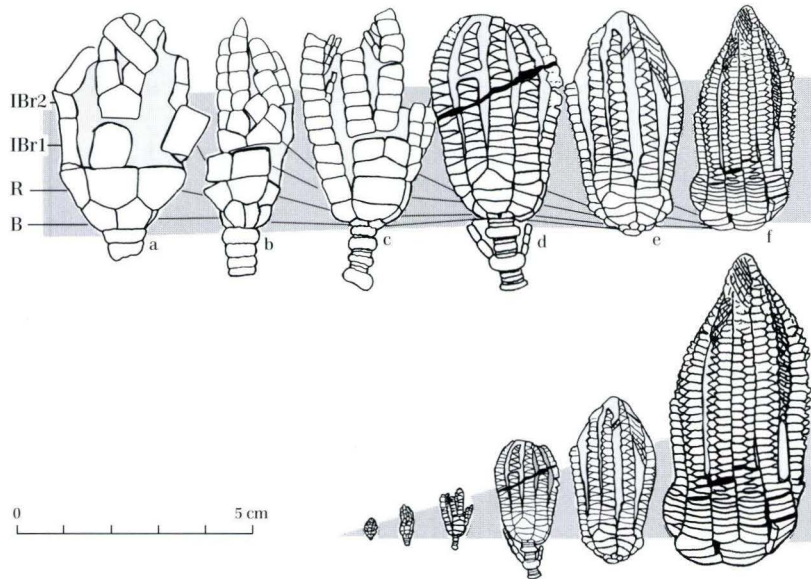
stets über die ganze Breite. Die wenigen vorliegenden isolierten Stücke zeigen glatte, zygosynostosiale Proximalfacetten und die üblichen muskulären Distalfacetten, die durch die dorsale Aufblähung etwas vergrößert sind. Die fein crenulierte, doppelt geschwungene Suture zwischen erstem und zweitem Primibrachiale liegt schwach bis mäßig vertieft. Die dorsale Aufblähung der Armglieder nimmt mit dem Alter generell zu, doch bestehen bei den untersuchten Kronen erhebliche individuelle Unterschiede in der Skulptur der Dorsalseite.

Das erste und zweite Sekundibrachiale bilden ein durch Zygosynostose fest verbundenes Paar mit kaum vertiefter Suture. An der Distalfacetten des zweiten Gliedes ist der Längenunterschied des Axillares ausgeglichen, so daß die Suture senkrecht zur Kronenlängsachse zu liegen kommt. Die uniserialen, proximalen Armglieder haben fast ebene oder flach gewölbte, am Rand nicht aufgebördelte, skulpturlose Dorsalseiten und fallen seitlich mit steiler Kante ab. Bei juvenilen Individuen bis 14 mm, vereinzelt bis 18 mm Kronenlänge sind die Arme durchweg uniserial, wobei die Suturen wechselnd schräg liegen. Bei größeren Kronen setzt Wechselzeiligkeit ein, aber durchaus nicht einheitlich (vgl. Tab. 1). Dabei ist wechselnd die rechte oder die linke Seitenfläche etwas länger, und die Brachialia nehmen keilförmige Dorsalseiten an. Von Wechselzeiligkeit ist zu sprechen, wenn ein Armglied den gegenüberliegenden Rand des Armes nicht mehr erreicht, die spitz-

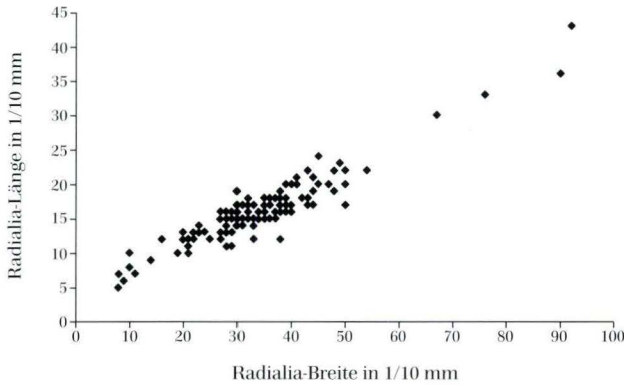
**Tab. 1.** Meßdaten ausgewählter Individuen von *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850

Sammlung	Länge Krone	Ø Theka	Länge Arme	Anzahl IIBr	biserial ab IIBr	Länge Stiel	Gesamtlänge
CKB E 46 a	2,2	1,2	0,3	1			
CSG E 102 d	3,5	1,7	1,0	2			
CKB 46 b	4,6	1,7	2,0	3			
CSG E 102 a	6,0	2,8	2,5	7			
CKB E 34	7,0	3,2	3,5	8			
MHI 1152/15	10,0	3,0	7,3	ca. 11			
CSG E 66	10,6	3,3	7,5	14			
CSG E 7 b	12,0	4,3	9,5	15			
CSG E 56	14,7	5,0	12,9	15			
CSG E 7 c	15,4	5,0	13,3	16			
CSG E 1 a	17,3	5,5	14,6	ca. 24		35,0	52,3
CSG E 3	18,0	5,5	15,0	15			
CSG E 8	19,4	5,2	16,2	16			
CSG E 23 b	21,3	6,0	17,8	17	IIBr 7		
CSG E 4 b	24,0	7,0	20,0	19	IIBr 9		
CSG E 1 b	26,7		24,0	23	IIBr 11	73,0	100,0
CSG E 13	30,0	7,7	21,6	23	IIBr 7		
CSG E 2	32,0	7,5	28,0	ca. 25	IIBr 7		
CSG E 68	35,7	8,2	30,7	25	IIBr 8		
CSG E 16 b	52,0	14,1	45,0	min. 32	IIBr 3		
CSG E 11	64,2		58,3	36	IIBr 5		

Maße in mm



**Abb. 7.** *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850. Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus muII<sub>d</sub>), Großenlüder-Bimbach. Ontogenie. Obere Reihe: Kronen von Individuen unterschiedlichen Alters, auf einheitliche Größe gezeichnet. Alle Sklerite wachsen allometrisch verstärkt in die Breite; der Anteil des Kelches an der Kronenlänge nimmt ab. **a** Kelch konisch, max. 3 IIBr, noch keine Pinnulae entwickelt. MHI 1152/16. **b** 6 IIBr, noch keine Pinnulae. MHI 1152/3 (wie Abb. 4: 3). **c** Kelch schüsselförmig, Basalia von der Seite sichtbar, Pinnulae. MHI 1152/15. **d** Arme wechselzeilig ab IIBr11. MHI 1152/14 (wie Abb. 4: 6). **e** Arme wechselzeilig ab IIBr12. CSG E-68 (wie Abb. 4: 12). **f** Basalia von der Seite nicht mehr sichtbar, Arme ab IIBr8 zweizeilig. CKB E-11 (wie Abb. 4: 10). Untere Reihe: dieselben Individuen maßstäblich. Abkürzungen: B = Basale, R = Radiale, IBR1 = Primibrachiale 1, IBR2 = axilläres Primibrachiale 2, IIBr1 = Sekundibrachiale 1.



**Abb. 8.** Radialia-Breite gegen Länge von 134 Individuen. Die Radialia wachsen allometrisch verstärkt in die Breite

winkelige Zickzacknaht aber fast über die ganze Dorsal-seite des Armes reicht. Generell kann dabei dennoch gelten: Je größer ein Individuum, desto früher erfolgt der Umschwung von der Einzeiligkeit zur Wechselzeiligkeit, nie jedoch vor dem fünften Sekundibrachiale. Stets bleiben die obliquen Zuschärfungsflächen der interbrachialen Suture zum Nachbarglied der Gegenzeile länger als die Parallelnähte zum Nachbarglied derselben Zeile. Auch bleiben die Winkel der Zickzacknaht selbst bei den größten Kronen deutlich unter 90° (bei Abb. 4: 10 ca. 65°, bei CSG E-16 ca. 70°, bei HMG E-2 ca. 70°). Im mittleren und distalen Abschnitt rundet sich die Dorsalseite der Arme zunehmend, und die scharf abgesetzten Lateralfächen verschwinden. Ein dichter Kronenschluß war also in diesem Armabschnitt kaum möglich. Die wechselzeiligen Brachialia werden mit zunehmender Kronenlänge dorsal aufgebläht und tragen bei Individuen ab ca. 15 mm Kronenlänge kleine Pusteln oder Spitzen. Bei den adulten Kronen sitzen diese Ornamente nahe der Zickzacknaht; seitlich davon sind die Arme mit einer schrägen Kante abgebösch. Stärke und Ausbildung der dorsalen Ornamente auf den Brachialia unterliegen individuellen Schwankungen. Die Armspitzen sind nach innen gekrümmt, so daß die Kronen auch distal geschlossen werden konnten.

Isoliert gefundene uniseriale Sekundibrachialia haben oblique, muskuläre Facetten, was eine aktive Beweglichkeit der proximalen Arme belegt. Weiter distal treten nur noch ligamentäre Verbindungen auf. Die Zahl der Sekundibrachialia hängt von der Armlänge ab. An den kleinsten Individuen wurden nur zwei langgestreckte Se-

kundibrachialia gezählt. Mit zunehmender Armlänge nimmt ihre Zahl zu; gleichzeitig werden die Glieder im Verhältnis zur Länge breiter, wachsen also wie auch die Radialia und die Primibrachialia allometrisch verstärkt in die Breite (Abb. 7). An der größten Krone wurden pro Zeile bis 36 Sekundibrachialia gezählt.

Am dritten Sekundibrachiale setzt die erste Pinnula an. Die Pinnulae werden bis 10 mm lang und bestehen aus maximal 12 Gliedern. Generell ist das zweite Pinnulare etwas länger als das erste (Abb. 9: 3). An der Armspitze nimmt die Zahl der Pinnularia rasch ab. Die Pinnularia sind meist glatt; an manchen Individuen (z.B. MHI 1152/2) zeigen die Pinnularia an den Außenseiten jedoch pectinate Riefen, wie sie von *Encrinus liliformis* und *Chelocrinus carnalli* bekannt sind. Dieses Merkmal scheint bei dem Bimbacher *Encrinus* aber nicht konstant aufzutreten. Abb. 9:2 zeigt auch die unregelmäßigen Deckplättchen in der Nahrungsrinne der Pinnularia.

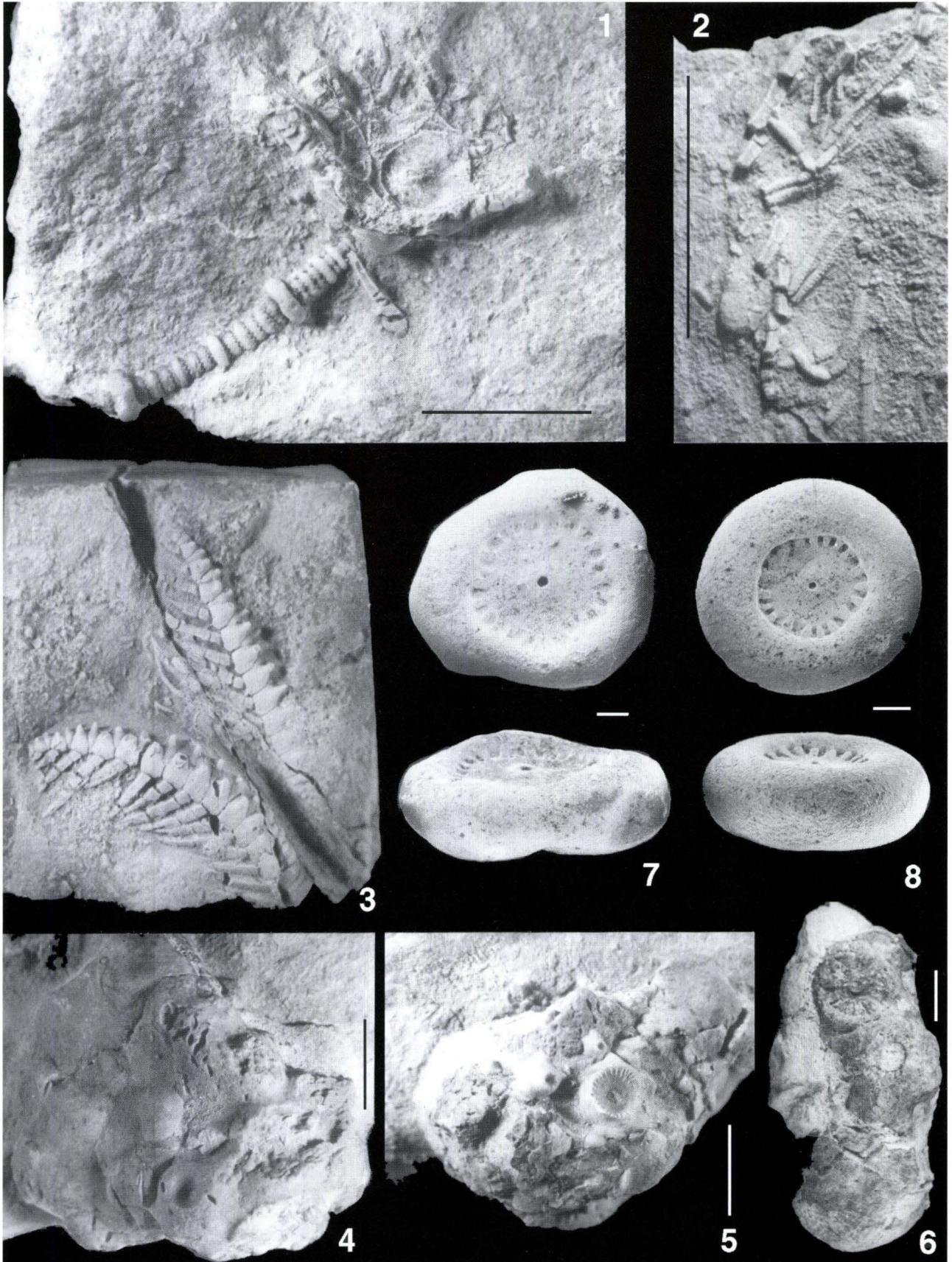
An drei Exemplaren (CKB E-16-c, E-20, E-27), die mit ausgebreiteten Armen, die Ventralseite nach unten gerichtet, eingebettet wurden, liegt die Kelchdecke mit dem Analtubus frei (Abb. 9: 1). Die Kelchdecke besteht aus kleinen (100–300 µm), unregelmäßig polygonalen Täfelchen von meist dunkelvioletter Färbung. Das geschlossene Tegmen erstreckt sich über die Ventralseite der freien Arme bis ungefähr zur Höhe der ersten Sekundibrachialia. Weiter distal folgen ambulakrale Täfelchen im Bereich der Nahrungsrinne von Brachialia und Pinnularia. Auf der Kelchdecke konnten ambulakrale Täfelchen genausowenig unterschieden werden, wie sich der Verlauf der Ambulakralrinne genau feststellen ließ. Der Analtubus ist sehr kurz und besteht gleichfalls aus polygonalen Täfelchen; verlängerte oder sonst vergrößerte Plättchen waren nicht festzustellen. Die Kelchdecke war flexibel; bei den vorliegenden Exemplaren ist sie auf den Kelchboden eingesunken, denn ihr Lumen wurde nicht als Hohlraum zementiert.

Der Stiel des Bimbacher *Encrinus* konnte an einigen vollständigen Individuen analysiert und vermessen werden (Beispiele in Tab. 4). Ferner sind zahlreiche Kronen mit mehr oder weniger langen Stücken vom Stiel erhalten geblieben, die weitere Daten lieferten. Leider liegt kein vollständiges adultes Individuum vor, so daß nur eine Schätzung der maximalen Gesamtlänge des Tieres auf ca. 400 mm möglich ist. Von kleineren Tieren liegen dagegen komplette Stiele vor. Dabei gilt generell, daß –



**Abb. 9.** *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850. Bimbacher Seelilienbank(muW2, Zyklus muIIId), Großenlüder-Bimbach. Maßstab, wenn nicht anders angegeben, 1 cm. **1** Kelchdecke und Ventralseite der proximalen Arme, z.T. mit erkennbaren Ambulakralrinne; Nodale mit Zirrensockel; Schicht 3. CKB E-27. **2** Pinnulae mit pectinater Riefung und ventralen Deckplättchen; Schicht 2. MHI 1152/17. **3** Armspitzen mit Pinnulae; Schicht 3. MHI 1152/5. **4, 5** Inkrustierter Intraklast; adulte Haftscheiben, von Cirripedien angebohrt; Schicht 3. CKB E-70. **6** Gruppe angebohrter (*Talpina*) Haftscheiben auf einem Intraklast; Schicht 2. CSG E-110-D. **7** Cirripodale von unregelmäßigem Umriß, Zirrensockel ohne deutliche Facetten; Schicht 2. MHI 1152/18. **8** Nodale oder Priminternodale, ohne Zirrensockel, circular; Schicht 2. MHI 1152/19.





wie im Verhältnis von Kelch und Armen – der Anteil des Stiels an der Gesamtlänge eines Individuums mit zunehmender Größe steigt.

Das Stielwachstum entspricht dem von den Encriniden bekannten (BIESE 1927, HAGDORN 1982). Im proximalen Abschnitt, d.h. in der ersten bis vierten, gelegentlich bis zur sechsten Noditaxis, treten die Unterschiede zwischen Nodalialia und den verschiedenen Internodalialia-Serien aufs deutlichste hervor (Abb. 10: 6). Die Nodalialia sind wesentlich höher und breiter als die Internodalialia und haben eine wulstig aufgeblähte Epifacette mit gerundetem Rand. In deutlicher Größenabstufung folgen dann die Internodalialia der ersten und der weiteren Serien. In der ersten, stets unvollständigen Noditaxis (meist nach einem Pränodale) sind höchstens noch Internodalialia der dritten Serie entwickelt (in 3 von 21 analysierten Stielen) und dies meist unvollständig, die zweite Serie ist in 13 von den 21 analysierten Stielen komplett. Am vollständigsten sind jeweils die dritte bis vierte Noditaxis, seltener die zweite, in denen Internodalialia bis zur vierten, selten sogar bis zur fünften Serie (allerdings unvollständig) ausgebildet sind. Ab der fünften Noditaxis verschwinden die Unterschiede der Internodalialia unterschiedlicher Serien, die nun weitgehend gleiche Dicke und Höhe annehmen. Die Nodalialia lassen sich noch etwas weiter nach distal identifizieren, bis auch sie sich nicht mehr von den Internodalialia unterscheiden. Mit der Entfernung der Noditaxien von der Basalgrube und dem Höhenwachstum der Columnalia werden die Noditaxien distalwärts i. a. länger. Bei den Stielen jüngerer Individuen (CSG E-4-a bis 4-c) umfaßt der nach Nodalialia und Internodalialia gliederbare Stielabschnitt noch deutlich über die Hälfte des gesamten Stieles. Dieses Verhältnis dürfte sich bei Stielen adulter Individuen zugunsten des undifferenzierten Stielteiles verschieben. Die Zahlenverhältnisse gehen im einzelnen aus Tab. 2 hervor.

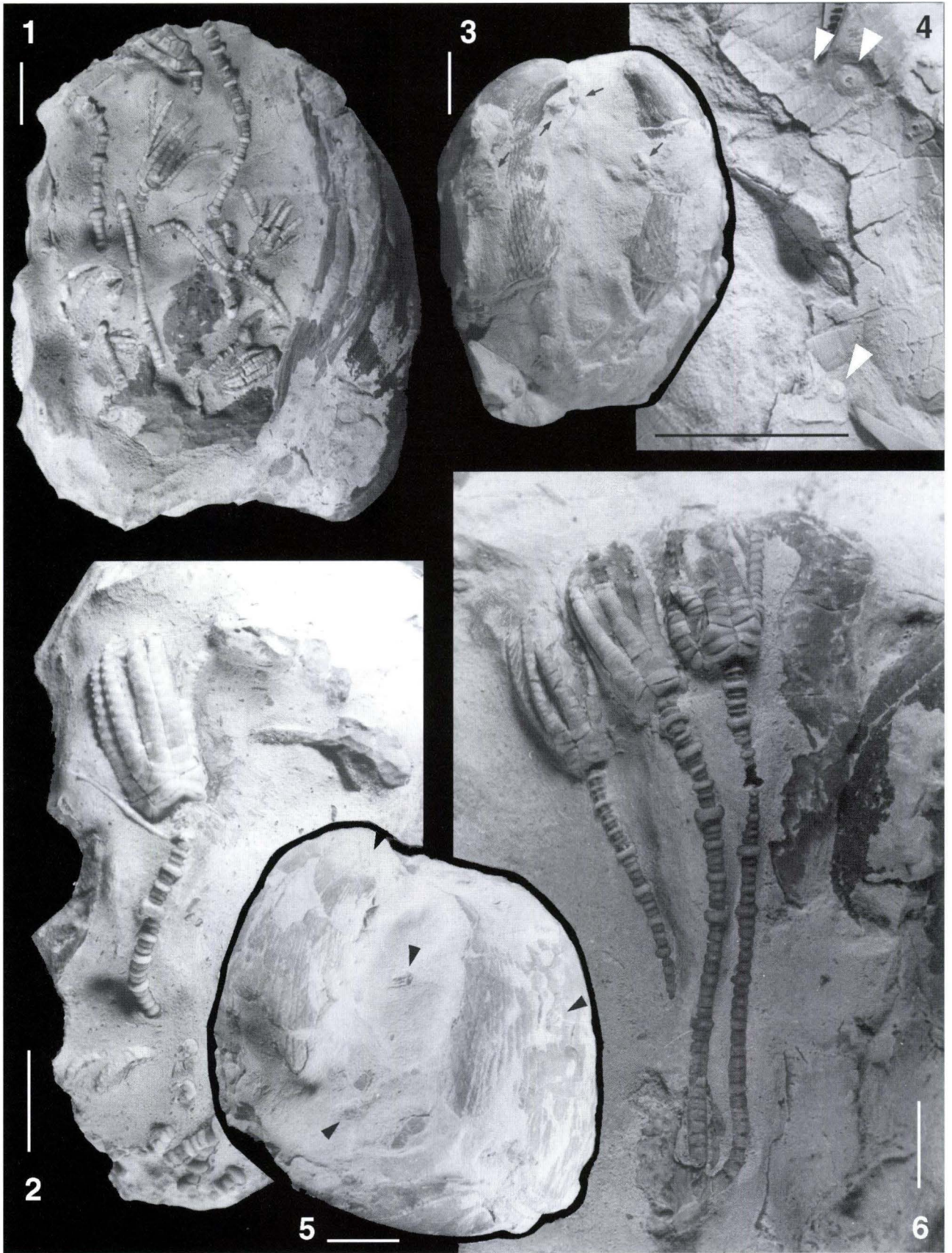
Die Nodalialia sind rund bis unregelmäßig subcirculär (Abb. 9: 7, 8). Die Unregelmäßigkeit im Umriß beruht auf mehr oder weniger kräftig ausgebuchteten, z.T. nach oben gewulsteten Zirrensockeln, wobei oft ein einziger Sockel wesentlich kräftiger als die übrigen entwickelt sein kann. Die runden Zirrensockel selbst bilden vertiefte Narben mit einem zentralen Axialkanal, aber ohne distinktes Muster. Nur Andeutungen multiradiater Crenulierung, keineswegs aber von Gelenkleisten ließen sich feststellen. Die Zahl der Zirren schwankt und kann bis fünf betragen. Die Zirren sind bis 16,8 mm lang und umfassen bis 16 Glieder (Abb. 4: 8; 10: 2). Die Cirralia sind tonnenförmig und meist deutlich länger als breit. Die Art ihrer Artikulationsfacetten war nicht zu ermitteln. Zirren treten auf vom ersten bis zum fünften, am häufigsten am zweiten bis vierten Nodale. Allerdings sind sie bei vielen Individuen – zum Teil wohl infolge

der KOH-Präparation – nicht mehr erhalten und nur noch an den Sockeln nachweisbar. Vermutlich sind die Zirren bei vielen Individuen aber schon bei der Einbettung oder sogar beim lebenden Tier verlorengegangen. Isolierte Nodalialia zeigen, von der verdickten Epifacette umgeben, ein eingetieftes, gerundet pentalobates Muster von breit tropfenförmigen Fluren, die an der Peripherie von wenigen kurzen, kräftigen Crenulae und in den Radien von granulierten Radiärstegen umgeben sind (Abb. 9: 7, 8). Das Perilumen um den weiten, runden Zentralkanal kann glatt oder leicht erhaben sein. Adulte Internodalialia, besonders aus der ersten Serie haben bei insgesamt großer Ähnlichkeit mit Nodalgliedern niemals Zirrensockel und sind deshalb auch gleichmäßiger circulär. Immature proximale Internodalialia sind flach und haben keine oder keine ausgeprägte Epifacette; ihr Umriß ist gerundet pentalobate mit ähnlichen Mustern wie die Nodalialia. Im mittleren und distalen Stiel werden die Columnalia zylindrisch und höher und nehmen die typisch multiradiate Facettenform an. Die Wellensuturen zwischen den Columnalia sind meist im mittleren Stielteil weniger ausgeprägt als im distalen, wo die Crenulae unter Verringerung ihrer Zahl besonders kräftig werden können.

Die Haftscheibe entspricht dem diskoiden Typ, wie er von BIESE (1927) und MÜLLER (1959) von *Chelocrinus carnalli* und von HAGDORN (1978) von *Encrinus liliiformis* beschrieben wurde. Das Fundmaterial umfaßt angebohrte, korrodierte und meist größere Haftscheiben (bis knapp 20 mm Durchmesser) von adulten Individuen mit Stieldurchmessern von über 6 mm (Abb. 9: 4-6; 10: 4). Die nicht angebohrten Haftscheiben bleiben – entsprechend der Dominanz juveniler Individuen unter den artikulierten Exemplaren – meist wesentlich kleiner. Die zentral auf dem dicksten Teil der Haftscheibe gelegenen Artikulationsflächen mit dem ersten Stielglied sind kraterartig eingesenkt und tragen an der Peripherie meist etwas unregelmäßige multiradiate Leisten. Zum Rand werden die Haftscheiben dünner, passen sich ihrem jeweiligen Substrat an und lappen amöbenartig aus. Die Haftscheiben treten einzeln, häufiger jedoch in Gruppen bis zu 15 Individuen auf; dabei überwachen sie sich gegenseitig und bilden geschlossene Krusten, die sich aber nur unwesentlich über das Substrat erhoben und keineswegs vertikale Aufbauten produzierten, wie sie von *Encrinus liliiformis* bekannt sind (HAGDORN 1978). Bevorzugtes Substrat waren größere Intraklasten, daneben die Klappen von *Newaagia* und seltener auch *Plagiostoma lineatum* (in Schicht 4).

Abweichungen vom normalen Bau: Wie bei einem so umfangreichen Material nicht anders zu erwarten, liegen auch einzelne Stücke mit abweichendem Bau vor. So sind bei CSG E-9-c die Radialia unterschiedlich breit; bei CSG E-19 und E-71 liegen je drei Primibra-





WEG, 1850, das ihm noch vorlag, auf die davon in mehreren Merkmalen abweichenden Sondershausener Stücke übertragen hat, zog ASSMANN (1938) seine Art wieder ein und vereinigte sie mit *Encrinus brahli*. Er betont jedoch die Unterschiede sowohl gegenüber dem typischen *E. brahli* als auch gegenüber den Sondershausener Encrinen, die kürzere Arme als sein Rüdersdorfer Original hatten. Weil heute eine Abgrenzung des nicht identifizierten Typus von *Encrinus koenei* aus Rüdersdorf weder von *Encrinus brahli*, noch von dem durch KOENEN (1887) abgebildeten Sondershausener *Encrinus* möglich ist, muß *Encrinus koenei* ASSMANN, 1925 als nomen dubium gelten und ist deshalb nicht verfügbar.

Spaltet man die Gattung *Encrinus* durch die Errichtung neuer Taxa weiter auf, müßte man konsequenterweise für die nicht weniger variablen Encrinen des Oberen Muschelkalks genauso verfahren. Vor der geplanten Revision der Gattung *Encrinus* sollen deshalb noch keine taxonomischen Schritte unternommen werden, sondern die Bimbacher Seelilie soll vorerst auf *Encrinus brahli* bezogen bleiben, dem sie insgesamt am nächsten steht. Dieses Verfahren entspricht auch der weiten Fassung von *Encrinus brahli*, wie sie seit BIESE (1927) gebräuchlich ist.

Mit *E. brahli* hat die Bimbacher Seelilie Größe, wechselzeiligen Armbau und Ornamentierung der Brachialia gemeinsam; allerdings scheint *E. brahli* – jedenfalls nach der detaillierten Beschreibung und der Tafel von BEYRICH (1856) – längere Basalia zu haben; außerdem tragen die Nodalien keine Zirren. In diesen Merkmalen unterscheidet sich auch *Encrinus robustus* ASSMANN, 1925 von der Bimbacher Form. *Encrinus aculeatus* MEYER, 1847 wird mit über 75 mm größer als die Bimbacher Form, hat dorsal stark sackartig aufgeblähte Radialia und durchweg dorsal stark ornamentierte Brachialia; auch konnten bei *E. aculeatus* bisher keine Zirren nachgewiesen werden.

Vorkommen: Am nächsten stehen dem Bimbacher *Encrinus* die von K. PICARD in der Oberen Terebratelbank vom Großen Totenberg bei Sondershausen gesammelten Seelilien, die von BIESE (1927) vermessen und zu *E. brahli* gestellt wurden (vgl. auch HAGDORN 1985). Wie die hier beschriebene Population tragen die Crinoiden von Sondershausen z.T. Zirren und zeigen bei vergleichbaren Kronenlängen ähnliche Verteilung von Uniserialität bzw. Biserialität und ähnliche Ornamentierung

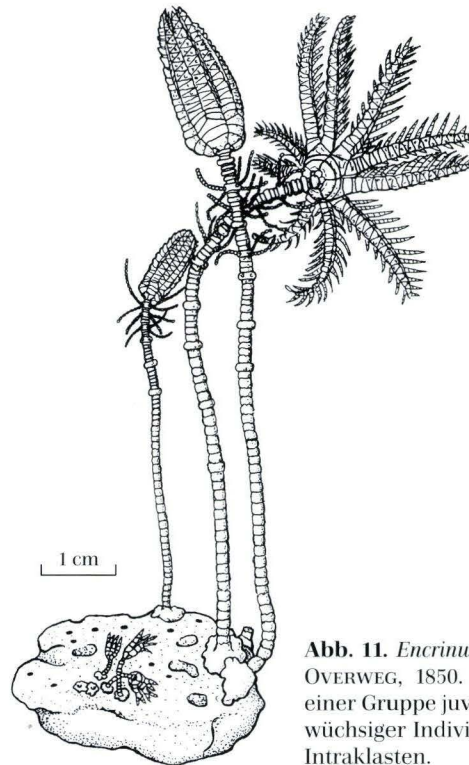


Abb. 11. *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850. Rekonstruktion einer Gruppe juveniler und halb-wüchsiger Individuen auf einem Intraklasten.

der Armglieder. Dies gilt auch für die durch BIELERT & BIELERT (1995) beschriebenen und gleichfalls zu *E. brahli* gestellten Seelilien aus den Basiskonglomeratbänken des untersten Wellenkalks von Weißenborn (Süd-niedersachsen), die jedoch größere Zirren und proximale Arme mit flachen Dorsalseiten haben. Daß diese – wie auch manche Stücke von Sondershausen – purpurfarbene Pigmente zeigen, läßt sich auf unterschiedliche Erhaltung zurückführen und ist sicher nicht diagnostisch. Auch weitere Einzelfunde aus dem Unteren Muschelkalk von Thüringen (WAGNER 1866, Taf. 2, Fig. 14–15; MHI 1310/1, 1310/2), Sachsen-Anhalt (BEYRICH 1857: 48; MB E 273), Niedersachsen (Terebratelbänke von Königslutter, NLH 52044, 50012/1), Oberfranken (EMMERT & HORSTIG 1972, Taf. 1, Fig. 1 und weitere Stücke aus SMK sowie MHI 1155/1) gehören sicherlich zur selben Art wie der Bimbacher *Encrinus*. Diese Form scheint nach dem uns bekannten Material überhaupt der häufigste *Encrinus* des Unteren Muschelkalks zu sein. Sie tritt von den Basiskonglomeratbänken – falls die Seelilie von Weißenborn tatsächlich zu dieser Art gehört – bis in den Bereich der



Abb. 10. *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* OVERWEG, 1850. Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus muII d), Großenlüder-Bimbach. Maßstab jeweils 1 cm. 1, 2 Mehrere vollständige Individuen in situ auf einem Intraklasten, von einer eingekippten *Plagiostoma*-Klappe überdeckt; Schicht 2. CSG E-7. 3 Doppelklappiges *Plagiostoma lineatum* mit epizoischen juvenilen Encrinen (Pfeile) auf der Liegefläche; wie Abb. 4: 1 und 5. Schicht 4. CSG E-102. 4, 5 Doppelklappiges *Plagiostoma lineatum* mit epizoischen juvenilen Encrinen (Pfeile), auf der Liegefläche artikuliert erhalten, oben nur noch die Haftscheiben (Pfeile) in situ; Schicht 4. CKB E-46. 6 Drei halb-wüchsige Individuen. Substrat nicht erhalten; Schicht 2. CSG E-4.

Schaumkalkbänke auf, also durch den ganzen Unteren Muschelkalk. Sicherlich gehören auch zahlreiche Funde isolierter Encrinidenossikel, die sich jedoch nicht mit Sicherheit zuordnen lassen, zu unserer Form. Allerdings sind auch die Cirrinodalia nicht diagnostisch, denn im Bereich der Terebratelbänke kommt ein zirrentragender *Chelocrinus* vor (ERNST & LÖFFLER 1993).

Echinoidea LESKE, 1778

Euechinoidea BRONN, 1860

Triadotiaridae HAGDORN, 1995

*Triadotiaris grandaeva* (ALBERTI, 1834)

Abb. 10, 11: 3,4

Material: 1 Fragment einer artikulierten Corona mit Resten der Bestachelung: CKB E-16. 1 Interambulakralplatte: MHI 1312/9.

Beschreibung: Etwas eingedrückt, aber im Verband erhalten und sichtbar sind die Adoralseiten von zwei Interambulakralfeldern, einem Ambulakralfeld und Resten eines weiteren Ambulakralfeldes bis zum Ambitus, dazu einige unvollständige Primärstacheln. Die Interambulakralplatten überlappen das Ambulakrum und sind auch untereinander nicht fest gefügt; die Corona war demnach sehr flexibel und zerfiel postmortal sehr rasch. Deshalb sind Funde artikulierter Exemplare auch so selten. Von dem Seeigel ist nur der erhaltene Teil – dieser aber ohne Anzeichen von Disartikulation des Gehäuses – eingebettet worden; das spricht dafür, daß der Seeigel erst kurz vor der Einbettung durch einen Räuber zerknackt worden war.

Die Ambulakralfelder sind gerade und relativ breit (im Ambitus ca. 26 % von der Breite der Interam-

bulakralfelder). Die Porenfelder sind etwas breiter als die Zwischenporenfelder. Die Ambulakralplatten sind zu Diaden und Triaden angeordnet, gegen das Peristom überwiegend zu Diaden. Einzelne Platten sind okkludiert, erreichen also die perradiale Naht nicht (Abb. 12). Jede zweite oder dritte Platte ist perradial vergrößert und trägt eine große Tuberkel. Alle Platten erreichen den adradialen Rand des Ambulakrums, wo sie von den dentikulierten Rändern der Interambulakralplatten überlappt werden. Die Porenpaare sind von einem kräftigen Wulst umgeben. Sie sind in gegeneinander leicht versetzten Reihen angeordnet.

Im Interambulakrum (Abb. 13: 4) sind von den zwei Reihen bis zu sechs Platten zu sehen, die alle eine Primärwarze tragen. Die durchbohrten und gekerbten Primärwarzen liegen aus der Plattenmitte etwas gegen den adradialen Rand verlagert. Der Warzenhof ist glatt, konkav, nicht terrassiert und ist von einem offenen Skrobikularring umgeben; die Warzenhöfe einer Plattenreihe fließen also breit ineinander. Sie nehmen knapp über 50 % der gesamten Plattenbreite ein. Die Tuberkel des Skrobikularrings sind nicht vergrößert. Der Adoralrand ist etwas eingebuchtet. Der perignathische Gürtel, an dem die Laternenmuskeln ansetzen, liegt nicht frei.

Die Primärstacheln, die zum Teil von den zugehörigen Warzen etwas verschoben eingebettet liegen, sind nicht vollständig erhalten. Sie sind gleichmäßig dünn und haben einen deutlich abgesetzten Kopf. Das Acetabulum ist von kräftigen, kurzen Leisten umgeben, die Basis glatt, am Annulus dann gerieft. Auch über die ganze Länge ist der Schaft fein gerieft; ein Cortex oder Ornamente fehlen.

Diskussion: Der Bimbacher Seeigel entspricht den aus dem Oberen Muschelkalk beschriebenen Individuen von *Triadotiaris grandaeva* weitgehend. Ob die stärker diadisch angeordneten Ambulacralia auf der Oralseite ein konstantes Merkmal sind, läßt sich bislang nicht sicher feststellen, weil aus dem Unteren Muschelkalk sonst keine geeigneten Stücke vorliegen. Bis eine Klärung möglich ist, soll die Bimbacher *Triadotiaris* zu *T. grandaeva* (ALBERTI, 1834) gestellt werden.

Vorkommen: Weil die Gattung *Triadotiaris* an ihren breiten Interambulacralia und den Stacheln mit deutlich abgesetzten und vergrößerten Köpfen leicht kenntlich ist, liegen auch aus dem Unteren Muschelkalk zahlreiche Belege von den Konglomeratbänken des mu1 $\beta$  bis zu den Schaumkalkbänken vor. Oft tritt die Gattung zusammen mit *Serpianotiaris* auf.

Serpianotiaridae HAGDORN, 1995

*Serpianotiaris* sp. cf. *Serpianotiaris coeava* (QUENSTEDT, 1873)

Abb. 13: 1–2; 12–16

Material: 7 vollständige oder annähernd vollständige Exemplare: CKB EB-5, EB-10; CSG EB-12 bis EB-15;

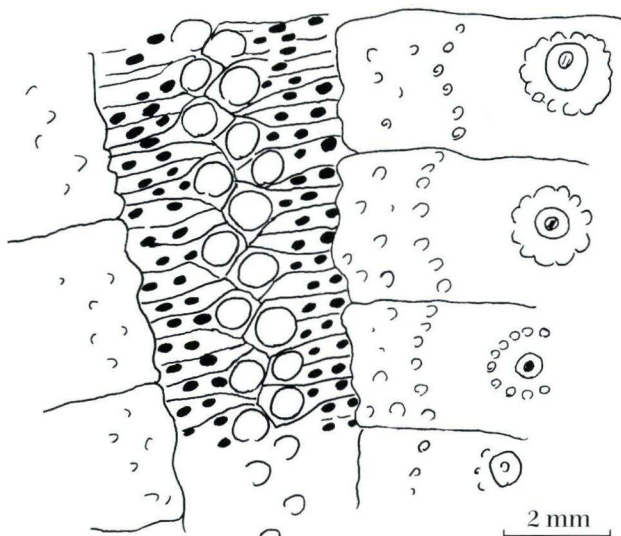
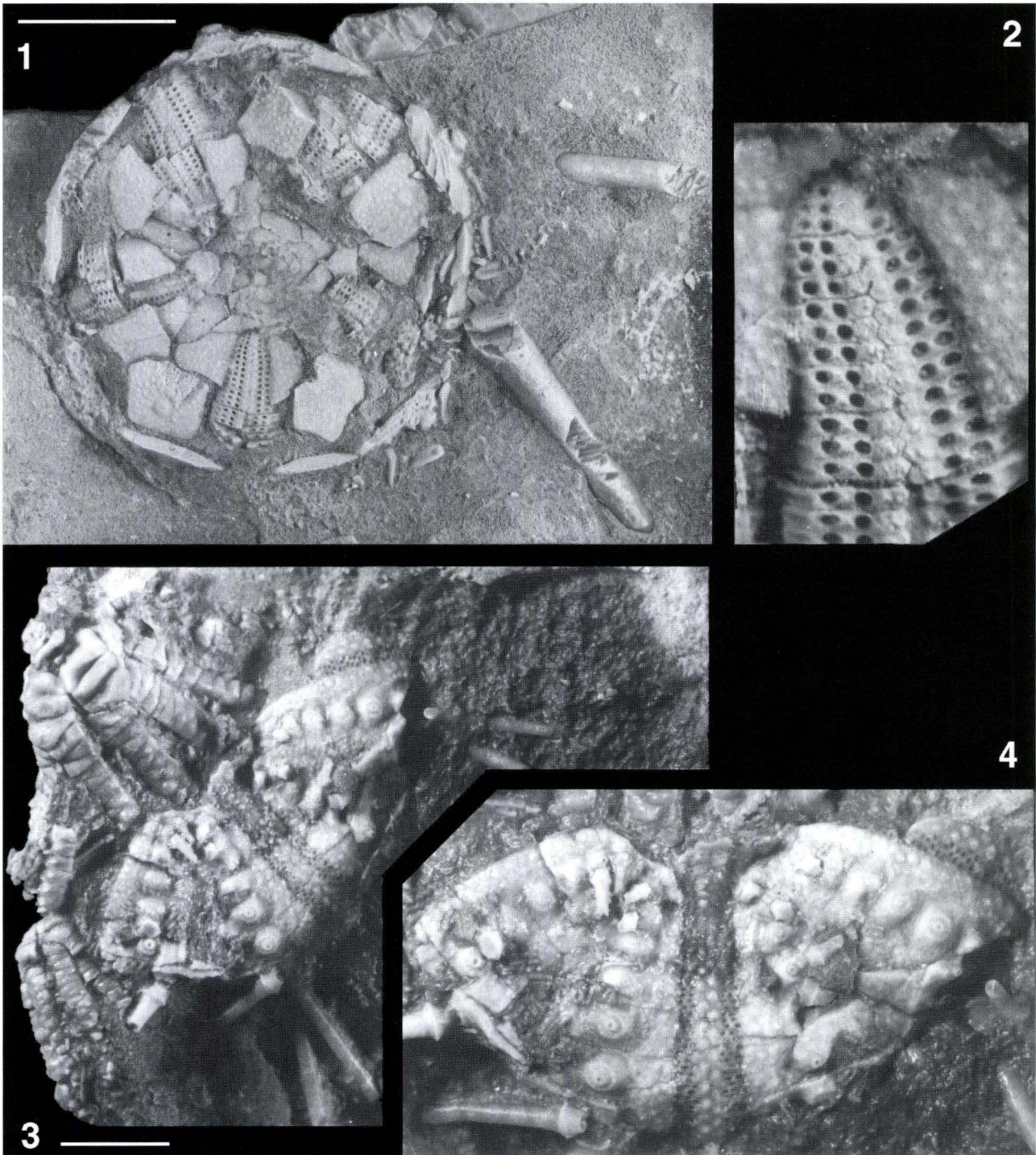


Abb. 12. *Triadotiaris grandaeva* (ALBERTI, 1834). Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus mu1ld), Großenslüder-Bimbach. Ambulakrum auf der Adoralseite. Camera-lucida-Zeichnung von CKB E-16.



**Abb. 13.** Seeigel. Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus muII d), Großlütter-Bimbach. Maßstab 1 cm. **1, 2** *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* (QUENSTEDT, 1873). Apikalseite eines zerdrückten Gehäuses und vergrößerter Ausschnitt mit adapikalem Ambulakrum; Schicht 4. CSG EB-12. **3, 4** *Triadotiaris grandaeva* (ALBERTI, 1834), daneben zwei halbwüchsige *Encrius*-Kronen; Schicht 2. CKB E-16.

MHI 1311. Isolierte Sklerite: CKB EB-13; CSG EB-10 bis EB-11. Außerdem 6 juvenile Exemplare aus der Bimbacher Seelilienbank von Ufhausen (Aufschluß 10; CSG EB-16a bis 16d, EB 17a bis 17b).

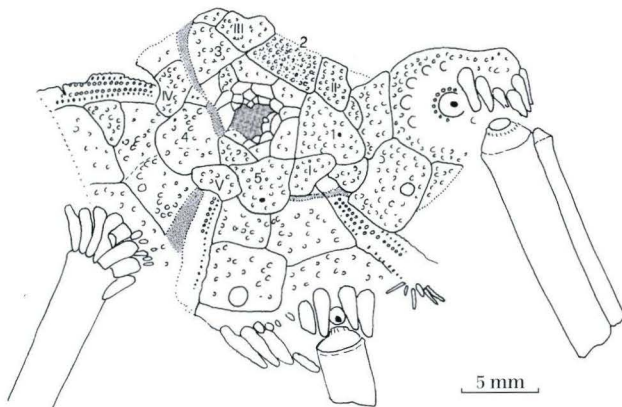
Die Bimbacher Seelilienbank hat eine Reihe hervorragend und vollständig erhaltener Individuen dieses Seeigels geliefert, welche die Beschreibung des Apikalsystems in einer Genauigkeit gestatten, wie es bisher von keinem Muschelkalk-Seeigel möglich war (HAGDORN, 1995).

**Beschreibung:** Die Corona des mittelgroßen Seeigels ist im Querschnitt annähernd rund und erreicht ca. 27 mm Durchmesser; apikal und oral ist es abgeflacht. Die Interambulakren imbrizieren über die Ambulakren. Die Interambulakralplatten imbrizieren auch untereinander adapikal; vom Ambitus an nach adoral sind sie relativ fest gefügt. *Serpianotiaris coeava* hatte demnach ein mäßig flexibles Gehäuse.

**Tab. 3.** Meßdaten ausgewählter Individuen von *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* (QUENSTEDT, 1873).

	MHI 1311	CSG EB-12	CSG EB-15
Gehäusedurchmesser	*28,0	27,0	8,5
Gehäusehöhe	*11,0		
Durchmesser Apikalsystem	12,0	12,5	3,5
Länge Genitalplatten	3,8	4,2	
Breite Genitalplatten	4,0	3,5	
Länge Okularplatten	1,7	1,4	
Breite Okularplatten	3,2	3,1	
Breite Ambulakrum: apikal	1,3	1,8	
im Ambitus	2,3	3,5	
adoral	3,0		
Breite Interambulakrum	14,0	*12,0	
Durchmesser Peristom	10,0		

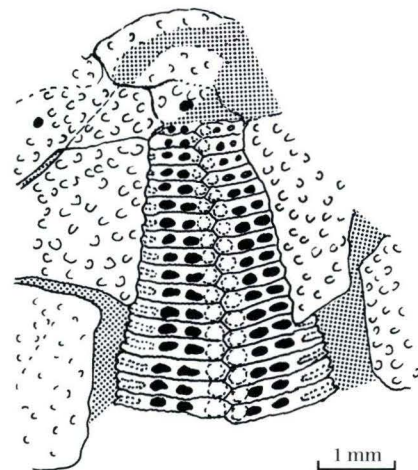
\* Meßwert wegen Verdrückung ungenau  
Maße in mm



**Abb. 14.** *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* (QUENSTEDT, 1873). Apikalsystem; wie Abb. 12: 1. Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus muII d), Großnlüder-Bimbach; Schicht 2. MHI 1311.

Das Apikalsystem ist bei MHI 1311 fast vollständig und unzerdrückt (Abb. 14; 16: 1), bei CSG EB-15 (Abb. 13: 1) etwas zerdrückt erhalten. Es ist im Umriss fünfseitig und sehr groß (bei allen Exemplaren > 40 % vom Gehäusedurchmesser). Der Beschreibung liegt i. w. MHI 1311 zugrunde. Die schildförmigen Genitalplatten inserieren mit ihrer zugerundeten Adoralseite zwischen die interambulakralen Plattenreihen. Mit ihren gerade abgestutzten, zum Periprokt gerichteten Rändern berühren sich die Platten gerade noch; nur die Genitalia 1 und 2 haben eine kurze gemeinsame Naht. Die Genitalplatten schließen so das regelmäßig fünfseitige Periprokt

ein. Die Genitalporen münden adoral von der Plattenmitte. Die Siebplatte (Genitale 2) unterscheidet sich weder in Form noch Größe von den anderen Genitalplatten. Die breiten Okularplatten sind kleiner, gegen das Periprokt stumpfwinkelig zugespitzt und gegen das Ambulacrum flach eingebuchtet. Ihre radialen Wassergefäßsporen liegen nahe dem ambulakralen Ausschnitt. Mit ihrem stumpfen Winkel berühren die Ocularia I, III, IV und V gerade noch das Periprokt, nur Oculare II ist leicht exsert. Insgesamt wird man das Apikalsystem als knapp dizyklisch bezeichnen können. Genitalplatten und Okularplatten sind außen gleichmäßig fein granuliert. Zum fünfeckigen Periprokt gehört ein äußerer Kranz größerer, breiter Platten, deren Außennähte unter stumpfem Winkel auf die Spitzen der Okularplatten stoßen. Im Innenfeld des Periprokts liegen, unregelmäßig verteilt, kleinere polygonale Platten. Die Periproktplatten sind ebenfalls gleichmäßig granuliert.



**Abb. 15.** *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* (QUENSTEDT, 1873). Bimbacher Seelilienbank (muW2, Zyklus muII d), Großnlüder-Bimbach. Ambulakrum, adapikal; wie Abb. 13: 1-2; Schicht 4. CSG EB-12

Das Ambulacrum ist schmal und leicht doppel-s-förmig geschwungen. Es liegt vertieft zwischen den Interambulakralfeldern. Die Zahl der Platten in jeder Reihe beträgt bei MHI 1311 ca. 60. Die Platten sind bis zum Ambitus einfach cidarid, wobei die ungejochten Porenpaare genau serial angeordnet sind (Abb. 13: 2; 15). Erst im Ambitusbereich treten zwischen den Marginaltuberkeln kleine innere Tuberkel auf. Unter dem Ambitus dehnen sich einzelne größere Tuberkel über zwei Platten aus. Wo das Ambulacrum sich adoral rasch zu verbreitern beginnt, ordnen sich die Ambulacralia so zu Diaden nebeneinander, daß die inneren Platten eingeschlossen (okkludiert), die äußeren zu Halbplatten (Semiplatten) werden. Die Porenpaare bilden hier unregelmäßige, schräg versetzte Reihen. Die Ambulacralia imbrizieren adapikal.



Das Interambulacrum besteht aus zwei Reihen von je sieben Platten. Ihr Umriss ist apikal dreieckig bis unregelmäßig rechteckig und wird gegen den Ambitus dann fünfeckig; dort kann die Höhe die Breite der Platten knapp überschreiten. Weiter adoral werden die Platten wieder niedriger. Am Adoralrand ist das Interambulacrum gerundet. Die Interambulakralplatten sind am dentikulierten Adradialrand leicht konvex. Da keine gut erhaltenen isolierten Platten vorliegen, läßt sich über die Suturen nichts Näheres feststellen. Aus dem taphonomischen Befund geht immerhin hervor, daß die Interambulacralia über dem Ambitus weniger fest gefügt waren als vom Ambitus nach adoral. Die ersten adapikalen Interambulacralia jeder Reihe sind gleichmäßig granuliert, wobei die Granulae wenig grober sind als die auf dem Apikalsystem. Die zweite oder dritte Platte in der linken oder in der rechten Reihe trägt eine flache, imperforate Warze mit sehr schmalen, unscharf begrenztem Warzenhof. Ohne deutlich abgesetzten Skrobikularring ist ihr extraskrobikulärer Bereich gleichmäßig granuliert. Die adoral folgende Platte der jeweiligen Parallelreihe – regelmäßig die größte Platte der gesamten Corona – trägt bereits eine voll ausgebildete Warze mit gekerbtem Foramen, unterschrittenem Hals, mit schwach gekerbter Plattform (bis 17 runde Crenulae) und unvertieftem, untrassiertem Warzenhof. Der Skrobikularring besteht aus groben, weitständigen und imperforaten Tuberkeln und ist knapp geschlossen, wobei Skrobikularringe benachbarter Warzen sich berühren oder verschmelzen können. Nur bei den großen ambitalen Platten bleibt ein schmaler Rand zwischen Skrobikularring und adapikaler Naht, der fein granuliert ist. Weiter adoral gehen die Warzenhöfe konfluent ineinander über. Adradial von den Primärwarzen-Reihen schalten sich auf den letzten drei bis vier adoralen Platten fünf bis sechs zu Reihen geordnete große und perforate Sekundärwarzen mit gekerbter Plattform und Warzenhof ein. Die adradialen Tuberkel ihres undeutlichen Skrobikularringes bilden eine Serie von Tertiärtuberkeln. Der extraskrobikuläre Bereich ist dicht mit imperforaten Tuberkeln und etwas kleineren Granulen bedeckt. Daneben besteht bei den Platten über dem Ambitus noch ein relativ breiter, granulierter interradiärer Saum zwischen Skrobikularring und Transverssuture. Die Innenseite der Interambulacralia ist am Bimbacher Material nicht sichtbar. Auch das Promunturium aus drei Verdickungen am adoralen Innenrand der Interambulakren, das dem Ansatz der Laternenmuskulatur dient (perignathischer Gürtel), war am Bimbacher Material mangels geeigneter Präparate nicht zu studieren.

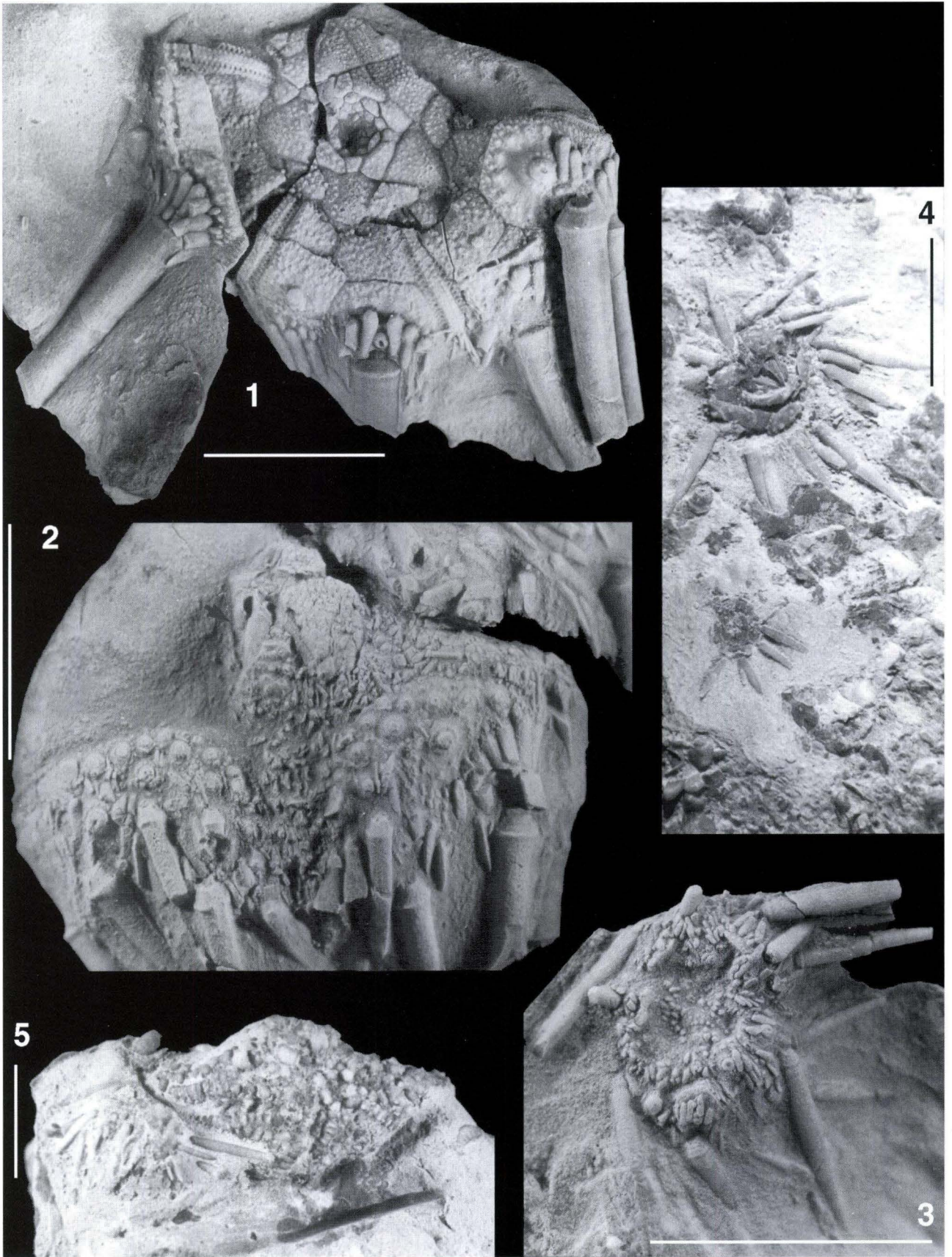
Das Peristom ist in Resten an MHI 1311 im ursprünglichen Verband erhalten (Abb. 16: 2). Vom Ambulacrum geht eine Doppelreihe rhombischer bis

unregelmäßig polygonaler, breiter Täfelchen aus, die stark imbrizieren. Ein Porenpaar steht schief zur Längsachse. Perradial sind die Täfelchen fein granuliert. Interradiale, porenlose Peristomplatten waren nicht mit Sicherheit festzustellen. Dasselbe Stück zeigt auch die Spitzen der Zähne. Isoliertes Material von der Laterne liegt nicht vor. Präparate von den Zähnen wurden nicht angefertigt.

Die über 30 mm langen Primärstacheln sind pfriemförmig, von rundem Querschnitt. Der Stachelkopf ist nur wenig dicker als der Schaft an seiner dicksten Stelle. Bei den kleinen Individuen von Ufhausen (Abb. 16: 4) ist der Stachelkopf fast überhaupt nicht abgesetzt. Ein Stachelhals fehlt. Der Rand des Acetabulums ist gekerbt, der Annulus gerieft und nur schwach abgesetzt. Gut erhaltene Stacheln zeigen an der Oberfläche eine äußerst feine Längsriefung. Die vier größten Stacheln jedes Interambulakralfeldes sitzen auf den ambitalen Platten. Die Stacheln der großen adoralen Sekundärwarzen erreichen 5 mm Länge und sind spatelförmig abgeflacht. Auch die Skrobikularstacheln sind flach spatelförmig, bis 3,5 mm lang und haben ihre größte Dicke am Kopf. Auf den Granulen sitzen kugelige bis kurz keulenförmige Stacheln von 0,2 bis 1 mm Länge. Die Stacheln auf den Ambulakraltuberkeln sind bis 2,5 mm lang und nadelförmig spitz. Pedzellarien wurden nicht beobachtet.

**Diskussion:** Die Bimbacher *Serpianotiaris* ist der kürzlich aus dem Oberen Muschelkalk in den meisten morphologischen Merkmalen neu beschriebenen *Serpianotiaris coeava* sehr ähnlich (HAGDORN 1995). Bei dem Seeigel aus dem Oberen Muschelkalk ist allerdings das Apikalsystem offensichtlich kleiner, was sich aber mangels guten und unverdrückten Materials nicht hinreichend genau messen läßt. Die Bimbacher *Serpianotiaris* wird deshalb vorerst auf *Serpianotiaris coeava* bezogen; eine mögliche Trennung soll der von H. HAGDORN geplanten Revision der Seeigel des Unteren Muschelkalks vorbehalten bleiben, in der auch die Stellung von *Serpianotiaris longispina* (ASSMANN, 1938) geklärt wird.

**Vorkommen:** Vertreter der Gattung *Serpianotiaris* treten im Unteren Muschelkalk erstmals in den Konglomeratbänken des mu1ß auf und finden sich immer wieder in Echinodermenvergesellschaftungen, v. a. im Bereich der Terebratelbänke in Osthessen: Fulda-Rodges (CKB, CSG, MHI), Dietershausen (MHI), Ulfen (MHI); Nordhessen: Liebenau (MHI); Rüdersdorf, Brandenburg (BGR BT 51828/9, BT 51840/66, BT 51841/30) und in den Gorasdzter und Karchowitzer Schichten sowie im Diploporendolomit Oberschlesiens (HAGDORN & GLUCHOWSKI 1993). Im Oberen Muschelkalk bis zur *evolutus*-Zone ist die Gattung gleichfalls weit verbreitet, darüber hinaus in der alpinen Mitteltrias (HAGDORN 1995).



Stelleroidea LAMARCK, 1816

Neoasteroidea GALE, 1987

Trichasteropseidae BLAKE, 1987

*Trichasteropsis weissmanni* (MÜNSTER, 1843)

Abb. 14: 5

Material: 1 Fragment eines artikulierten Exemplars: CSG EB-14.

Beschreibung: Von dem mit ca. 10 mm Scheibendurchmesser relativ kleinen Seestern liegen Reste der Scheibe und eines Armes von ventral frei. Wegen beginnenden Zerfalls ist die Anordnung der Platten nicht genau studierbar. Die diagnostisch wichtigen Randplatten liegen nicht frei. Mit seinen relativ kurzen, gedrungenen Arme dürfte der Seestern zu *Trichasteropsis weissmanni* gehören. Die zweite, wesentlich seltenere Seesternart, *Trichasteropsis chopi*, hat schlankere Arme und höckerartige, längsgestreckte Marginalia, die gegen die Armspitze kürzer werden.

Vorkommen: Seesterne sind aus dem Unteren Muschelkalk bisher nur in wenigen Stücken bekannt geworden, von denen die meisten im Bereich der Terebratelbänke gefunden wurden (Übersicht bei CLAUS 1931). Weitere Stücke stammen aus dem Bereich der Terebratelbänke von Rüdersdorf (BGR BT 51841/35) und Roßdorf, Thüringische Rhön (MHI 1310/4).

Brachiopoda DUMÉRIL, 1806

Inarticulata HUXLEY, 1869

Familie Discinidae GRAY, 1840

*Discinisca discoides* (SCHLOTHEIM, 1820)

Material: 3 Exemplare: CSG EB-1a bis EB-1c.

Beschreibung: Von der kreidig erhaltenen Schale der allein sichtbaren Dorsalklappen sind nur Reste erhalten. Zwei Exemplare sitzen auf Schalenresten von *Plagiostoma lineatum*, dem häufigsten Substrat des epizoischen Brachiopoden im Unteren Muschelkalk (vgl. SEILACHER 1954).

Vorkommen: mu1 bis mo3.

Articulata HUXLEY, 1869

Spiriferinidae DAVIDSON, 1884

*Punctospirella fragilis* (SCHLOTHEIM, 1813)

Material: 10 Einzelklappen: CKB EB-6, CSG EB-4a bis EB-4d, MHI 1152/1, 1312/1.

Beschreibung: Die vorliegenden Stücke bleiben mit max. 17 mm Breite relativ klein. Sie weichen in kei-

nem Merkmal von der typischen Art ab.

Vorkommen: *Punctospirella fragilis* („*Spiriferina*“) ist ein wichtiger ökostratigraphischer Zeiger, der im Unteren Muschelkalk in mehreren *Spiriferina*-Bänken von überregionaler oder regionaler Reichweite auftritt. Die ältesten Belege stammen aus den Konglomeratbänken des mu1ß von Nordbaden, die jüngsten aus der Unteren Schaumkalkbank im nördlichen Baden-Württemberg. In Osthessen und Thüringen hat *Punctospirella fragilis* ihr Hauptlager in der Thüringischen *Spiriferina*-Bank, mit der nach KRAMM (1994) der Wellenkalkzyklus mu2e einsetzt. Im Raum Hünfeld-Poppenhausen enthält diese Bank außer dem Brachiopoden mit der Koralle *Pamiroseris silesiaca* einen weiteren „Exoten“ (vgl. BAUMGARTE & SCHULZ 1986), dem ein kurzfristiger Vorstoß ins Germanische Becken gelungen ist, wo er sich jedoch nicht auf Dauer halten konnte. Die Bimbacher Seelilienbank liegt nur wenige Meter unter der Thüringischen *Spiriferina*-Bank.

Terebratulida WAAGEN, 1883

Zeilleriidae ROLLIER, 1915

*Aulacothyris ostheimensis* (PRÖSCHOLDT, 1899)

Material: 26 Exemplare: CKB EB-4, CSG EB-8, MHI 1312/2.

Beschreibung: Die Bimbacher Exemplare erreichen die von oberfränkischen Vorkommen bekannte Länge von 17 mm nicht, sondern bleiben unter 11 mm. Das glatte Gehäuse ist von oben gesehen gerundet rhombisch, von vorne carinat. Am breitesten ist es hinter der Mitte. Dorsal hat es eine breite mediane Einsenkung. Die Stirnrandkommissur ist sulcat, das Stielloch langoval, klein und mesothyridid, der Wirbel aufrecht. Die Dorsalklappe ist sehr flach, schwach konvex und hat eine breite mediane Rinne vom Wirbel zum Stirnrand. Die Ventralklappe ist hoch gewölbt und fällt nach den Seiten dachartig ab. Das Medianseptum der Dorsalklappe erreicht ca. zwei Drittel der Klappenlänge. Der Bau von Schloß und Schleife ist nicht bekannt.

Diskussion: Die bisher als Unterart zu *Silesiathyris angusta* (SCHLOTHEIM) gestellte Terebratel weicht von dieser in Größe und Gehäuseform beträchtlich ab und muß als eigene Art gelten. Untersuchungen des Internbaues stehen noch aus.

Vorkommen: muW2 (Zyklus mu2e) von Osthessen und Thüringen, belegt an folgenden Lokalitäten:

◀  
**Abb. 16.** Seeigel und Seesterne. Bimbacher Seelilienbank(muW2, Zyklus mu1Id), Großenlüder-Bimbach. Maßstab 1 cm. **1, 2** *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* (QUENSTEDT, 1873). Etwas eingedrücktes Gehäuse mit Bestachelung; Apikalseite (**1**) mit Scheitelschild; Adoralseite (**2**) mit Resten des Peristoms und Spitzen der Zähne; Schicht 2. MHI 1311. **3** *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* (QUENSTEDT, 1873). Apikalseite eines juvenilen Individuums mit vollständiger Bestachelung; Schicht 2. CSG EB-13. **4** *Serpianotiaris* sp. cf. *S. coeava* (QUENSTEDT, 1873). Bimbacher Seelilienbank(muW2, Zyklus mu1Id), Ufhausen (Aufschluß 10). Zwei juvenile Individuen mit vollständiger Bestachelung; Adoralseite. CSG EB-17. **5** *Trichasteropsis weissmanni* (MÜNSTER, 1843), daneben eine juvenile *Serpianotiaris*; Schicht 1. CSG EB 14.

muWT (Untere Terebratelbank) von Kaltensundheim (Thüringen) und der Terebratelbank von Oberfranken (HERBIG 1925) und vom Nordschwarzwald (SCHMIDT, 1928). Der bislang nur aus dem westlichen Teil des Germanischen Beckens bekannte Brachiopode kann als Beleg dafür angesehen werden, daß es im Unteren Muschelkalk auch Faunenimmigrationen von Südwesten her, durch die Burgundische Pforte gegeben hat.

Mollusca CUVIER, 1797

Gastropoda CUVIER, 1797

Archaeogastropoda THIELE, 1925

Lophospiridae WENZ, 1938

*Worthenia* sp. indet.

Material: 2 Steinkerne: MHI 1312/3.

Beschreibung: Die ungünstige Steinkernerhaltung der bis 14 mm hohen Stücke erlaubt keine Beschreibung der Skulptur. Größe und Gehäusewinkel sprechen für Nähe zu *W. leysseri*, einer großen Form des Unteren Muschelkalks.

? *Pleurotomaria*

Material: 2 Steinkerne: CKB EB-16, CSG EB-9.

Beschreibung: Steinkerne großer Gastropoden mit stumpfem Gehäusewinkel, wie sie von BAUMGARTE & SCHULZ (1986) beschrieben wurden. Die Zuordnung zu *Pleurotomaria* ist unsicher.

Caenogastropoda COX, 1959

Loxonematidae KOKEN, 1889

„*Loxonema*“ sp.

Material: 1 Steinkern: CKB EB-5.

Beschreibung: Die ungünstige und unvollständige Erhaltung erlaubt keine Zuordnung zu einem der Formtypen aus dem Muschelkalk.

Diskussion: Größere Gastropoden mit Gehäusewinkeln von 25–35° aus dem Muschelkalk werden meist zur Gattung *Loxonema* gestellt. Unter diesem Taxon dürften jedoch verschiedene Gastropoden mit konvergenten Adultgehäusen, aber von unterschiedlicher systematischer Stellung zusammengefaßt sein. Ohne Kenntnis der diagnostisch wichtigen Embryonalschale, die von den Muschelkalkformen jedoch erhaltungsbedingt nicht bekannt ist, sind solche Zuordnungen nicht möglich.

Bivalvia LINNÉ, 1758

Mytiloidea FÉRUSAC, 1822

Mytilidae RAFINESQUE, 1815

„*Mytilus*“ *praecursor* (FRECH, 1909)

Material: 6 Exemplare: CKB EB-3a bis EB-3c, CSG EB-5, MHI 1312/4.

Beschreibung: Die Stücke von Bimbach bleiben, wie allgemein im Unteren Muschelkalk, relativ kurz (bis ca. 30 mm) und dabei breit. Der Wirbel ist spitz und et-

was nach vorne gebogen, der Vorderrand innen stark eingezogen. Schloßpräparate liegen nicht vor.

Diskussion: Die systematische Stellung der Muschelkalk-Miesmuscheln wurde unterschiedlich beurteilt. Neuere Untersuchungen liegen nicht vor.

Vorkommen: mu1 bis mo2.

Pterioidea NEWELL, 1965

Terquemidae COX, 1964

*Enantiostreon difforme* (SCHLOTHEIM, 1820)

Material: 6 Exemplare: CKB EB-1a und EB-1b, MHI 1312/5.

Beschreibung: Die vollständigen adulten Stücke (Hohlraumerhaltung) haben wenige grobe Falten. Die Schale wurde vor ihrer Auflösung von Hufeisenwürmern angebohrt. Die Bohrspuren *Talpina gruberi* und *Calciroda kraichgoviae* liegen als mikritverfüllte Vollformen vor.

Vorkommen: mu1 bis mo2.

*Newaagia noettingi* FRECH, 1909

Material: 6 Exemplare: CSG EB-6a, EB-6b; MHI 1312/6.

Beschreibung: Die größten Exemplare erreichen ca. 60 mm Länge. Es liegen fast nur freie linke Einzelklappen vor. Schloßpräparate sind in der Mikritfazies nicht möglich. Die Skulptur besteht aus schuppigen Radialrippen, die zu kürzeren Dornen ausgezogen sein können.

Vorkommen: mu1 bis mo2.

Limidae RAFINESQUE, 1815

*Plagiostoma striatum* SCHLOTHEIM, 1820

Material: 15 Exemplare, davon zwei doppelklappig: CKB EB-2a bis EB-2c; CSG EB-2a bis EB-2c, EB-7; MHI 1312/7.

Beschreibung: Die mit max. ca. 30 mm relativ kleinen Individuen sind stark gewölbt und eng und kräftig berippt, wobei die Rippen wenig breiter als die Zwischenräume werden.

Vorkommen: mu1 bis mo3.

*Plagiostoma lineatum* SCHLOTHEIM, 1820

Abb. 10: 1, 3-5

Material: Wenige doppelklappige Exemplare und zahlreiche Einzelklappen: CSG EB-3; MHI 1312/8.

Beschreibung: Auch bei dieser Art erreichen die Bimbacher Stücke nicht die Maximalgröße von über 120 mm Länge. Sie sind mäßig bis stark gewölbt, glatt oder zeigen eine Skulptur aus feinen Rillen, die sich am Vorderrand (Liegefläche) zu kräftigen Leisten verstärken können. Manche Individuen haben auch am Hinterrand etwas kräftigere Rillen, andere sind bis auf die Anwachsstreifung und kurze, zum Hinterrand verlaufende Runzeln völlig glatt.

Diskussion: Die Skulptur von *P. lineatum* variiert

stark; es handelt sich dabei wohl um unterschiedliche Ökophänotypen, weil die Schwankungen innerhalb von Einzelpopulationen nicht so groß sind wie die innerartlichen.

Vorkommen: mu1 bis mm1.

Trigonioida DALL, 1889

Myophoriidae BRONN, 1849

*Lyriomyophoria elegans* (DUNKER, 1849)

Material: 3 Einzelklappen: CKB EB-15a, EB-15b; MHI 1312/5.

Beschreibung: Aus der Konglomeratbank liegen Hohlformen vor, die eine sichere Bestimmung gestatten. Die mit 17 mm relativ großen Individuen entsprechen ganz der Beschreibung der Art, wie sie MÜLLER (1985) von Vertretern aus dem mu gegeben hat.

Vorkommen: mu1 bis mo3.

Pholadomyoida NEWELL, 1965

Pholadomyidae GRAY, 1847

*Arcomya* sp.

Material: Ein Exemplar: CKB EB-11.

Beschreibung: Die ungünstige Steinkernerhaltung erlaubt keine spezifische Bestimmung.

Vorkommen: Die Gattung *Arcomya* (*Homomya* in SCHMIDT 1928) ist häufig im mu1 bis mu2, besonders in der Mergelfazies Süddeutschlands.

Polychaeta GRUBE, 1850

Sedentaria LAMARCK, 1816

Serpulidae SAVIGNY, 1818

*Spirorbis valvata* GOLDFUSS, 1833

Material: 9 Individuen als Epöken auf einem Pluricolumnale von *Encrinus* (CKB EB-18); eine Gruppe von ca. 20 Individuen auf einem Hartgrundrelikt (CKB EB-19).

Bemerkungen: Die Zuordnung dieses häufigsten Muschelkalk-Spirorbiden zur Gattung *Spirorbis* ist nicht gesichert und kann erst nach Kenntnis des Operculums erfolgen.

Vorkommen: mu, mo.

Wirbeltiere

Material: Rückenwirbelzentrum eines kleinen Sauropterygiers (CKB EB-7a), Basioccipitale eines kleinen Coelacanthiden (CKB EB-7b), unbestimmbarer Knochenrest (CKB EB-17).

## 5. Paläoökologie

### 5.1. Rekonstruktion der fossilen Lebensgemeinschaft

Die bei Großenlöder-Bimbach gesammelten Fossilien stammen zum größten Teil von Vertretern des filtrierenden Epibenthos; auch die vagilen Weidegänger sind mit mehreren Arten vertreten, während Räuber und Sedimentfresser fast ganz fehlen (Tab. 4). Die geringe Diversität der Infauna ist wohl primär und durch diagenetische Auslöschung ihrer meist aragonitischen Schalen allenfalls noch verstärkt. Die beiden Vertreter der Infauna repräsentieren außerdem unterschiedliche Habitate und stammen wohl aus unterschiedlichen Sukzessionen: *Lyriomyophoria* lebte flach eingegraben im Grobsubstrat der Konglomeratbank, *Arcomya* tief eingegraben im Schlamm der Mergelschicht. Unter den Filtrierern sind die aktiv Nahrung einstrudelnden Muscheln und Brachiopoden wesentlich diverser als die passiv planktonsiebenden Crinoiden. Nur diese besetzten allerdings, nachdem sie herangewachsen waren, ein höheres Stockwerk (bis ca. 40 cm) über dem Meeresboden, während die übrigen Filtrierer im Stockwerk bis 10 cm blieben. Dort mußten mit ihnen auch die juvenilen *Encrinus* konkurrieren, die im Fundmaterial weit überwiegen (Tab. 1).

Zwar liegen keine exakt quantifizierbaren Daten über

die Häufigkeit der gefundenen Taxa vor, weil die Zweischaler im Sammlungsmaterial unterrepräsentiert sind, doch geht aus unseren Beobachtungen hervor, daß *Plagiostoma lineatum* und *Encrinus* sp. cf. *E. brahli* in der fossilen Lebensgemeinschaft eindeutig den trophischen Kern bilden. Man kann die Gemeinschaft somit als *Plagiostoma lineatum/Encrinus* sp. cf. *E. brahli*-Gemeinschaft bezeichnen. Das euryöke *Plagiostoma lineatum* dominiert in vielen fossilen Lebensgemeinschaften des Unteren Muschelkalks, während die stenohalinen Crinoiden und Brachiopoden seltener auftreten. Ob bei Bimbach – wie aus dem Raum Schlüchtern und aus Nord-Württemberg belegt – die Terquemien kleine „Austern“-Bioherme bildeten, die den Crinoiden Ankerplatz boten, muß man wohl eher bezweifeln (KLOTZ & LUKAS 1988, HAGDORN & SIMON 1989), denn die Altersstruktur der Crinoiden weist auf eine zeitlich eng begrenzte Lebensdauer der Gemeinschaft, die für das Heranwachsen von Biohermen aus mehreren Muschelgenerationen wohl zu kurz war.

### 5.2. Obrutionslagerstätte

Der weitgehende Artikulationsgrad der Echinodermen und die nicht selten doppelklappig erhaltenen Mu-

**Tab. 4.** Fossile Lebensgemeinschaft der Bimbacher Bank von Großenlüder-Bimbach.

	Lebensweise	Ernährungsweise	Häufigkeit
<b>Echinodermata</b>			
<i>Encrinus</i> sp. cf. <i>E. brahli</i>	E/fi	pfi	h
<i>Serpianotiaris</i> sp. cf. <i>S. coeava</i>	E/v	w	s
<i>Triadotiaris grandaeva</i>	E/v	w	s
<i>Trichasteropsis</i> sp. indet.	E/v	r	s
<b>Brachiopoda</b>			
<i>Discinisca discoides</i>	E/fl	afi	s
<i>Punctospirella fragilis</i>	E/fl	afi	v
<i>Aulacothyris ostheimensis</i>	E/fl	afi	v
<b>Gastropoda</b>			
<i>Worthenia</i> sp. indet.	E/v	w	s
? <i>Pleurotomaria</i>	E/v	w	s
„ <i>Loxonema</i> “	E/v	w	s
<b>Bivalvia</b>			
<i>Enantiostreon difforme</i>	E/fi	afi	v
<i>Newaagia noetlingi</i>	E/fi	afi	v
<i>Plagiostoma striatum</i>	E/l	afi	v
<i>Plagiostoma lineatum</i>	E/l	afi	h
„ <i>Mytilus</i> “ <i>eduliformis</i>	E/fl	afi	v
<i>Lyriomyophoria elegans</i>	In/fg	afi	s
<i>Arcomya</i> sp. indet.	In/tg	afi	s

Erklärung der Abkürzungen	
E epibenthisch	tg tiefgrabend
In endobenthisch	afi aktiv filtrierend
fi fixosessil	pfi passiv filtrierend
fl flexisessil	w weidend
v vagil	r räuberisch
l freiliegend	h häufig
fg flachgrabend	v verbreitet
	s selten

scheln belegen, daß die Epifauna der Bimbacher Seelilienbank autochthon war, daß also mit dem Fossilhorizont eine Schnappschußaufnahme vom ehemaligen Meeresboden vorliegt, die direkte Rückschlüsse auf die Populationsstruktur zuläßt. Ihre in-situ-Erhaltung verdankt die fossile Lebensgemeinschaft plötzlicher Verschüttung durch Kalk-Tonschlamm. Für die Genese gibt es zwei modifizierte Modelle:

1) Ein Sturmereignis verursachte Erosion und anschließende Suspension lokaler Schlammbanken über Festsubstraten, deren zumindest fleckenhaft besiedelte Oberfläche vor dem Ereignis stellenweise schon freigelegen haben muß. Bei dem Sturm wurden verfestigte Sedimente teilweise aufgearbeitet und in der Intraklastbank gradiert resedimentiert, darüber als Feinfraktion die Mergel. Dabei wurde das Epibenthos erstickt und eingebettet. Ein solcher Ablagerungsort ist über der Sturmwellenbasis zu denken. Falls diese Interpretation zutrifft, handelt es sich um eine tempestitische Obrutionslagerstätte ohne lateralen Sedimenttransport.

2) Eine lückenhafte Hartgrundfläche, die von Epibenthos besiedelt war, wurde von einer allochthonen Schlammlawine (debris flow) aus etwas höher gelegenen Gebieten überrollt. Als Auslöser dafür kann ein seismischer Schock angenommen werden. Allochthone Herkunft würde die Mächtigkeit der Mergel plausibler erklären. Falls diese Interpretation zutrifft, handelt es sich um eine „turbiditische“ Obrutionslagerstätte mit Lateraltransport. Für echte Turbidite waren natürlich die Neigungswinkel am Boden des Muschelkalkmeeres zu gering.

Welche Hypothese für die Entstehung der Bimbacher Seelilienbank am Hauptfundpunkt zutreffen mag, soll hier offen bleiben, zumal bei der Bergung der Fauna keine Messungen der Einsteuerung von Crinoiden oder Intraklasten vorgenommen wurden.

### 5.3. Populationsstruktur

Die Größenverteilung der *Encrinus*-Kronen zeigt ein Häufigkeitsmaximum der 16–26 mm langen Kronen, also ein Maximum halbwüchsiger Individuen (Abb. 6). Obwohl das Gesteinsmaterial der Fundschicht, nachdem es längere Zeit der Verwitterung ausgesetzt war, mehrfach sorgfältig durchgesucht wurde, könnten allenfalls sehr kleine Individuen übersehen worden und deshalb unterrepräsentiert sein. Die Seltenheit adulter Individuen, vor allem aber das völlige Fehlen von Kronen zwischen 36 und 52 mm Länge erlaubt einige Rückschlüsse auf Alterstruktur und Entstehung der Population.

Die wenigen adulten Encrinen gehören offensichtlich einer Pioniergeneration an, die übrigen der ersten Folgegeneration. Anhaltspunkte für eine zweite Folgegeneration fehlen, denn die Größenverteilung zeigt kein zweites Maximum, und alle Individuen unter 7 mm Kronenlänge stammen aus den plattigen Wellenkalken von Schicht 4. Daraus geht hervor, daß die Crinoidenpopulation von Schicht 1/2/3 bei Bimbach nur für eine relativ kurze Zeit (wenige Jahre) bestanden haben kann. Die Individuen fanden zusammen einen plötzlichen Tod, der durch katastrophale Sedimentüberdeckung (Obrution) ausgelöst wurde. Dem entspricht auch der sedimentologische Befund.

Die juvenilen Individuen aus Schicht 4, welche auf zwei doppelklappig erhaltenen *Plagiostoma lineatum* aufsedeln, müssen schon wenige Wochen, nachdem sie sich als Larven festgesetzt hatten, verschüttet worden sein. Auch die Plagiostomen, die ihr Substrat bildeten, sind mit weniger als 60 mm Länge noch nicht adult. Offenbar ist hier eine Pionierbesiedlung bereits nach kürzester Zeit wieder ausgelöscht worden.

## 5.4. Synthese und Diskussion

Die Hartgründe der Bimbacher Seelilienbank boten epibenthischen Suspensionsfischern zwar geeignetes Substrat zur Fixierung, waren aber wegen drohender Verschüttung mit Schlamm ein insgesamt risikoreiches Habitat für erfolgreiche Dauersiedlung. Man wird annehmen können, daß in gewissen Entfernungen sicherere Habitate lagen, wo das Epibenthos kontinuierlich siedeln und Nachkommen erzeugen konnte. Wir gehen davon aus, daß sich solche Habitate im flacheren Wasser über der Wellenbasis befanden, wo Schlamm ständig ausgespült wurde. Die dort produzierten Larven wurden planktisch verbreitet und siedelten sich auch in tiefer gelegenen Gebieten an, sobald dort nach Stürmen Festsubstrat (Hartgründe, Grobschill, größere Intraklasten) freilag.

In diesen tiefergelegenen Habitaten bestand das Hauptrisiko für die Fauna in der Verschüttung mit Schlamm. Damit erhöhte sich dort jedoch das Fossilisationspotential für artikulierte Skelette. Die typische Position von Ostrubations-Konservatagerstätten liegt demnach am Rand oder in einiger Entfernung vom Normalhabitat der Epibenthonten, es sei denn die Tiere konzentrierten sich in Biohermen, wo sie über dem Schlammspiegel festes Substrat zur Verankerung vorfanden. In den Flachwasserhabitaten wiederum sind wegen der ständigen Wasserbewegung die Voraussetzungen für Verschüttungslagerstätten ungünstig, und der allergrößte Teil der Biomasse dürfte in die biologischen Kreisläufe zurückgeführt worden sein.

Die Fähigkeit, kurzfristig verfügbare und entfernt gelegene Habitate zu kolonisieren, die in überwiegend physikalisch kontrollierten Umgebungen Sukzessionsstadien bildeten, erforderte von den Crinoiden Opportunisten-Eigenschaften (r-Strategie): frühe Reproduktion, hohe Reproduktionsraten, genügend lange Larvalperioden, schnelles Wachstum nach katastrophaler Mortalität, Kleinwüchsigkeit. Untersuchungen an Populationen von *Encrinus liliiformis* in den Biohermen des Oberen Muschelkalks von Südwestdeutschland (HAGDORN & OCKERT 1993) weisen diese großwüchsige Seelilie eher als K-Strategen aus, der in wesentlich stabileren Habitaten in Populationen von ausgeglichenem Altersaufbau lebte. Für *E. liliiformis* wird sogar innerartliche Stockwerkdifferenzierung angenommen. Dasselbe gilt wohl auch für die Encrinen in den Rifftopfen der Karchowitzer Schichten des Unteren Muschelkalks in Oberschlesien mit ihren diversen Faunen. Sicherlich wird man den Bimbacher *Encrinus* im Vergleich zu *Encrinus liliiformis* eher als r-Strategen bezeichnen können.

Aus diesen Überlegungen läßt sich ein Szenario rekonstruieren, das aus folgenden Phasen besteht:

- (1) Erosiv freigelegtes Festsubstrat (Hartgrundflächen, größere Intraklasten) unter der Wellenbasis wird von einzelnen Epibenthonten-Larven besiedelt, die aus entfernt gelegenen, stabilen Habitaten in flacherem Wasser angedriftet sind.
- (2) Während einer Omissionsphase von mehreren Monaten bis wenigen Jahren wächst die Pioniergeneration heran und erzeugt Nachkommen.
- (3) Das Epibenthos wird mit ereignisbedingter Verschüttung durch Schlamm erstickt und anschließend eingebettet, bevor die Folgegeneration herangewachsen ist.
- (4) Verstärkte Aufsedimentation entzieht die Konservatagerstätte späterer Aufarbeitung.

**D a n k s a g u n g :** WALTER KOCH aus Großenlütder-Bimbach entdeckte die Fundsicht und ihre reichen Fossilreste und hat maßgeblichen Anteil an der Bergung des Materials sowie der Sichtung und Präparation des Fundguts, das er nicht zuletzt auch wieder für diese Untersuchung verfügbar machte. Ohne seinen Einsatz wäre eine solche Materialfülle für diese Bearbeitung nicht zusammengekommen. Dafür gilt ihm aufrichtiger Dank. Bürgermeister R. MARKA ermöglichte dankenswerterweise den Zugriff auf die Fundsicht. Außerdem danken wir Herrn Studienreferendar E. KRAMM, Fulda, der seine Aufnahme des vollständigen Steinbruchprofils Bimbach bereitstellte, und Dr. M. HORN, Hessisches Landesamt für Bodenforschung Wiesbaden, für wertvolle Hinweise und Unterstützung bei der Gestaltung der Abbildungen 1 und 2. Drs. G. BOENIGK, Landesmuseum für Naturkunde Hannover, H. und F. MARTIN, Kronach, E. PIETRZENIUK, Museum für Naturkunde Berlin, S. RITZKOWSKI, Institut für Geologie und Paläontologie Göttingen, H.-U. SCHLÜTER und W. LINDERT, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover und Berlin, M. UR- LICH, Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart, danken wir für die Bereitstellung von Vergleichsmaterial. H. HÜTTEMANN, Institut für Geologie und Paläontologie Tübingen, fertigte die REM-Aufnahmen an. Unser Dank gilt nicht zuletzt auch den Steinbruchbetrieben, die uns Begehung und Aufsammlungen gestatteten und mancherlei logistische Hilfe leisteten. H. HAGDORN dankt WALTER KOCH und MANFRED SCHULZ für die Überlassung von Material für das Muschelkalkmuseum Ingelfingen.

## 6. Schriftenverzeichnis

- AIGNER, T. & BACHMANN, G. H. (1993): Sequence Stratigraphy of the German Muschelkalk. – In: HAGDORN, H. & SELACHER, A. (Hrsg.): Muschelkalk. Ergebnisse des Schöntaler Symposiums 1991. – Sonderbde. Ges. Naturk. Württ., **2**: 15–18, 2 Abb.; Korb (Goldschneck).
- ASSMANN, P. (1925): Die Fauna der Wirbellosen und die Diploporen der oberschlesischen Trias mit Ausnahme der Brachiopoden, Lamellibranchiaten, Gastropoden und Korallen. – Jb. preuß. geol. Landesanst., **46**: 504–527, 1 Abb., 2 Taf.; Berlin.
- ASSMANN, P. (1937): Revision der Fauna der Wirbellosen der oberschlesischen Trias. – Abh. preuß. geol. Landesanst. N.F., **170**: 5–134, div. Tab., 22 Taf.; Berlin.
- BAUMGARTE, D. & SCHULZ, M. (1986): Stratigraphie und Fauna des Unteren und Mittleren Wellenkalkes (Unteranis/Pelson) von Müs (Blatt 5423 Großenlüder). – Geol. Jb. Hessen, **114**: 69–94, 4 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden.
- BIELERT, U. & BIELERT, F. (1995): Encriniden aus dem Bereich der Basiskonglomeratbänke des Unteren Muschelkalks von Weißenborn (Südniedersachsen). – Aufschluß, **46**: 23–31, 13 Abb.; Heidelberg.
- BEYRICH, E. (1857): Ueber die Crinoiden des Muschelkalkes. – Abh. k. Akad. Wiss. Berlin (mathem.-naturw.), 1857/1: 1–49, 2 Taf.; Berlin.
- BIESE, W. (1927): Ueber die Encriniten des unteren Muschelkalkes von Mitteldeutschland. – Abh. Preuß. Geol. L.-Anst. N.F., **103**: 120 S., 6 Abb., 10 Tab., 4 Taf.; Berlin.
- CLAUS, H. (1931): *Trichasteropsis Weissmanni* MÜNST. emend SCHÖND. aus dem Unteren Muschelkalk von Göschwitz. – Beitr. Geol. Thür., **3**, 1931: 98–106, 3 Abb.; Jena.
- EMMERT, U. & HORSTIG, G. (1972): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 5734 Wallenfels mit Erläuterungen. – 240 S., 28 Abb., 5 Tab., 2 Taf., 4 Beil.; München.
- ERNST, R. & LÖFFLER, Th. (1993): Crinoiden aus dem Unteren Muschelkalk (Anis) Südniedersachsens. – In: HAGDORN, H. & SELACHER, A. (Hrsg.): Muschelkalk. Schöntaler Symposium 1991 – Sonderbde. Ges. Naturk. Württ., **2**: 223–233, 12 Abb.; Korb (Goldschneck).
- ETTER, W. (1994): Palökologie. Eine methodische Einführung. – 294 S., 207 Abb.; Basel (Birkhäuser).
- HAGDORN, H. (1978): Muschel/Krinoiden-Bioherme im Oberen Muschelkalk (mo1, Anis) von Crailsheim und Schwäbisch Hall (Südwestdeutschland). – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **156**: 31–86, 25 Abb.; 2 Tab.; Stuttgart.
- HAGDORN, H. (1982): *Chelocrinus schlotheimi* (QUENSTEDT) 1835 aus dem Oberen Muschelkalk (mo1, Anisium) von Nordwestdeutschland. – Veröff. Naturkde.-Mus. Bielefeld, **4**: 5–23, 23 Abb., 6 Tab.; Bielefeld.
- HAGDORN, H., 1986: Neue Funde von *Encrinus greppini* DE LORIOI, 1877 aus dem Oberen Muschelkalk von Südbaden und der Nordschweiz. – Paläont. Z., **60**: 285–297, 5 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- HAGDORN, H. (1995): Die Seeigel des Germanischen Oberen Muschelkalks. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **20** (MOSTLER-Festschrift): 245–281, 9 Abb., 6 Taf.; Innsbruck.
- HAGDORN, H. & GLUCHOWSKI, E. (1993): Palaeobiogeography and Stratigraphy of Muschelkalk Echinoderms (Crinoidea, Echinoidea) in Upper Silesia. – In: HAGDORN, H. & SELACHER, A. (Hrsg.): Muschelkalk. Schöntaler Tagung 1991. – Sonderbde. Ges. Naturk. Württ., **2**: 165–176, 12 Abb., 1 Tab.; Korb (Goldschneck).
- HAGDORN, H., HICKETHIER, H., HORN, M. & SIMON, T. (1987): Profile durch den hessischen, unterfränkischen und baden-württembergischen Muschelkalk. – Geol. Jb. Hessen, **115**: 131–160, 2 Abb., 2 Tab., 3 Taf.; Wiesbaden.
- HAGDORN, H., HORN, M. & SIMON, T. (1993): Vorschläge für eine lithostratigraphische Gliederung und Nomenklatur des Muschelkalks in Deutschland. – In: HAGDORN, H. & SELACHER, A. (Hrsg.): Muschelkalk. Schöntaler Tagung 1991. – Sonderbde. Ges. Naturk. Württ., **2**: 39–46, 1 Tab.; Korb (Goldschneck).
- HAGDORN, H. & OCKERT, W. (1993): *Encrinus liliiformis* im Trochitenkalk Süddeutschlands. – In: HAGDORN, H. & SELACHER, A. (Hrsg.): Muschelkalk. Schöntaler Tagung 1991. – Sonderbde. Ges. Naturk. Württ., **2**: 245–260, 10 Abb.; Korb (Goldschneck).
- HERBIG, P. (1926): Zur Stratigraphie und Tektonik der Muschelkalkschollen östlich von Kronach. – Geognost. Jahresh., **38** (1925): 119–196, 1 Abb., 1 Tab., 2 Beil.; München.
- KLOTZ, W. & LUKAS, V. (1988): Bioherme im Unteren Muschelkalk (Trias) Südostthessens. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1988/11: 661–669, 4 Abb., 1 Tab., Stuttgart.
- KOENEN, A. (1887): Beitrag zur Kenntniss der Crinoiden des Muschelkalks. – Abh. kgl. Ges. Wiss. Göttingen, **34**: 1–44, 1 Taf.; Göttingen.
- KOZUR, H. (1974): Biostratigraphie der germanischen Mitteltrias. – Freib. Forschh. **C 280**, Tl. I u. 2: 56 u. 71 S., 8 Anl.; Leipzig.
- KRAMM, E. (1986): Feinstratigraphische Untersuchungen im Unteren Muschelkalk Ostthessens. – Beitr. Naturkde. Osthessen, **22**: 3–21, 5 Abb.; Fulda.
- KRAMM, E. (1994): Feinstratigraphie und Zyklengliederung im Unteren Muschelkalk (Trias, Anis) der Rhön (Mitteldeutschland). – Beitr. Naturkde. Osthessen, **29**: 5–34, 2 Abb., 4 Taf.; Fulda.
- LINCK, O. (1954): Die Muschelkalk-Seelilie *Encrinus liliiformis*. Ergebnisse einer Grabung. – Aus der Heimat, **62**: 225–235, 8 Abb., 8 Taf.; Öhringen.
- LINCK, O. (1965): Stratigraphische, stratonomische und ökologische Betrachtungen zu *Encrinus liliiformis* LAMARCK. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württ. **7**: 123–148, 4 Taf.; Freiburg i.Br.
- MEYER, H. v. (1849): Fische, Crustaceen, Echinodermen und andere Versteinerungen aus dem Muschelkalk Oberschlesiens. – Palaeontographica, **1** 216–279, 5 Taf.; Cassel.
- MÜLLER, A. (1985): Invertebraten aus dem Unteren Muschelkalk (Trias, Anis) von Halle/Saale und Laucha/Unstrut (DDR). – Geologica et Palaeontologica, **19**: 97–117, 3 Abb., 4 Taf.; Marburg.
- MÜLLER, A. H. (1959): Weitere Beiträge zur Ichnologie, Stratonomie und Ökologie der germanischen Trias. Teil II. – Geologie, **8**: 239–261, 5 Abb., 7 Taf.; Berlin.
- SCHMIDT, M. (1928): Die Lebewelt unserer Trias. – 461 S., 1220 Abb.; Öhringen (Rau).
- SELACHER, A. (1954): Ökologie der triassischen Muschel *Lima lineata* (SCHLOTH.) und ihrer Epöken. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1954**: 163–183, 8 Abb.; Stuttgart.
- SELACHER, A. (1993): Fossilagerstätten im Muschelkalk. – In: HAGDORN, H. & SELACHER, A. (Hrsg.), Muschelkalk. Schöntaler Symposium 1991. – Sonderbde. Ges. Naturk. Württ., **2**: 215–222, 4 Abb.; Korb (Goldschneck).
- SELACHER, A., REIF, W.-E. & WESTPHAL, F. (1985): Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil Lagerstätten. – Phil. Trans. R. Soc. Lond., B **311**, 5–23, 11 Abb., 1 Taf.; London.
- SIMON, T. & HAGDORN, H. (1989): Der Untere Muschelkalk bei Geislingen am Kocher (Gemeinde Braunsbach, Nordwürttemberg). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F., **71**: 275–298, 6 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- SPEYER, O. (1875): Die paläontologischen Einschlüsse der Trias in der Umgebung Fulda's. – Ber. Ver. Naturk. Fulda, **2**: 3–46; Fulda.
- WAGNER, R. (1886): Die Encriniten des unteren Muschelkalks von Jena. – Jenaische Z. Naturwiss., **20**: 1–32, 2 Taf.; Jena.
- WAGNER, R. (1891): Ueber einige Versteinerungen des unteren Muschelkalkes von Jena. – Z. deutsch. geol. Ges., **43**: 879–901, 1 Taf.; Berlin.
- WAGNER, R. (1897): Beitrag zur genaueren Kenntniss des Muschelkalks bei Jena. – Abh. k. preuß. geol. Landesanst. Bergakad. N.F., **27**: 1–106, 7 Abb., 2 Taf.; Berlin.
- WENTLAND, F. (1980): Zur Feinstratigraphie des Unteren Muschelkalks in der thüringischen Vorderrhön (Bezirk Suhl, DDR). – Z. geol. Wiss., **8/8**: 1057–1078, 7 Abb., 3 Tab.; Berlin-Ost.

Manuskript eingegangen am 3. 4. 1996, angenommen am 10. 5. 1996



SVEN DREHER\*

# Magmatismus, Bruchstrukturen und Schollenbau im Vorderen Vogelsberg: Eine Interpretation geomagnetischer Daten

## Kurzfassung

In einem ca. 48 km<sup>2</sup> großen Gebiet westlich von Laubach (Vorderer Vogelsberg/Hessen) sind Bodenmessungen des erdmagnetischen Totalfeldes durchgeführt worden. Ziel der Untersuchungen war es, über die Anordnungsmuster der im Miozän aufgedrungenen vulkanischen Gänge und Schlotte Rückschlüsse auf den strukturellen Bau des Untergrundes zu erhalten.

In der mit Hilfe statistischer Auswertungen ermittelten Richtungsverteilung der geomagnetisch lokalisierten magmatischen Gänge dominiert die NE–SW-Richtung (55–75°) mit einem Maximum bei 60°; das NW–SE-System (110–150°) ist schwächer ausgeprägt. Deutlich erkennbar sind auch NNW–SSE (165°) und E–W-Komponenten (95°) sowie eine 25–30° streichende NNE–SSW-Richtung.

Unter Einbeziehung von linear aufgereihten Schlotkomplexen auf

bestimmten Achsen läßt sich im Arbeitsgebiet eine Unterteilung in zwei unterschiedliche Bruchsysteme erkennen:

In der südlichen Hälfte herrschen NE–SW ausgerichtete Blöcke vor, die mit der Streichrichtung einer dort angenommenen Senkungsstruktur („Hungen-Schotten-Tiefscholle“) und dem Bild der statistischen Auswertung koinzidieren. Parallel verlaufende Lineare im Bereich dieser Struktur dokumentieren, daß diese nicht als einheitlicher Block aufzufassen ist, sondern sich in weitere Parallelschollen gliedert.

In der nördlichen Hälfte ändern sich die Verhältnisse: hier befinden sich 15–40° streichende Schollen, die durch NW–SE gerichtete Kluft- oder Verwerfungszonen voneinander abgegrenzt werden.

Diese Auswertung stützt die Annahme, daß sich die überregionalen Hauptbruchsysteme Mitteleuropas

vom paläozoischen Grundgebirge bis in die überlagernden permischen, mesozoischen und auch tertiären Deckgebirge fortsetzen. Das variszische Bruchmuster wurde während der alpidischen Orogenese wieder reaktiviert und entsprechende Schwächezonen beim Magmenaufstieg genutzt.

Im nordwestlichen Teil folgten die Magmen bei ihrem Aufstieg vor allem den Dehnungsklüften, die normal zur Richtung der damaligen größten Hauptspannung  $\sigma_1$  (15–30°) liegen; im südlichen Teil dagegen hauptsächlich den diesem Spannungsfeld entsprechenden Scherflächen von ca. 60°.

Neben den Bruchschollen ist vor allem in der Grauwertumsetzung eine etwa 1 km<sup>2</sup> große, rundliche Struktur erkennbar, die auf eine ehemalige Caldera hinweisen könnte.

## Abstract

In an 48 km<sup>2</sup> large region west of Laubach („Vorderer Vogelsberg/Hesse“) geomagnetic ground measurements of the total magnetic field were carried out. They were evaluated with regard to the pattern of the miocene volcanic dikes and pipes and the underground structure of this area.

Statistic evaluations show that the

geomagnetically detected dikes generally follow a NE–SW-direction (55–75°) with a maximum at 60°. The NW–SE-system (110–150°) appears to be less pronounced. Additionally NNW–SSE (165°), E–W (95°) and 25–30° striking directions are evident.

In the southern part of the investigated area NE–SW striking fault

blocks dominate. They coincide with the position of the subsidence trough of the „Hungen-Schotten-Tiefscholle“.

The main tectonic elements in the northern part are 15–40° striking blocks, divided by NW–SE striking fracture zones.

The assumption that the main fracture zones of Central Europe are

\* Dr. S. DREHER, Albert-Schweitzerstr. 33, 63303 Dreieich

continuing from the paleozoic basement to the overlying permic, mesozoic and tertiary supra crustal for-

mations are supported by the present evaluations. The variscic fracture zones were reactivated during Al-

pide folding and aided in the rise of the basaltic magmas.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	124
1.1. Problemstellung	124
1.2. Geographischer Überblick	124
1.3. Geologischer Überblick	124
2. Geländearbeiten und Datenaufbereitung	125
3. Interpretation der Meßergebnisse	126
3.1. Isanomalenpläne	126
3.2. Grauwertumsetzung	127
3.3. Magnetik-Profile	130
3.3.1 Profil LAU 1	131
4. Ergebnisse und Schlußfolgerungen	132
4.1. Statistische Auswertung und Stressfeld	133
4.2. Rückschlüsse auf Bruchstrukturen der Basaltbasis	134
5. Schriftenverzeichnis	135

## 1. Einleitung

### 1.1. Problemstellung

Der Vogelsberg, ein hauptsächlich aus tertiären basaltischen Gesteinen aufgebauter Komplex, befindet sich im Südteil der Hessischen Senke und hat eine Ausdehnung von ca. 2500 km<sup>2</sup>. Nach EHRENBERG & HICKETHIER (1985) soll die Basaltbasis in ein Muster unterschiedlich hoch liegender „Niveauschollen“ gegliedert sein, deren zentrales Element eine SW-NE streichende Tiefscholle, die „Hungen-Schotten-Tiefscholle“, darstellt. Von dort geht ein staffelförmiger Anstieg nach Norden und Südosten aus, wobei die einzelnen Niveauschollen selbst ebenfalls überwiegend SW-NE bis WSW-ENE ausgerichteten Staffelbau zeigen. Gebietsweise treten auch SSE-NNW und SE-NW betonte Niveauschollen auf. Eine Fortsetzung der rheinischen Richtung des Oberrheingrabens ist danach nur im äußersten SW-Teil erkennbar.

Mit Hilfe von flächenhaften geomagnetischen Messungen der Totalintensität sollen im folgenden detailliertere Aussagen zu Ausdehnung und Streichrichtung der Bruchschollen für das Untersuchungsgebiet gemacht werden. Dabei sind die an den Schollenrändern zu erwartenden basaltischen Gänge und Förderschloten von großer Bedeutung.

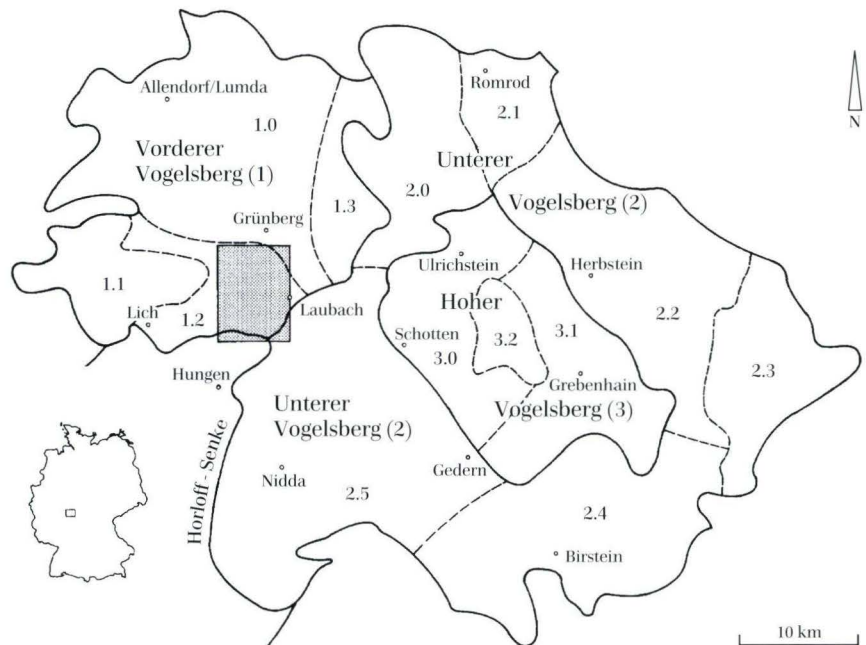
### 1.2. Geographischer Überblick

Die geographische Lage des Gebietes unter Einbeziehung der naturräumlichen Gliederung Hessens nach KLAUSING (1988) verdeutlicht Abb. 1. Es erfaßt den zentralen Teil der TK 25 Blatt 5419 Laubach mit den Ortschaften Queckborn, Lauter, Ettingshausen, Münster, Wetterfeld, Laubach, Ober-Bessingen, Röthges, Nonnenroth und Ruppertsburg. Die orographischen Höhen liegen i.d.R. zwischen 170 und 220 m NN mit örtlich höherliegenden morphologischen Erhebungen. Der höchste Punkt befindet sich mit 303 m NN im NE des Gebietes.

Gewässer sind der Aschersbach im Norden und die Wetter in der Mitte des Gebietes, die beide etwa von Ost nach West fließen, sowie die Horloff im Südwesten. Horloff wie auch Wetter münden in der Wetterau in die Nidda und gehören damit zum oberirdischen Einzugsgebiet des Mains.

### 1.3. Geologischer Überblick

Grundlage für die Beschreibung der geologischen Verhältnisse im Arbeitsgebiet bildet die Geologische Karte 1:25000, Bl. 5419 Laubach (SCHOTTLER 1918), für die bis heute keine überarbeitete Fassung vorliegt. Aus diesem



**Abb. 1.** Geographische Lage des Arbeitsgebietes (gerastert) im Vogelsberg/Hessen unter Berücksichtigung der naturräumlichen Gliederung nach KLAUSING (1988) 1.0: Lumda-Plateau, 1.1: Gießener Landrücken, 1.2: Laubacher Hügelland, 1.3: Ohmtal 2.0: Nordwestlicher Unterer Vogelsberg, 2.1: Nördlicher Unterer Vogelsberg, 2.2: Östlicher Unterer Vogelsberg, 2.3: Gieseler Forst, 2.4: Südlicher Unterer Vogelsberg, 2.5: Westlicher Unterer Vogelsberg, 3.0: Westlicher Hoher Vogelsberg, 3.1: Östlicher Hoher Vogelsberg, 3.2: Oberwald.

Grund wird in dem geologischen/geomagnetischen Profil (vgl. Kap. 3.3.1.) auf die Klassifikation nach SCHOTTLER zurückgegriffen. Gleichwohl ist es möglich, diese Begriffe den heute üblichen petrographischen Termini zuzuordnen:

	Vulkanite (Miozän):
ALT (SCHOTTLER 1918)	NEU
Körniger Basalt und Basalt	Alkali-Olivinbasalt und Basanit
Leuzitbasalt	Leuzit-Basanit
Trapp (= „saurer“ Basalt)	Tholeiit

Diese Umbenennung orientiert sich primär an der Unterteilung der Basalte in die tholeiitbasaltische und die alkalibasaltische Familie, zu der die Olivinbasalte und die Alkali-Olivinbasalte zählen. Speziellere Basalttypen, die aus den „Basalten im engeren Sinne“ hervorgehen, lassen sich durch mineralogische Kriterien unterscheiden.

Die während der Hauptförderphase im Miozän größ-

tentils subaerisch gebildeten Laven treten in mehrfachem Wechsel auf, teilweise als Basaltströme, teils als flächige Basaltdecken. Örtlich sind Sedimente und Tuffite sowie pyroklastische Ablagerungen eingeschaltet.

Schlot- oder gangförmige Durchbrüche, die für die Fragestellung dieser Arbeit von Bedeutung sind, treten nach der geologischen Karte (SCHOTTLER 1918) nur lokal auf.

Obermiozäne bis Unterpliozäne lateritische Verwitterungsprodukte in Form von Bauxitknollen und Basalteisensteinen sind im gesamten Blattgebiet verbreitet. Ein ehemaliges abbauwürdiges Vorkommen (Bauxit-Lagerstätte „Eiserne Hose“) befand sich östlich von Lich.

Pleistozäner Lösslehm ist im östlichen, insbesondere nordöstlichen Blattgebiet weitverbreitet. Er dehnt sich über etwa 40–50 % des vermessenen Gebietes aus.

Jüngste Bildungen sind die holozänen fluviatilen Talfüllungen (Auelehm) und kiesig-schottrige Ablagerungen der Gewässer.

## 2. Geländearbeiten und Datenaufbereitung

Die Datenaufnahme erfolgte im Zeitraum November 1991 bis April 1992 mit dem Meßgerät Geometrics G 803. Dieses Gerät kann bis zu 1000 Meßwerte der Totalintensität mit einer Meßgenauigkeit von 0,1 nT speichern. Es wurden insgesamt 7434 Meßwerte erfaßt und verarbeitet. Die gemessenen Absolutwerte wurden durch Subtraktion des Basiswertes von 48000 nT in Relativwerte überführt.

Die Profilstrecken verliefen in N-S-Richtung, bei einer Entfernung von 250 m und einem Meßpunktabstand auf

den Profilen von 25 m. Die Länge der Meßstecken betrug mindestens 8 km, was eine Gesamt-Profillänge von über 200 km ergab.

Meßwertverfälschungen durch Störsignale sind bei geomagnetischen Messungen vor allem in der Nähe bebauter Gebiete, etwa durch unterirdisch verlegte Kabel oder durch Hochspannungsleitungen zu erwarten. Eine Voraussetzung zur Minimierung der Störeinflüsse ist daher eine gewisse Entfernung zu urbanen Gebieten.

Große Bedeutung kommt auch der möglichst genauen

Reproduzierbarkeit der Geländemeßpunkte zu Punkten auf einer topographischen Karte zu. Dies kann beispielsweise durch Nutzung von Wegen, die in der Karte verzeichnet sind, oder durch genaue Peilungen erreicht werden. Meistens bereiten Wälder mit dichtem Baumbestand oder Schonungen Schwierigkeiten beim Einhalten von geraden Profilen. Daher wurde bereits bei der Wahl des Untersuchungsgebietes auf einen hohen Anteil freier Flächen geachtet.

Bedingt durch logistische Gegebenheiten sind einige Profile in N-S, andere in S-N-Richtung vermessen worden. Lediglich bei Hindernissen wie nicht zugänglichen Waldflächen, Hecken, Gebäuden (Scheunen, Bauernhöfe etc.) wurde in Ausnahmen davon abgewichen. Um Verwechslungen bei der späteren Datenaufbereitung (Digitalisierung, graphische Profildarstellungen, Korrelationen) zu vermeiden, sind alle Werte durch ein für diesen Zweck angefertigtes C-Programm einheitlich in die S-N-Richtung umgestellt worden. Teilweise fanden

die Messungen auch auf Wegen statt, die auf den Profillinien oder unmittelbar daneben verlaufen und in der TK 25 verzeichnet sind. Innerhalb von Ortschaften wurden die Profile unterbrochen. Die Beibehaltung der exakten Richtung konnte durch Peilungen von markanten Gebäuden oder Geländeabschnitten mit sehr guter Genauigkeit erreicht werden.

Zur Überprüfung des Tagesganges standen neben regelmäßigen Basismessungen kontinuierliche Aufzeichnungen der Horizontal- und Vertikalintensität von allen Meßtagen aus dem Institut für Geophysik, Göttingen zur Verfügung, für deren Überlassung an dieser Stelle nochmals gedankt sei. Aufgrund der starken gesteinsbedingten Feldschwankungen im Gelände und den Anomalienstärken von mehreren hundert bis einigen tausend nT waren die täglichen Variationen jedoch vernachlässigbar, so daß auf eine Tagesgang-Korrektur verzichtet wurde. Auch traten keine störenden Ereignisse wie z.B. magnetische Stürme auf.

## 3. Interpretation der Meßergebnisse

### 3.1. Isanomalienpläne

Bereits aus der qualitativen Betrachtung eines magnetischen Isanomalienplans können wertvolle Rückschlüsse auf den geologischen Bau gezogen werden. Eine Hauptaufgabe der qualitativen Interpretation magnetischer Isanomalienpläne besteht im Erkennen und Differenzieren der Anomalie-Verteilungsmuster. Für eine erste Analyse können folgende Anomalieformen unterschieden werden:

- 1) Kreisförmige Gebilde oder Strukturen mit annähernd isometrischer horizontaler Ausdehnung.
- 2) Lange, schmale Anomalien.
- 3) Verwerfungen, an denen ein Teil einer Anomalie gegenüber dem anderen Teil versetzt wird.
- 4) Ausgedehnte Areale hoher Intensität, ohne regelmäßiges Isolinien-Muster, aber deutlichem Relief der Feldwerte.
- 5) Ruhige Gebiete mit geringem Relief der Feldwerte, ebenfalls ohne klares Muster der Isolinien.

Ein bestimmter Feldverlauf an der Erdoberfläche kann mehrere Quellverteilungen in der Erde als Ursache haben. Für den magnetisierten Körper als Quelle muß neben seiner spezifischen Magnetisierungsstärke auch deren Richtung berücksichtigt werden. Entscheidend für den Verlauf der Anomalie ist ihre Lage bezogen auf die geographische Breite und dem davon abhängigen Inklinationswinkel. Bei Magnetisierung in Rich-

tung des heutigen Erdmagnetfeldes tritt in mittleren nördlichen Breiten eine leicht nach Süden versetzte starke positive Anomalie auf, der sich im Norden eine schwächere, negative Anomalie anschließt („nördliches negatives Randtief“). Bei reverser Magnetisierung tritt eine negative Anomalie mit schwächerem, positivem Randhoch im Norden auf.

Der in Abb. 2 dargestellte Isanomalienplan wurde mit dem Programm „SURFER 4.10“ erstellt (gridfile: LAUIS1LGRD; gridding method: Kriging; search method: Quadrant). Die Isolinien-Abstufung beträgt 200 nT. Zusätzlich zu den SURFER-Plänen wurde ein Isanomalienplan per Hand konstruiert (Abb. 3). Für diesen Plan ist eine Isolinien-Abstufung von 500 nT gewählt worden.

Die Isanomalienpläne lassen im Untersuchungsgebiet mehrere schmale, langgestreckte Anomalien, die als Gangstrukturen bzw. Eruptionsspalten interpretiert werden können, erkennen. Meist besitzen sie starke Intensitäten von  $> +1000$  nT oder  $< -1000$  nT. Sie befinden sich zwischen Lauter und Wetterfeld (positiv), südwestlich Wetterfeld (negativ) und am gesamten Südrand des Gebietes, vor allem bei Nonnenroth und Ruppertsburg. Da sie meist nur durch wenige Meßpunkte repräsentiert werden, sind solche schmalen Bänder nicht auf dem SURFER-Plan, sondern nur auf dem manuell erstellten Isanomalienplan erkennbar, der somit eine unverzichtbare Ergänzung zur computergestützten Auswertung darstellt. Gute Übereinstimmung zwischen der Compu-

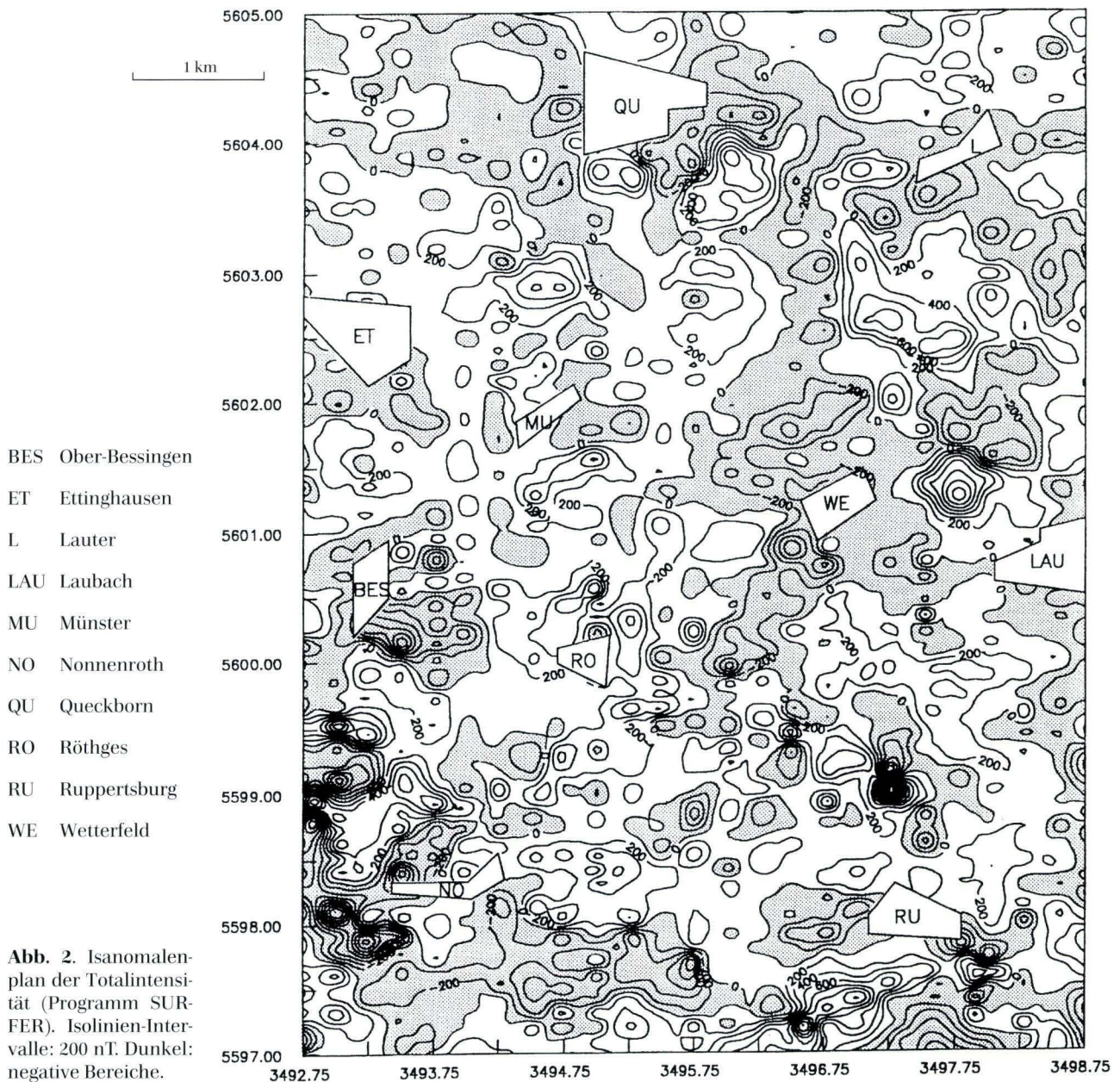
terdarstellung und dem handgefertigten Plan besteht dagegen bei annähernd isometrischen Anomalien. Sie entstehen einerseits durch großräumige Unterschiede der magnetischen Gesteinseigenschaften des oberflächlich Anstehenden, andererseits auch durch tiefreichende Körper wie Schlotte (z.B. positive Anomalie 1 km nördlich Ruppertsburg) oder größerdimensionierte Intrusionen (z.B. positive Anomalie nordwestlich Laubach).

Auf Profilen lassen sich durch quantitative Interpretationen in Verbindung mit den geologischen Schnitten detailliertere Ergebnisse als bei der rein qualitativen Betrachtung der Isanomalienpläne erzielen. Danach zeigt

sich beispielsweise, daß das südöstlich von Queckborn befindliche negative Band ( $< -1000$  nT) keiner Eruptionsspalte folgt, sondern durch den lateralen Kontakt zweier entgegengesetzt magnetisierter Basaltdecken hervorgerufen wird.

### 3.2. Grauwertumsetzung

Im Gegensatz zu den klassischen Isanomalienplänen werden bei einer Grauwertumsetzung die unterschiedlichen Intensitäten des Totalfeldes flächenhaft in differenziert abgestuften Grautönen dargestellt. Durch die



fließenden Übergänge zwischen den Schattierungen ist dabei häufig der Verlauf konkreter Lineationen oder anderer Strukturen besser erkennbar.

Für die Grauwertumsetzung (Abb. 4) wurde das gleiche Gitternetz („grid“) mit derselben Interpolationsmethode wie für den SURFER-Isanomalienplan eingesetzt (gridfile: LAUIS11.GRD). Die Bearbeitung der Meßwerte erfolgte mit freundlicher Unterstützung von Herrn Dipl.-Geophys. Dr. W. KUCHENBROD (Fa. Orpheus Geophysik), der auch das hier eingesetzte Programm IDRISI zur Verfügung stellte. Die Abstufung erfolgte linear in 120 nT-Schritten bis +1000 nT (positiver Bereich) bzw. -680 nT (negativer Bereich). Die unterschiedlich hohen Endwerte resultieren aus der Anomalieverteilung im Untersuchungsgebiet (gemessenes Minimum: -2523 nT; gemessenes Maxi-

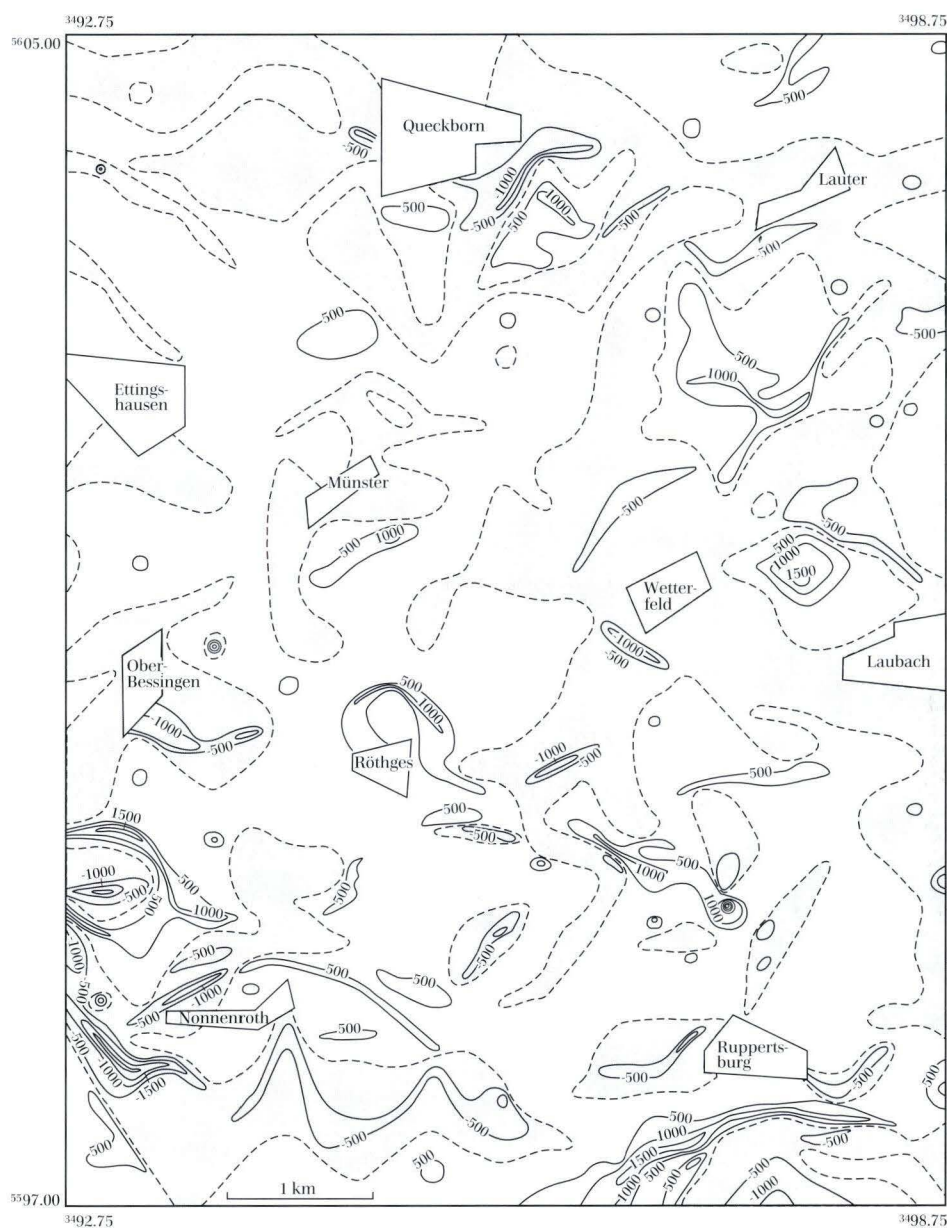
imum: +3696 nT; interpoliertes Minimum: -1801 nT; interpoliertes Maximum: +2867 nT). Daraus ergab sich eine programmbedingte Verschiebung hin zu positiven Werten.

#### Auswertung und Interpretation:

Bei der Suche nach Lineationen wurde auf folgende Merkmale geachtet:

- scharfe, geradlinige Grenzen, die unterschiedliche Grautöne deutlich voneinander trennen und die über längere Strecken durchhalten
- Aufreihungen von punktförmigen Anomalien, die konkreten Streichrichtungen folgen
- sonstige markante Strukturen.

Vor allem im zentralen Teil des Untersuchungsgebietes



**Abb. 3.** Isanomalienplan (Totalintensität) nach manueller Konstruktion. Isolinien-Intervalle 500 nT. Dunkel: negative Bereiche.

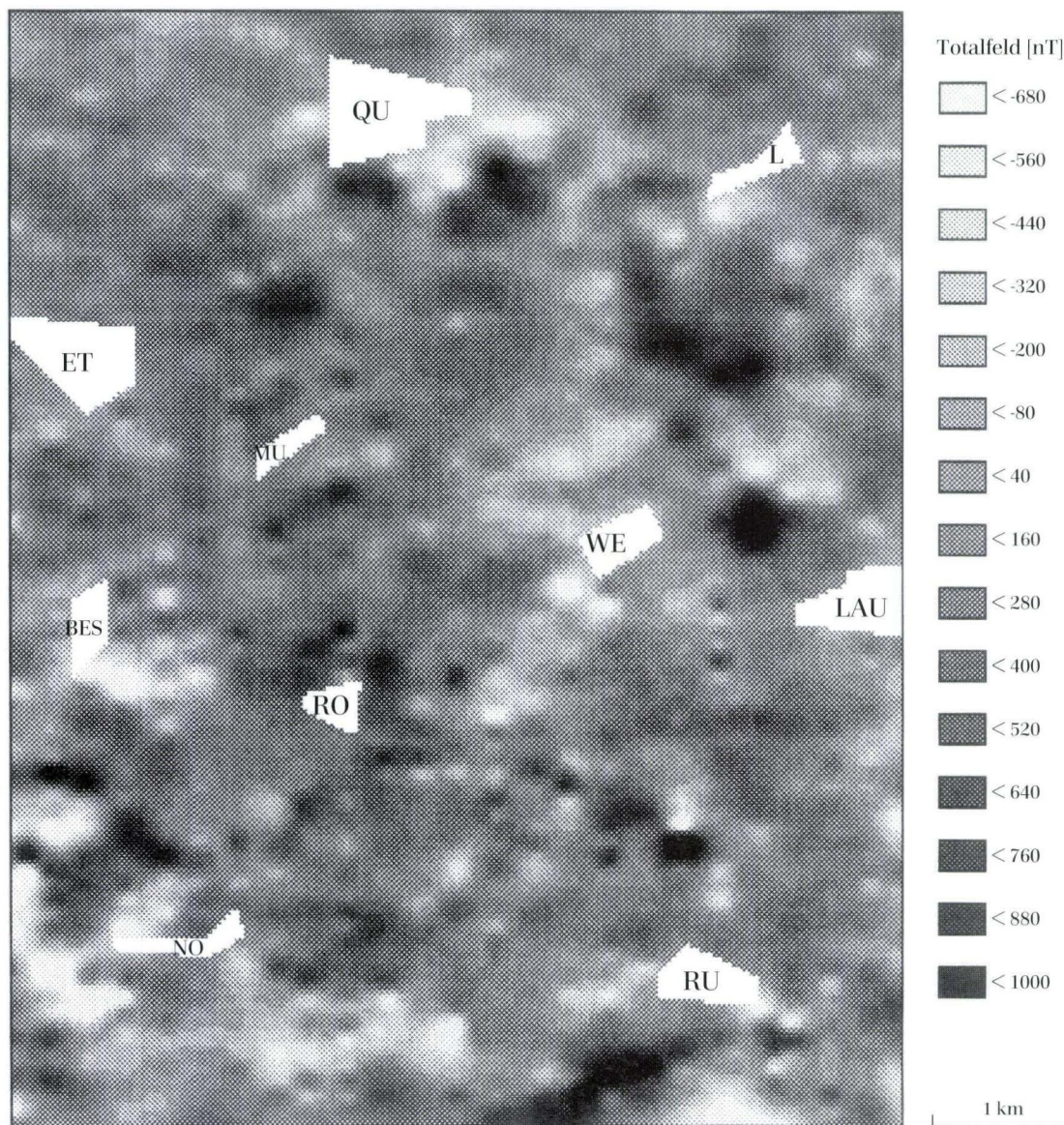
tes dominieren NE-SW streichende Lineationen, die mit der Streichrichtung der Hungen-Schotten-Tiefscholle übereinstimmen.

Von dieser Richtung weichen die Lineationen am südwestlichen und westlichen Rand sowie in der NW- und NE-Ecke des Arbeitsgebietes ab: im SW herrschen ESE verlaufende Linien vor, im Westen reihen sich mehrere Anomalien zwischen Ettingshausen, Münster, Röhthges und Ober-Bessingen in N-S-Richtung auf. Im Norden sind zusätzlich zu den NE-SW-Strukturen ungefähr senkrecht dazu verlaufende NW-SE und ESE-WNW-Elemente erkennbar. Insbesondere im nordöstlichen Qua-

dranten könnte dies als Änderung des tektonischen Bruchmusters nach NE zum Zentrum des Vogelsberges hin interpretiert werden.

Diese Informationen ergänzen die Erkenntnisse aus den Isanomalienplänen, da dort, bedingt durch die relativ ruhigen Intensitäten im nördlichen Teil, richtungsabhängige Elemente nicht deutlich zu erkennen sind.

Beachtung verdient auch die kreisförmige Struktur zwischen Queckborn und Wetterfeld mit einem Durchmesser von etwa 1 km. Eine Interpretation als Intrusion scheidet hier wahrscheinlich aus, da dann eine deutlichere Anomalie meßbar sein müßte. Besser läßt sich



**Abb. 4.** Totalfeldanomalien des Erdmagnetfeldes dargestellt als Grauwertumsetzung. Hell: negative Anomalien, dunkel: positive Anomalien, weiß: Ortschaften. BES=Ober-Bessingen, ET=Ettingshausen, L=Lauter, LAU=Laubach, MU=Münster, NO=Nonnenroth, QU=Queckborn, RO=Röhthges, RU=Ruppertsburg, WE=Wetterfeld

diese Struktur durch eine Caldera erklären, die durch sedimentäre Füllung des Einbruchkessels magnetisch unauffällig ist. Bei genauer Betrachtung ist innerhalb dieser Struktur auch eine rundliche, lokal begrenzte negative Anomalie mit nördlich anschließenden positiven Werten erkennbar. Dies könnte ein Hinweis auf einen revers magnetisierten Förderkanal sein.

### 3.3. Magnetik-Profile

Die Interpretation von Magnetik-Profilen sollte immer unter Berücksichtigung der bekannten Geologie geschehen. Geometrie und Tiefenlage auch von oberflächlich nicht erkennbaren „Störkörpern“ können durch Modellrechnungen bestimmt werden, bei denen eine möglichst exakte Übereinstimmung zwischen gemessenem und berechnetem Anomalieverlauf angestrebt wird. Entsprechende Aussagen können bei einiger Erfahrung

auch qualitativ vorgenommen werden. Einzelheiten zum Verlauf von magnetischen Anomalien und deren Interpretation sind in zahlreichen Veröffentlichungen enthalten, wie z.B. in PARASNIS (1986) oder TELFORD et al. (1981). Die besten Ergebnisse sind dann zu erwarten, wenn magnetisierte Gesteine sich mehr oder weniger isoliert in magnetisch „ungestörtem“ Gebiet befinden. In diesem Fall sind relativ genaue Aussagen zur Lage und Geometrie der magnetischen Körper möglich.

Die Interpretation der Profile im Vogelsberg ist jedoch ungleich schwieriger, da das gesamte Arbeitsgebiet flächenhaft mit remanent magnetisierten basaltischen Gesteinen bedeckt ist. Anomalien sind daher primär bei Änderung der Suszeptibilitäten oder Magnetisierungsrichtungen oder durch wechselnde Hangschuttmächtigkeiten, die ein magnetisches Signal i.a. mehr oder weniger abschwächen, zu erwarten.

Hauptziel bei der Interpretation der 25 Profile war es, Korrelationen von Anomalien gleichen geologischen Ur-

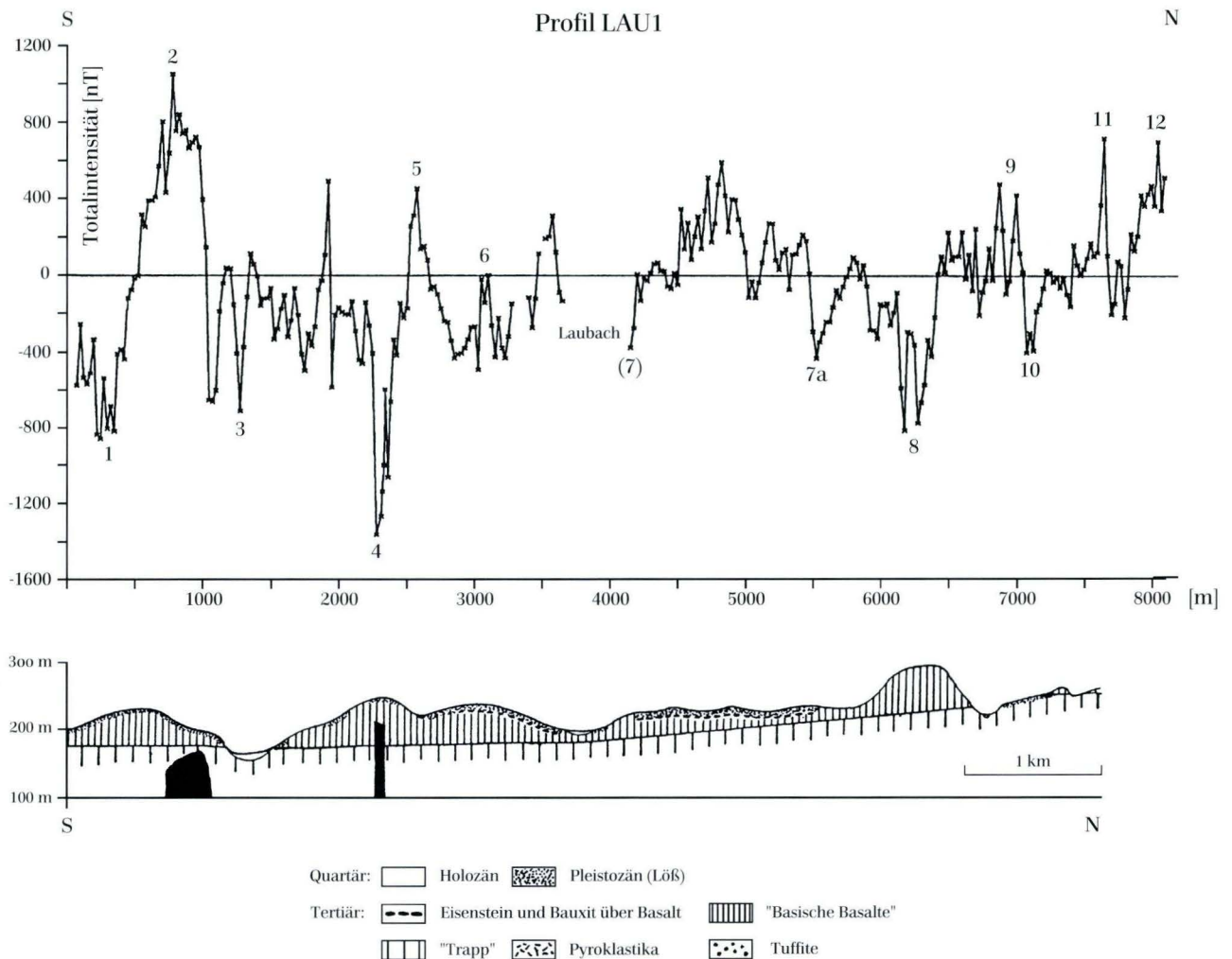


Abb. 5. Geomagnetisches und interpretiertes geologisches Profil LAU1.



sprungs auf den Parallelprofilen herzustellen. Bei der Auswertung wurde dann zwischen denjenigen Anomalien, die aus oberflächlichen oder morphologischen Gegebenheiten resultieren und solchen, die tieferreichende Strukturen wie Gänge oder Schloten repräsentieren, unterschieden. Letztere fanden bei der kartenmäßigen Darstellung und der Interpretation der Bruchschollen besondere Berücksichtigung.

Profil LAU1 (Abb. 5) stellt beispielhaft die Vorgehensweise dar, nach der alle 25 Magnetik-Profile interpretiert wurden:

### 3.3.1. Profil LAU 1

Nach etwa 500 m Meßstrecke tritt die deutlichste positive Anomalie des Profils mit einer Totalintensität von über +1000 nT auf. Die geologische Karte bietet für ihr Auftreten keine Erklärung, da der Profilverlauf hier, wie

auch bei einem Großteil der restlichen Strecke, über quartäre Lößlehmbedeckung führt. Darunter stehen basaltische Gesteine an.

Die relativ gleichmäßig verlaufenden steilen Flanken der Anomalie zeigen, daß sich hier ein steilstehender, oberflächennaher Störkörper im Untergrund befindet, der sich von seiner Umgebung deutlich abhebt. Da die Struktur im westlichen Parallelprofil nicht mehr auftaucht, wird sie als etwa 250 m breite isometrische Intrusion interpretiert. Der geringfügig steilere nördliche Flankenabfall kann dabei durch insgesamt südliches Einfallen des Körpers oder durch Schrägstellung seiner Oberfläche verursacht werden. Unter Anwendung der von PARASNIS (1986) und TELFORD et al. (1981) angegebenen Berechnungsmethoden befindet sich die nördliche Kante in 27 m Tiefe; die südliche Begrenzung wäre dagegen erst etwa 100 m unter Gelände zu finden. Dies liegt hauptsächlich an der Morphologie, die nach Süden hin

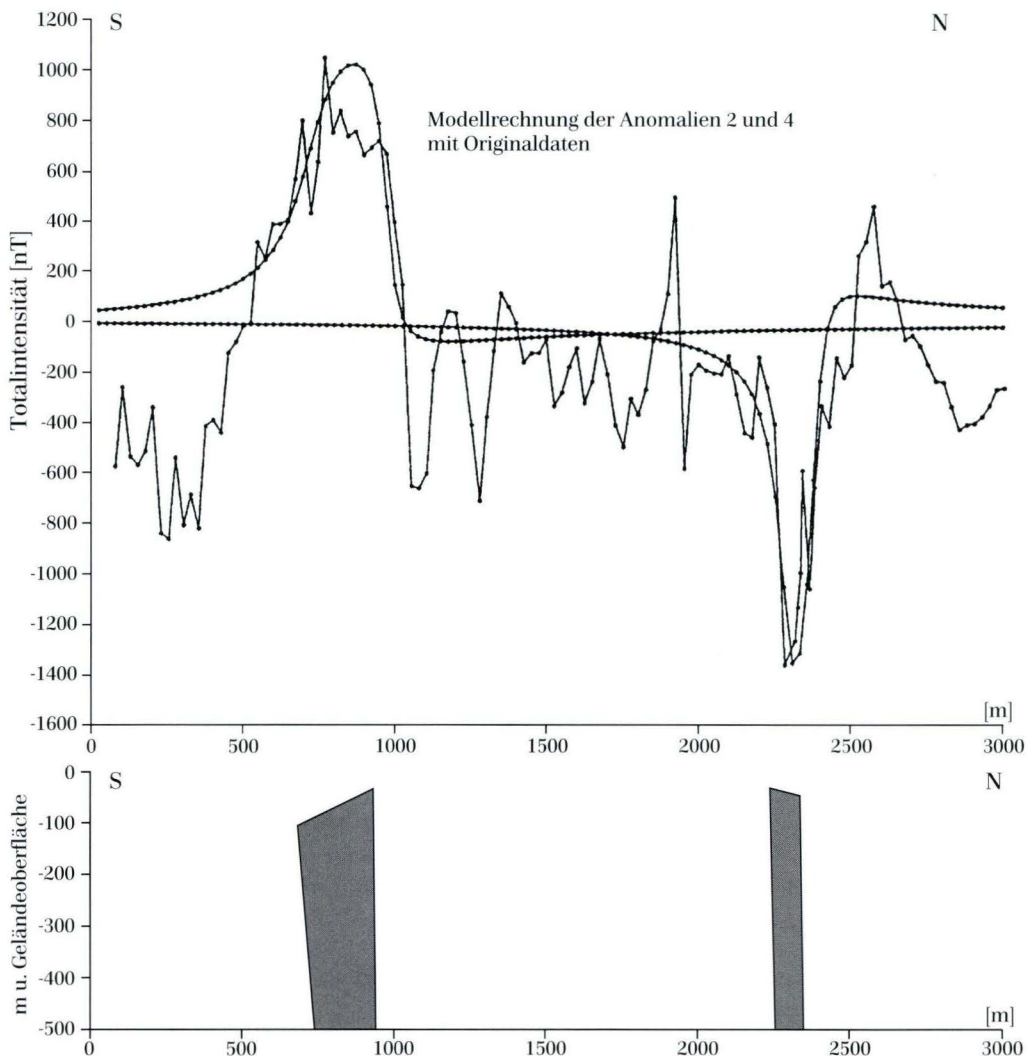


Abb. 6. Modellrechnung für die Anomalien 2 und 4 mit Originaldaten und Störkörpern.

ansteigt und dort eine entsprechend mächtigere Überlagerung der Deckschichten bewirkt.

Die im Anschluß an diese Interpretation durchgeführte Modellrechnung nach TALWANI (1964) für die Anomalien 2 und 4 bestätigt die obigen Annahmen (Abb. 6). Die beste Übereinstimmung zwischen den gemessenen Totfeld-Werten und der Modellkurve für Anomalie 2 wird unter der Annahme eines 250 m breiten Körpers erreicht, dessen nördlicher Teil in 30 m Tiefe und sein südlicher Teil in 100 m Tiefe liegt. Die vorausgesetzten Intensitäten der Magnetisierung und der Suszeptibilität sowie die Magnetisierungsrichtung orientierten sich bei der Störkörperberechnung wegen fehlender Labormessungen an Erfahrungs- und Literaturwerten. Dabei ist zu erwähnen, daß Magnetisierung und Suszeptibilität nach den Ergebnissen magnetischer Messungen an Bohrkerne aus dem Vogelsberg (PUCHER & FROMM 1981: 138 ff) um den Faktor 10, teilweise auch erheblich darüber, schwanken können.

Die nächste auffällige Anomalie (Anomalie 4) tritt nach etwa 2300 m Profilstrecke auf. Sie ist negativ (ca. -1400 nT) und wird beidseitig von positiven Peaks um +500 nT begrenzt. Peak 5 (Abb. 5) ist mit der negativen Anomalie assoziiert und stellt das positive Randtief des Körpers dar. Dies läßt auf einen revers magnetisierten Gang schließen. Nach der Modellrechnung ergibt sich eine Breite von 100 m, die Tiefenlage der Oberfläche ist im südlichen Teil

bei 35 m, im nördlichen Teil bei 45 m zu erwarten.

Weitere Anomalien auf Abb. 5 wie 8, 9 oder 11 werden aufgrund ihrer relativ geringen Intensitäten keinen tiefreichenden Strukturen zugeordnet, sondern primär mit den morphologischen Gegebenheiten in Zusammenhang gebracht. Danach fällt Anomalie 8 mit dem Anstieg zum anstehenden Basalt, Anomalie 10 mit ihrem Abhang und Anomalie 11 mit der im Norden gelegenen Kuppe (Basalt über „Trapp“) zusammen. Die positiven Werte um Anomalie 9 zeigen die Verbreitung des anstehenden Basalts an. Diese Anomalieanordnung mit den beiden negativen Peaks 8 und 10 als Begrenzung des Vorkommens stimmt mit dem theoretisch zu erwartenden Anomalieverlauf über einer horizontal orientierten, magnetisierten Platte überein. Horizontale, magnetisierte Platten entsprechen der Modellvorstellung einer Basaltdecke. Die Beobachtung, daß die positiven Werte um Anomalie 9 sich nicht genau über der morphologischen Kuppe befinden, sondern nach Norden versetzt sind, kann mit entsprechender remanenter Magnetisierungsrichtung des anstehenden Basalts erklärt werden.

Die im mittleren Teil der Meßstrecke vermutlich unter dem Löß anstehenden bauxitischen Verwitterungsbildungen verursachen schwach schwankende Anomalien, teils im negativen, teils im positiven Bereich. Ihr Anfang wird zwischen Anomalie 5 und 6 angenommen, ihr Ende könnte durch Anomalie 7a angezeigt werden.

## 4. Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Nach der Interpretation aller 25 aufgenommenen Magnetik-Profile sowie unter Einbeziehung der Isanomalienpläne und der Grauwertumsetzung lassen sich die folgenden Strukturen räumlich erfassen und eingrenzen. In Klammern ist die Magnetisierungsrichtung angegeben. (normal: positive Magnetisierung, revers: negative Magnetisierung).

- Gänge westlich Nonnenroth (revers),
- Gänge südlich (normal) und westlich (revers) Ruppertsburg,
- Gänge zwischen Nonnenroth und Ruppertsburg (normal)
- Gänge nördlich (normal) und südlich (revers) Wetterfeld,
- Gang südöstlich Münster (normal),
- Gänge nördlich (normal) und östlich Röhges (normal/revers),
- Gang ca. 1 km südöstlich Queckborn (normal),
- Gang ca. 1 km südlich Laubach (revers),
- Schlot ca. 700 m nördlich Ruppertsburg (normal),
- weitere Schlote (normal/revers), vor allem in der süd-

- lichen Blatthälfte, z.T. linear aufgereiht.
- zwei Intrusionen nordwestlich Laubach (normal).

Die auf den Isanomalienplänen erkennbaren negativen Anomalien um Queckborn und südöstlich Nonnenroth sowie die ovale positive Anomalie zwischen Queckborn und Ettingshausen werden durch oberflächennah anstehendes Gestein und nicht durch tiefreichende Strukturen verursacht. Die Ausdehnung dieser Basaltkomplexe, die im Gelände zum größten Teil von postbasaltischen Verwitterungsprodukten überdeckt werden, entspricht in etwa dem Verlauf der 500-nT-Isanomalien.

Die Interpretation der Magnetik-Profile zeigt, daß eine Festlegung potentieller Kluft- und Verwerfungsbahnen auf diese Weise möglich ist. Aussagen zur Begrenzung von Schollenkomplexen allein durch diese Methode können jedoch nicht ohne weiteres gemacht werden. Dazu sind die nachfolgend diskutierten ergänzenden statistischen Untersuchungen, Luftbildauswertungen und auch die Einbeziehung vorhandener geologischer und geophysikalischer Erkenntnisse unabdingbar, da die geomagnetische Vermessung nur eine indirekte Me-

thode zur Auffindung tektonischer Elemente wie Kluff- und Verwerfungszonen darstellt. Problematisch für die Interpretation ist dabei, daß alle magnetischen Anomalien, unabhängig von ihrer Ursache erfaßt werden.

#### 4.1. Statistische Auswertung und Stressfeld

Um einen Überblick über tektonische Vorzugsrichtungen im Arbeitsgebiet zu erhalten, sind statistische Auswertungen (Richtungsrosen) der Gangrichtungen, der Lineationen aus der Grauwertumsetzung und von Photolineationen durchgeführt worden (Abb. 7).

Die Luftbildauswertung (Abb. 7 rechts) zeigt Häufungen in NE-SW, NW-SE, NNW-SSE und E-W-Richtungen. Während die NW-SE-Strukturen relativ breit gefächert sind ( $120\text{--}150^\circ$ ), lassen sich drei NE-SW-Elemente erkennen, die  $35^\circ$ ,  $50^\circ$  und  $60^\circ$  gerichtet sind; auch die  $75^\circ$ -Richtung besitzt eine gewisse Bedeutung. Die NNW-SSE und E-W-Richtungen werden von den  $170^\circ$ - bzw.  $90^\circ$ -Spitzen der Richtungsrose repräsentiert.

Die Auswertung der magnetischen Meßergebnisse (Abb. 7 mitte), die Richtung und streichende Länge der Gänge berücksichtigt, stimmt mit der Luftbildauswertung größtenteils überein: Hauptelement ist die NE-SW-Richtung mit der dazu orthogonal angeordneten NW-SE-Komponente sowie zusätzlich NNW-SSE ( $165^\circ$ ) und E-W-Lineationen ( $95^\circ$ ). Die NW-SE-Richtung besitzt eine breite Streuung von  $110\text{--}150^\circ$  und ist schwächer ausgeprägt als die NE-SW-Richtung, die den Bereich zwischen  $55^\circ$  und  $70^\circ$  abdeckt, mit einem Maximum bei  $60^\circ$ . Deutlich treten auch  $25^\circ\text{--}30^\circ$  und  $40^\circ$ -Richtungen hervor.

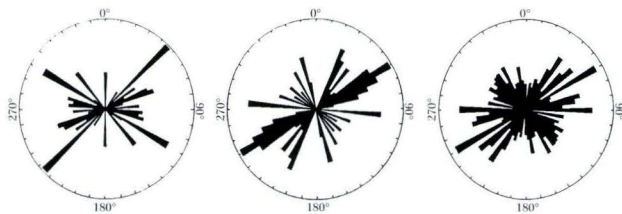


Abb. 7. Richtungsstatistische Auswertung der Grauwertumsetzung (links), der vulkanischen Gänge (mitte) und von Luftbild-Fotolineationen (rechts).

Bei der statistischen Auswertung der Grauwertumsetzung (Abb. 7 links) wird die NE-SW-Richtung durch die  $45^\circ$ -Richtung repräsentiert. Daneben tritt eine etwas breiter gestreute, wesentlich schwächere Komponente bei  $65^\circ\text{--}70^\circ$  auf. Dieses Bild weicht von den beiden anderen Richtungsrosen ab. Auch wird die dort ersichtliche NW-SE verlaufende Orthogonalrichtung in der Richtungsrose der Grauwertlineationen lediglich durch die  $140^\circ$ -Richtung wiedergegeben. Sehr deutlich tritt auch

die  $120^\circ$ -Richtung hervor. Die SSE-NNW-Richtung fehlt ganz, stattdessen sind N-S und E-W bis ESE-WNW gerichtete Elemente erkennbar, wobei letztere auch in der Auswertung der Gang-Streichrichtungen auftreten. Die aus der Grauwertumsetzung entwickelte Statistik sollte jedoch nicht überbewertet werden, da nur eine relativ geringe Anzahl von Linearen erfaßt wird. Auch ist die exakte Richtungsfestlegung der Lineationen auf der komplexen Karte oftmals schwierig, was als Fehlerquelle in die Auswertung miteingeht.

Die Richtungsrosen geben Hinweise auf ein Bruchgitter, das seinerseits Rückschlüsse auf ein tertiäres Paläo-Stressfeld zuläßt. Die Frage nach der Lage der Extensions-, Kompressions-, und Scherflächen ist allerdings nur unter Zuhilfenahme anderer Untersuchungen zu beantworten. Hier sind vor allem die Arbeiten von ILLIES heranzuziehen, die eine Vielzahl verschiedener Forschungsergebnisse mitberücksichtigen.

Die rezente maximale Kompressionsspannung (größte Hauptspannung  $\sigma_1$ ) im Gebiet Oberer Rheingraben/Rheinischer Schild ist  $146^\circ$  (NW-SE) gerichtet (BAUMANN 1981). Extensionsbewegungen liegen senkrecht dazu (NE-SW). Diesen tektonischen Bewegungen, einschließlich der etwa  $45^\circ$  dazu geneigten Scherflächen, folgen die heutigen aktiven regionalen Verwerfungsflächen, so auch die sinistrale Scherbewegung des Oberrheingrabens. Ein vergleichbares Bewegungsbild herrschte auch zur Zeit der variszischen Orogenese. Die Hauptkomponenten der Richtungsrosen (NE-SW und NW-SE) passen zwar gut in das rezente bzw. variszische tektonische Bild, bei der Beurteilung der tertiären Stressfelder ist jedoch ihre Rotation entgegen dem Uhrzeigersinn vom Eozän/Oligozän, wo die Hauptdruckkomponente NE-SW gerichtet war, bis heute, wo sie NW-SE verläuft, zu berücksichtigen (z.B. ILLIES & GREINER 1976). Der ausgeprägt kompressive Charakter des eozänen/oligozänen Stressfeldes wurde danach durch die intensive Plattenkollision im alpinen System bedingt. Durch die maximale horizontale Druckspannung parallel zu den variszisch vorgezeichneten Schwächezonen des Gebirgssockels konnten sich entsprechende Störungsmuster auch bis in das Deckgebirge durchpausen. Im Oberpliozän entwickelte sich ein anderes, noch heute andauerndes Stressfeld. Diese Stressfeldänderung erklärt auch die Umwandlung der Bewegungen im Oberrheingraben von Zerr- zu Scherbewegungen.

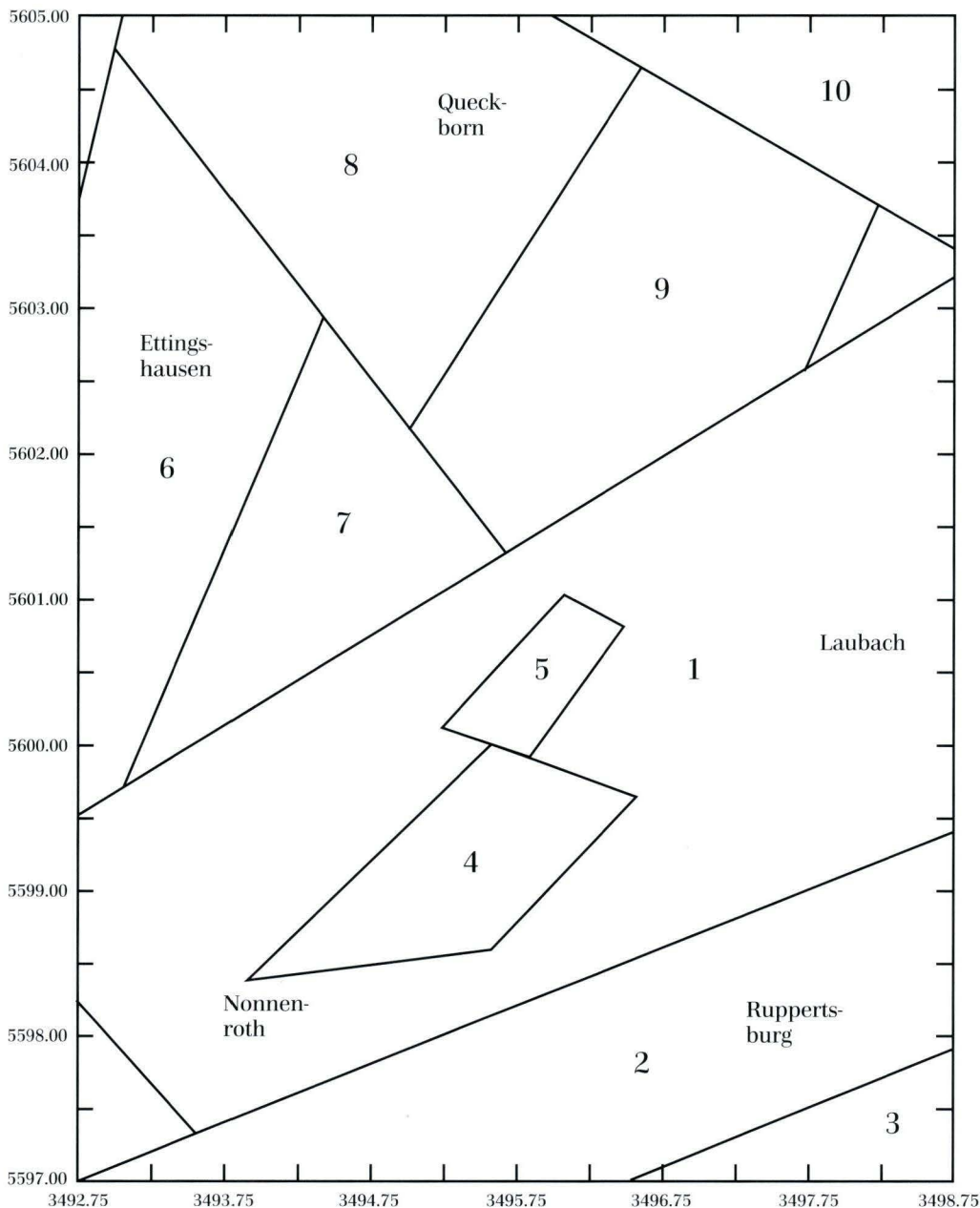
Aus den tertiären Spannungsrichtungen in Verbindung mit der Richtungsrose der magmatischen Gänge (Abb. 7 mitte) läßt sich folgende Entwicklung ableiten: die etwa  $30^\circ$  gerichtete Hauptdruckkomponente im Eozän/Oligozän wird durch die sehr deutlichen  $25\text{--}30^\circ$  Lineare der Richtungsrose wiedergegeben. Die Drehung von  $\sigma_1$  auf etwa  $15^\circ$  und damit koinzidierende Zerrstrukturen zeigen sich dagegen in der statistischen Auswertung

tung nicht und werden erst bei weitergehender Auswertung, in der auch die linear aufgereihten Schlotkomplexe berücksichtigt werden, deutlich. Daneben aktiviert das (unter)-miozäne Stressfeld noch andere Bruchsysteme, die in Richtung der maximalen Scherspannung ( $60^\circ$ ) liegen. Die Rotation läßt sich an dem breiten,  $75^\circ$ - $55^\circ$  abdeckenden NE-SW-Band der Richtungsrose nachvollziehen: Die Hauptdruckrichtung von  $30^\circ$  im Oligozän korrespondiert mit der Scherrichtung von  $75^\circ$ , die sukzessive auf  $70^\circ$ ,  $65^\circ$ ,  $60^\circ$  und  $55^\circ$  schwenkt, mit einer Hauptrichtung von  $60^\circ$ , die gleichzeitig eine alte, variszische Richtung repräsentiert.

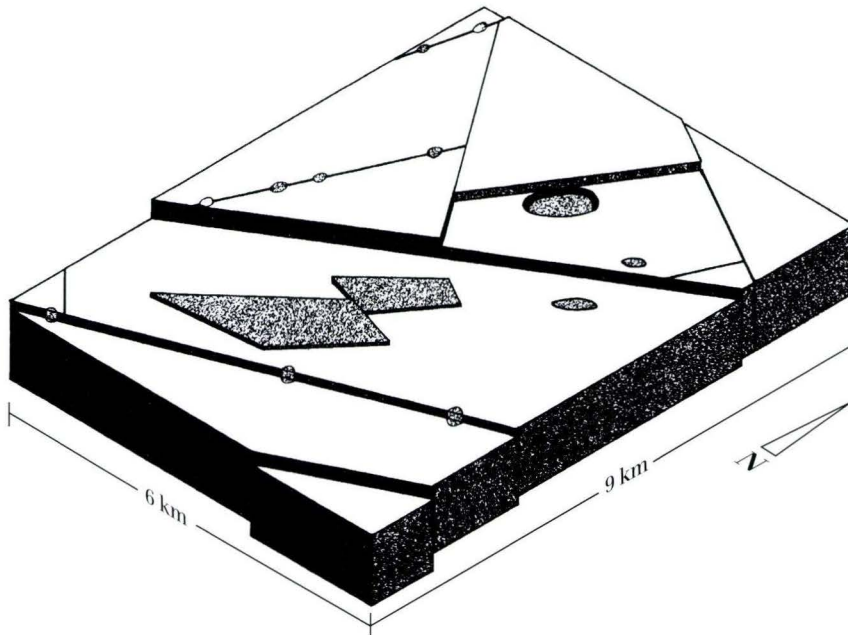
## 4.2. Rückschlüsse auf Bruchstrukturen der Basaltbasis

Bei der Zusammenfassung von dominanten geomagnetischen Lineationen auf einer Übersichtskarte werden die wesentlichen Elemente, die für den Schollenbau dieses Gebietes von Bedeutung sind, deutlich (Abb. 8). Dabei werden markante Gänge, linear aufgereichte Schlotkomplexe sowie Lineationen aus der Grauwertumsetzung berücksichtigt.

Die „Hungen-Schotten-Tiefscholle“ i.S.v. EHRENBERG & HICKETHIER (1985) ist danach kein einheitliches Element, sondern noch in zusätzliche, parallel streichende Schollen aufgliedert (Schollen 1-3). In Scholle 1 sind



**Abb. 8.** Verlauf von Schollengrenzen der Basaltbasis nach den durchgeführten Untersuchungen.



**Abb. 9.** Blockbild der Basaltbasis im Arbeitsgebiet. Eingezeichnet sind Schollengrenzen, Vulkanschote und Intrusionen. Vertikale Sprungbeträge nicht maßstäblich.

zwei weitere Blöcke eingeschaltet (4 und 5). Die zwischen Block 1 und den nordwestlich anschließenden Strukturen gelegene Verwerfungszone korrespondiert sehr gut mit dem Grenzverlauf der Schollenkomplexe der Basaltbasis nach EHRENBURG & HICKETHIER (1985). Das Schollenmuster weicht in der nördlichen Hälfte von der variszischen 60°-Haupttrichtung ab; die Blöcke 6–9 streichen dort vorwiegend zwischen 15 und 40°. Vor allem an der westlichen Gebietsgrenze zeigt dies einen Einfluß des Oberrhein- bzw. Horloffgrabens an.

Einen räumlichen Eindruck der Höhenbeziehungen vermittelt das Blockbild (Abb. 9), in dem von einem sukzessiven Absinken der Schollen 1–3 nach SE, zum Zentrum der Hungen-Schotten-Tiefscholle hin, ausgegangen wird. Neben dem strukturellen Aufbau der Basaltbasis sind im Blockbild weitere geologische Informationen enthalten, wie die Lage der Eruptionsschote auf den angenommenen Verwerfungen sowie der Einbruchskrater auf Scholle 9 und zwei Intrusionen auf Scholle 9 und 1.

## 5. Schriftenverzeichnis

- BAUMANN, H. (1981): Regional stress field and rifting in Western Europe.- In: J. H. ILLIES (Editor): Mechanism of Graben Formation. - Tectonophysics, **73**: 105-111; Amsterdam (Elsevier).
- EHRENBURG, K.-H. & HICKETHIER, H. (1985): Die Basaltbasis im Vogelsberg. - Geol. Jb. Hessen, **113**: 97-135; Wiesbaden.
- ILLIES, H. & GREINER, G. (1976): Regionales stress-Feld und Neotektonik in Mitteleuropa. - Oberrhein. geol. Abh., **25**: 1-40; Karlsruhe.
- KLÄUSING, O. (1988): Die Naturräume Hessens. - Schr. hess. L.-Anst. Umwelt, Heft 67: 43 S., 1 Kt. 1:200000; Wiesbaden.
- PARASNIS, D. S. (1986): Principles of applied Geophysics. - Fourth edition: 402 S.; London-New York (Chapman and Hall).
- PUCHER, R. & FROMM, K. (1981): Magnetische Messungen an den Bohrkernen. - In: EHRENBURG, K.-H. et al.: Forschungsbohrungen im Hohen Vogelsberg (Hessen). - Geol. Abh. Hessen, **81**: 129-144; Wiesbaden.
- SCHÖTTLER, W. (1918): Geologische Karte des Großherzogtums Hessen 1:25000, Bl. Laubach, mit Erl., 109 S., 1 Abb., 2 Taf.; Darmstadt.
- TALWANI, M. & HEIRTZLER, J. R. (1964): Computations of magnetic anomalies caused by two dimensional structures of arbitrary shape. - In: Computers in the mineral industries, Part 1, Stanford Univ., Publ. Geol. Sci., **9**: 464-480.
- TELFORD, W. M., GELDART, L. P., SHERIFF, R. E. & KEYS, D. A. (1981): Applied Geophysics.- 105-217, 55 Abb.; Cambridge-London-New York-New Rochelle-Melbourne-Sydney (Cambridge University Press).

FRANK LEMMER & DIETRICH RAMBOW\*

# Abgedeckte geologische Karte, Höhenlage der Quartärbasis und Mächtigkeitsverteilung von pleistozänen Terrassenkiesen im Raum Kassel (Nordhessen), insbesondere im Gebiet östlich der Fulda (Bettenhausen und Waldau)

## Kurzfassung

Anhand von Bohrergebnissen im Raum Kassel (Nordhessen) wurde eine „Abgedeckte Geologische Karte“ erstellt. Damit konnten die entsprechenden aktuellen GK 25 in einigen Bereichen genauer differenziert werden. Der Raum ist charak-

terisiert durch den WNW-ESE streichenden Kasseler Graben dessen Verlauf im Arbeitsgebiet unter quartärer Überdeckung herausgearbeitet wurde. Ein Isolinienplan der Höhenlage der Quartärbasis und eine Karte der Mächtigkeitsverteilung der

pleistozänen Terrassenkiese wurden mittels eines Kriging-Algorithmus berechnet. Eine Paläorinne der Fulda, östlich dem heutigen Verlauf, zeichnet sich ab.

## Abstract

A stripped geological map of the Kassel region (North Hesse) has been derived from drilling results. By that, the corresponding geological maps 1:25 000 could be resolved more accurately in some areas. Tec-

tonically, the region is characterised by the WNW-ESE striking „Kasseler Graben“, the location of which in the working area has been determined under a Quaternary cover. A contour map of the Quaternary base

and a map of the thickness distribution of the terrace gravels was derived by means of a Kriging algorithm. An ancient channel of the Fulda river emerges east of its present course.

## Inhaltsverzeichnis

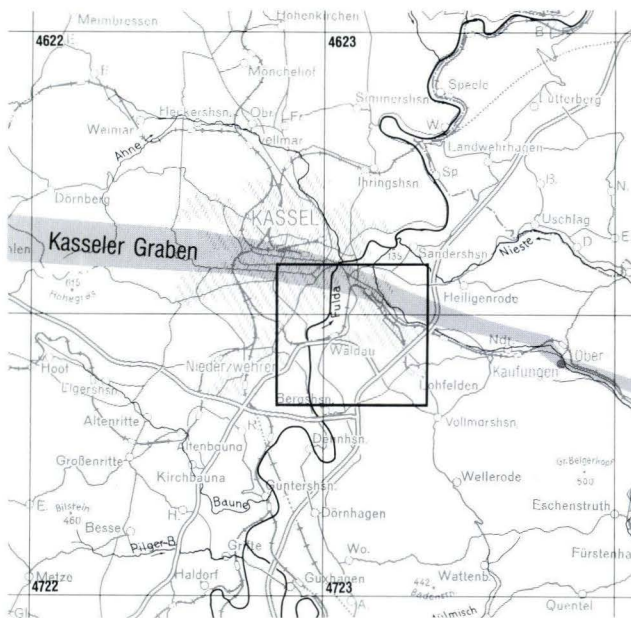
1. Einleitung	137
2. Datenmaterial und Datenverarbeitung	138
3. Abgedeckte geologische Karte (Quartär abgedeckt)	139
4. Höhenlage der Quartärbasis	144
5. Mächtigkeitsverteilung der pleistozänen Terrassenkiese	146
6. Zusammenfassung	147
7. Schriftenverzeichnis	147

## 1. Einleitung

Im Rahmen einer Auftragsarbeit für das Wasserwirtschaftsamt (WWA) Kassel wurden Bohrungen im Raum Kassel geologisch ausgewertet. Die in dieser Arbeit berücksichtigten Bohrungen bzw. Sondierungen umfas-

sen einen Zeitraum von ca. 80 Jahren, insbesondere den der letzten drei Jahrzehnte. Der größte Teil der Bohrungen wurde von D. RAMBOW geologisch bearbeitet und liegt in Form von Schichtenverzeichnissen im Archiv

\* Dipl.-Geol. F. LEMMER, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität, Hans-Meerwein-Straße, 35043 Marburg. Dr. D. RAMBOW, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 65193 Wiesbaden.



des HlFb. Durch die aktive Mitarbeit der Fachbehörden vor Ort und einiger Kasseler Ingenieurbüros konnten weitere Bohrungen berücksichtigt werden.

Das bearbeitete Gebiet zeigt Abb. 1. Es liegt hauptsächlich auf dem nordwestlichen Teil der TK 25 Bl. 4723 Oberkaufungen und mit geringeren Anteilen auf den Blättern 4622 Kassel West, 4623 Kassel Ost und 4722 Niederzwehren.

Die zusammengetragenen Informationen führten zu einer abgedeckten geologischen Karte, einem digitalen Höhenmodell der Quartärbasis und einem Isolinienplan der Mächtigkeitsverteilung der pleistozänen Terrassenkiese.

**Abb.1.** Das stärker hervorgehobene Quadrat (-) im Zentrum zeigt das Bearbeitungsgebiet. Es umfaßt 36 km<sup>2</sup>. Zur Verbesserung der Isolinienverläufe im Bereich der Kartenränder wurden auch Bohrungen berücksichtigt, die leicht außerhalb des Arbeitsgebietes liegen.

## 2. Daten und Datenverarbeitung

Aus den zugrundeliegenden Schichtenverzeichnissen wurden die Höhen der Quartärbasis über NN und die Mächtigkeit der pleistozänen Terrassenkiese zu (Isolinien-)Karten verrechnet.

Zur Verfügung standen:

- Schichtenverzeichnisse aus dem Archiv des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (HLfB) in Wiesbaden,
- Datenerhebungen beim Wasserwirtschaftsamt (WWA) Kassel und der Unteren Wasserbehörde in Kassel,
- Datenerhebungen bei Kasseler Ingenieurbüros,
- eigene Profilaufnahmen vor Ort.

Aus dem vorliegenden Datenmaterial wurden die Informationen in einer eigens dazu neu strukturierten geologisch/hydrogeologisch ausgerichteten Datenbank zusammengeführt.

Der so erfaßte Datensatz wurde mit dem Computerprogramm SURFER f. Windows<sup>®</sup> der Golden Software Inc. zu Isolinienplänen verrechnet. Die Profilschnitte wurden mit dem Programm GRAPHER f. Windows<sup>®</sup> ebenfalls der Golden Software Inc. erstellt.

Grundlage für die Karten sind Bohrungen, die die quartären Sedimente durchteuft haben. Ergänzung fanden die Karten durch eigene Geländebegehungen, insbesondere im Bereich des Eichwaldes. Die Zuverlässigkeit des Kartenbildes ist u.a. stark von der Bohrdichte abhängig. Die fragwürdigen bzw. sehr spekula-

tiven Bereiche sind im Kartenbild mit einem Fragezeichen versehen.

Es wurden ca. 1120 Bohrungen datenbankmäßig erfaßt und davon ca. 945 mit der o.g. Software zu Isolinienplänen verrechnet. Diese deutliche Differenz basiert auf der Tatsache, daß die quartären Schichten in zahlreichen Bohrungen nicht vollständig durchteuft wurden und somit diese nicht berücksichtigt werden konnten. In Abb. 2 sind letztere als kleine Kreuze zu erkennen. Dieses Symbol fand auch für Bohrungen Verwendung, bei denen das Liegende des Quartärs nicht eindeutig stratigraphisch einstuftbar war. Mengemäßig ist der Anteil fraglicher Bohrungen gegenüber den zu flachen Bohrungen vernachlässigbar.

Für das betrachtete Gebiet ergibt sich eine Punktdichte von rund 20 verwertbaren Bohrungen pro km<sup>2</sup>. Diese scheinbar hohe Meßwertdichte muß aber relativiert werden, da aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen (Grundwassermessstellen, Baugrunduntersuchung, Brunnenbohrungen etc.) eher „clusterweise“ gebohrt wurde und deshalb einige Kartenbereiche ohne Stützstellen auffallen (s. Abb. 2). Die Folge davon ist, daß die Isolinienverläufe (s. Abb. 3) in den leeren Bereichen mathematischen Trendberechnungen (Kriging) folgen, die nicht mit der tatsächlich vorhandenen geologischen Situation übereinstimmen müssen.

### 3. Abgedeckte geologische Karte (Quartär abgedeckt)

#### Allgemeines

Das Kartenbild der von den Sedimenten des Quartärs abgedeckten Geologie hat die stratigraphische Einstufung des jeweiligen Bearbeiters der Bohrungen zur Grundlage. Liegen verhältnismäßig wenig Bohrmeter einer geologischen Einheit vor, ist es für den Bearbeiter vor Ort nicht immer möglich, zuverlässig auf ein stratigraphisches Niveau zu schließen. So kann es vorkommen, daß das Bohrungssymbol nicht immer mit der Signatur in der Abb. 2 stratigraphisch übereinstimmt.

Die zunächst per Hand gezeichnete geologische Karte wurde digitalisiert und mit der in Kap. 2 beschriebenen Software dargestellt.

Die Profilschnitte wurden mit dem Computerprogramm GRAPHER f. Windows® der Golden Software Inc. erstellt. Ihre Lage sowie der zur Verfügung stehende Datensatz sind in Abb. 2 dargestellt.

#### Deutung des Kartenbildes

Tektonisches Hauptelement ist der Kasseler Graben. Er ist westlich der Fulda in eine nördliche und eine südliche Grabenscholle mit einer mittleren Hochscholle gegliedert. Auf dem Blattgebiet 4622 Kassel West, westlich der Fulda, hat er keine nennenswerte quartäre Überdeckung, während er im Bereich der Fulda-Aue und weiter östlich auf Bl. 4623 Kassel Ost und 4723 Oberkautungen (Bettenhausen) von rund 5–6 m mächtigen pleistozänen fluviatilen Sedimenten überlagert wird und daher die Genauigkeit der Grabenumgrenzung wie auch anderer geologischer Grenzen unmittelbar von der Bohrdichte abhängt. Bedeutungsvoll ist ein eingemuldetes und bisher noch nicht dargestelltes Muschelkalkzug, welche die südliche Grabenscholle markiert (s. Abb. 2). Die weiter westlich im Grabenzentrum erhaltenen mesozoischen Gesteine (RÖSING 1969) des Unteren Jura (Lia: u.a. Ständeplatz, Ecke Friedrich-Ebert-Straße/Annastraße) lassen sich in Bettenhausen nicht durch (Bohr-) Aufschlüsse nachweisen, obwohl deren Existenz nicht ausgeschlossen werden kann. Der tektonische Bau des zentralen Grabenbereiches in Bettenhausen ist wahrscheinlich komplizierter als in der Karte dargestellt (s. Abb. 2). Eine Bohrung (4623/166) traf unter dem Röt und sm(?) eine Zechsteinhochlage an, die als Zechsteinaufpressung auf einer Grabenrandstörung zu deuten ist (LEMMER & RAMBOW 1994). Innerhalb der zentralen Grabenhochscholle fällt der hohe Anteil an Bohrungen mit Röt 3 als Basis des Quartärs (ca. 135 m ü. NN) auf. Damit ist der Bereich Bettenhausen im Vergleich zum westlich der Fulda gelegenen Innenstadtbereich im Niveau der Grenze sm/so um 40–50 m höher herausge-

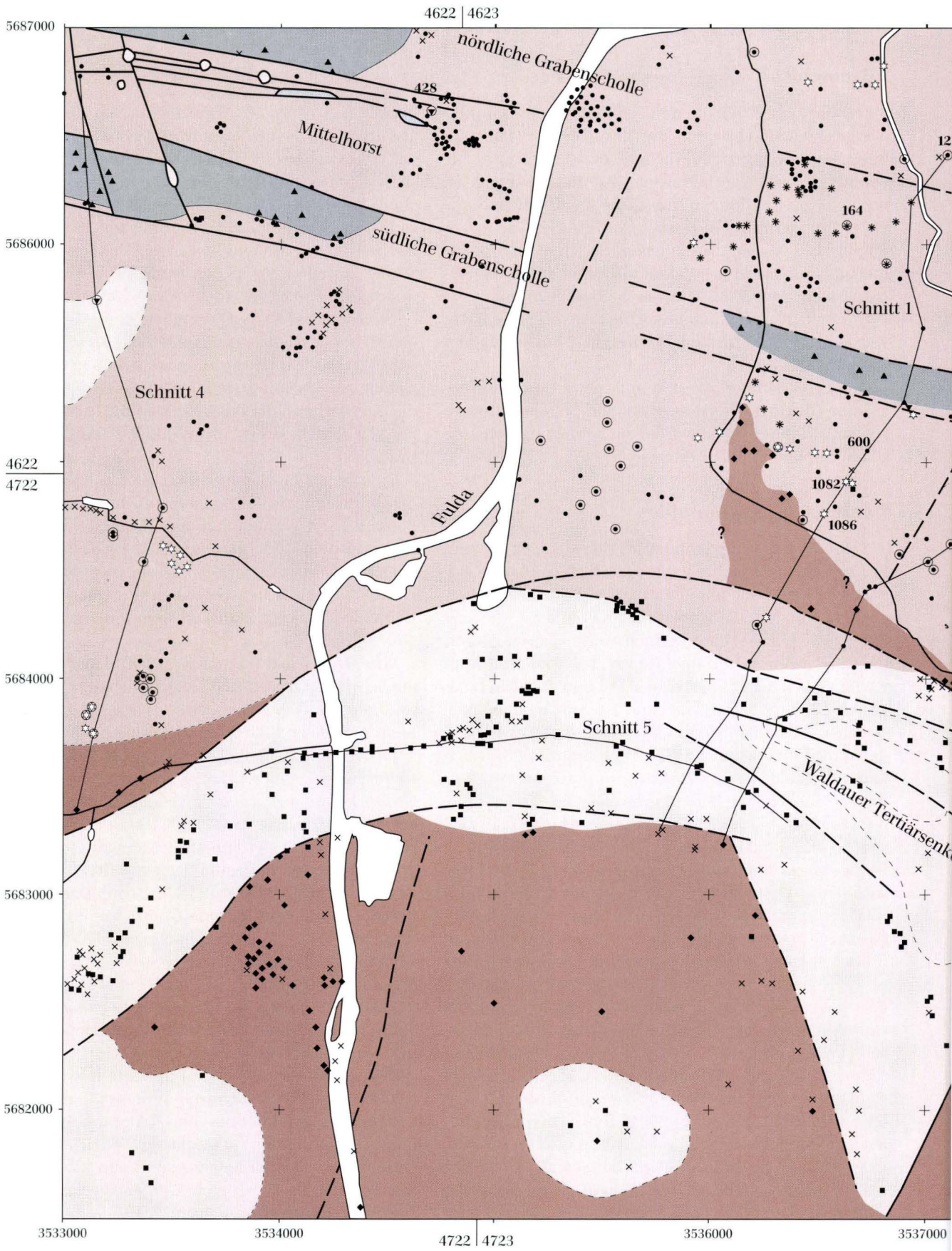
hoben (vgl. 4622/428 Documenta-Bohrung mit z.B. 4623/164). LEMMER & RAMBOW (1994) haben zwar innerhalb des Grabens die Rötbasis nicht in Isolinien dargestellt, doch ist aus deren Punktdaten die unterschiedliche Höhenlage der zentralen Hochscholle westlich und östlich der Fulda ersichtlich. Ähnliches dürfte auch für die nördliche Grabenscholle im Bereich Dresdener Straße zutreffen, da in den wenigen dort abgeteufte Bohrungen keine Gesteine des Muschelkalkes angetroffen wurden; insofern ist es fraglich, inwieweit eine nördliche Grabenscholle ausgebildet ist. In der Bohrung 4623/121 wurde die Grenze sm/so bei 115 m ü. NN angetroffen, neuere Bohrungen in diesem Bereich bestätigen die oberflächennahe Position der Grenze sm/so. Dieser Bereich bildet bereits die nördliche Randscholle des Grabens.

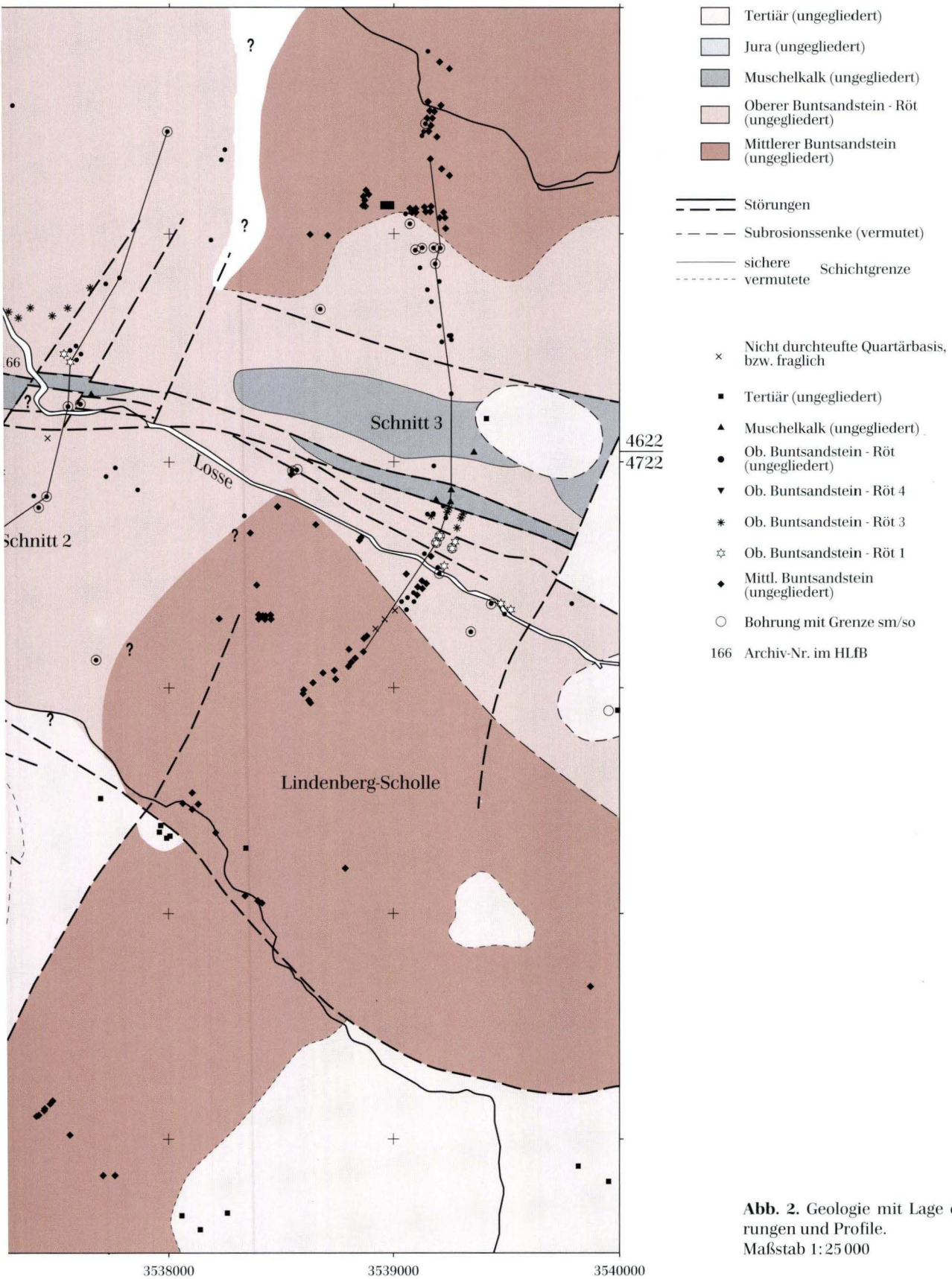
Die nördlichen Randschollen des Grabens sind nach den vorliegenden Bohrergebnissen im Bereich Kassel-Bettenhausen vornehmlich aus Gesteinen des Oberen Buntsandsteins (Röt) in relativ geringer Restmächtigkeit aufgebaut. Demgegenüber treten in den südlichen Randbereichen neben Gesteinen des Oberen auch Gesteine des Mittleren Buntsandstein (Solling-Folge, smS) auf.

Wie bei LEMMER & RAMBOW (1994) dargestellt, liegen die Schollen nördlich und südlich des Kasseler Grabens in ähnlicher Höhenlage. Diese Darstellung zeigt allerdings nur die großflächigen Zusammenhänge. Das Ausstreichen der Solling-Folge des Mittleren Buntsandsteins südlich des Kasseler Grabens zeigt, daß hier die sm/so Grenze höher liegt als nördlich des Grabens, wenn auch die Höhendifferenz nicht groß ist. Der Profilschnitt 1 zeigt im Bereich Bettenhausen-Kleingartenanlage und Waldau eine fast horizontal liegende Bruchscholle (vgl. Brg. 4623/600, 4723/1082 und 4723/1086). Durch die relativ oberflächennah liegende Grenze Solling/Röt ist die fleckenhafte Verbreitung der einzelnen Gesteinsfolgen wohl morphologischer Natur, wenn auch kleine Störungen möglich sind. Eine genaue Abschätzung der lateralen Verbreitung der oberflächlich anstehenden Solling-Folge ist daher ohne dichteres Bohrungsnetz nicht möglich. Die Solling-Sandsteine wirken als hydrogeologische „Fenster“, da sie einen unmittelbaren hydraulischen Kontakt zwischen den quartären Kiesen und den relativ porösen, gut geklüfteten – und daher gut wasserleitenden – Sandsteinen ermöglichen. Oberflächennahes Grundwasser in den Fuldakiesen kann also an diesen Stellen („Fenstern“) in tiefere GW-Stockwerke gelangen.

Bei den älteren Brunnen (1922, 1926) des Wasserwerkes Forst (z.B. 4723/2) der Städtischen Werke AG Kassel







**Abb. 2.** Geologie mit Lage der Bohrungen und Profile.  
Maßstab 1:25 000

4622 | 4623

5687000

5686000

4622  
4722

5684000

5683000

5682000

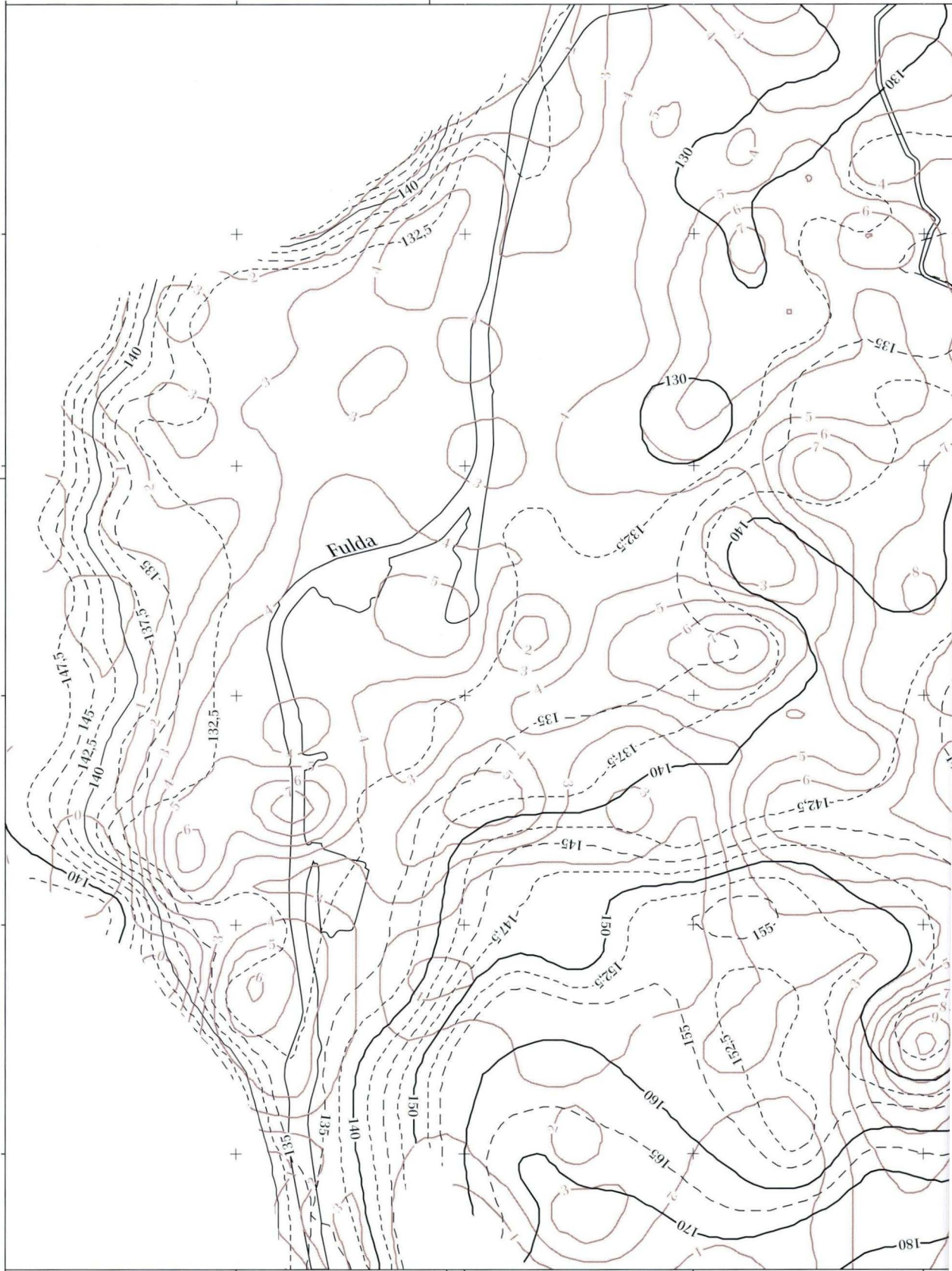
3533000

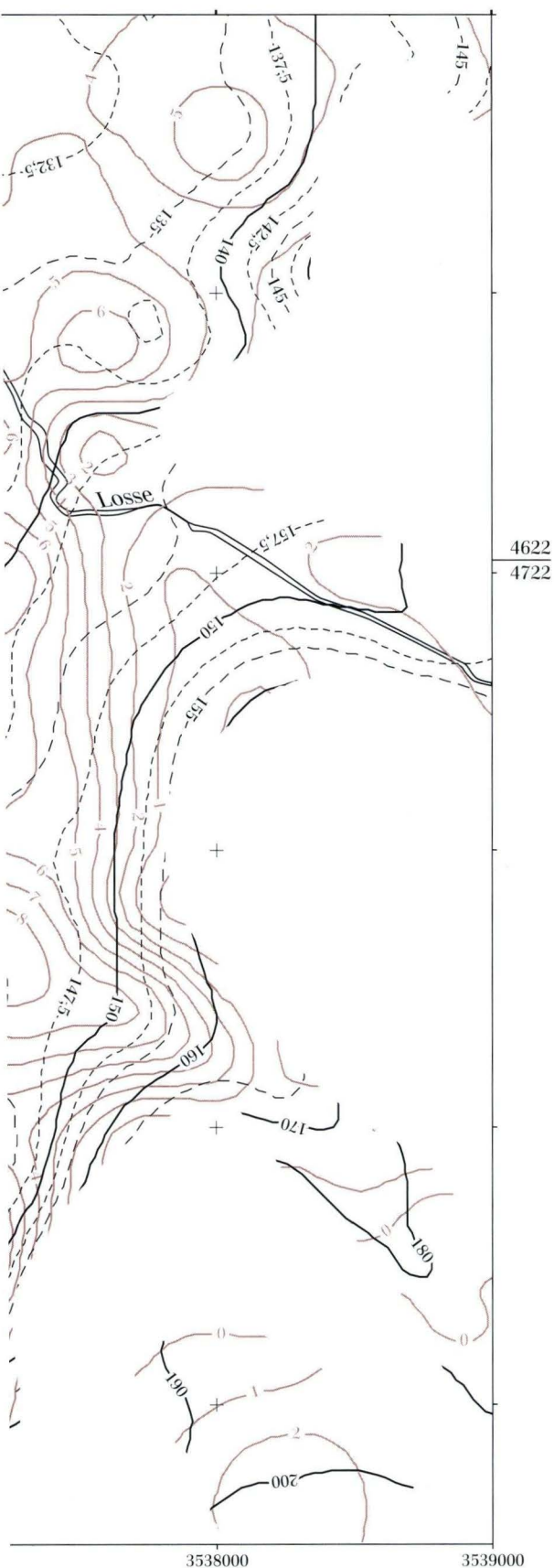
3534000

4722 | 4723

3536000

3537000





**Abb. 3.** Höhenlage der Quartärbasis und Mächtigkeitsverteilung pleistozäner Terrassenkiese.  
Maßstab 1:25 000

und auch bei frühen Bohrungen für das Wasserwerk Domänenwiese (z.B. 4723/1) wurde im Mittleren Buntsandstein südlich des Kasseler Grabens artesisch gespanntes Grundwasser erschlossen. Es ist also zu erwarten, daß im anthropogen nicht beeinflussten Zustand Wasser aus dem Buntsandstein in den quartären Grundwasserleiter geflossen ist.

Die mit tertiären Sedimenten gefüllte Waldauer Senke (Schnitte 1, 2 und 5) streicht überwiegend W-E bis WNW-ESE. Die tertiären Sedimente waren ursprünglich sicher nicht auf die Senke beschränkt, sondern flächenhaft verbreitet. Die Senkung hat ihre Erhaltung bedingt, während die randlichen Ablagerungen abgetragen wurden. Da keine Bohrung in diesem Bereich das Waldauer Tertiär durchteuft hat, ist eine genetische Interpretation schwierig. Neben einer Senkenbildung durch Subrosionsvorgänge im Oberen Buntsandstein(?) oder Zechstein (BERNHARD, RAMBOW, RITZKOWSKI & RÖSING 1973) ist sicher auch Grabentektonik, also echte Orthotektonik, beteiligt. Wie die Schnitte 1 und 2 zeigen, ist eine staffelartige Einsenkung der Bruchschollen wahrscheinlich. Im Liegenden des Tertiärs wird überwiegend Röt vermutet, obwohl Gesteine des Mittleren Buntsandsteins nicht ausgeschlossen werden können. Während Gesteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins den Bereich nördlich der Waldauer Senke aufbauen, wird das sich südlich anschließende Gebiet östlich von Bergshausen von Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins (Solling-Folge) gebildet.

Die Schichtgrenze Röt/Muschelkalk bildet im Gebiet des Eichwaldes einen guten Leithorizont zur Interpretation der geologischen Situation (s. Schnitt 3). Es ist mit

einer sehr schmalen Zentralscholle zu rechnen, die von zwei Muschelkalkmulden „begrenzt“ wird. Die südlich gelegene Muschelkalkrippe zeigt in diesem Areal, im Vergleich zum ENKA-Gelände (Bettenhausen), schon stärkere horizontale Einengung. Der Eichberg (Eichwald) ist eine flach eingemuldete Muschelkalkscholle. Weiter östlich im Kalkberg, auf Abb. 2 nicht mit dargestellt, fehlt der Grabenmittellbereich, so daß nur eine mehrfach im Streichen gestörte Doppelmulde zu beobachten ist (KUPFAHL 1981). PENNDORF (1936) und BAATZ (1959) nehmen für den Kalkberg eine einfache, allerdings gestörte und vergente Muldenstruktur an. Fraglich bleibt, inwieweit es sich beim Kalkberg um eine aufgeweitete Grabennordscholle oder um den Gesamtgraben handelt. Der Bereich nördlich des Eichwaldes wird von einer südlich einfallenden Großscholle mit Gesteinen des (Mittleren und) Oberen Buntsandsteins aufgebaut, während südlich des Kasseler Grabens an dieser Stelle die aus Sandsteinen der Solling-Folge (Trendelburg Schichten) aufgebaute „Lindenbergscholle“ anschließt. Sie liegt nicht horizontal, wie der Schnitt zeigt (Schnitteffekt), sondern fällt in WNW-Richtung ein (KUPFAHL 1981).

Im Gegensatz zur Grabenrandscholle im Bereich Waldau, zeigt der südlich des Kasseler Grabens gelegene Bereich bei Niederröhren ein recht einheitliches Bild einer in nördliche Richtung einfallenden Großscholle (zum Graben hin gerichtet). Im zentralen Bereich des Kasseler Grabens liegt, dokumentiert durch die „Documenta-Bohrung“ (4622/428), die Rötbasis in ähnlichem Niveau (ca. 0 m ü. NN, Meereshöhe) wie der nördlichste Teil der großen südlichen Grabenrandscholle (s. Schnitt 4).

## 4. Höhenlage der Quartärbasis

### Allgemeines

Da die hohe Anzahl von Bohrungen von mehreren Bearbeitern stratigraphisch bearbeitet wurde, spielt das unvermeidliche Problem der unterschiedlichen Festlegung der Quartärbasis für die Genauigkeit der Isolinienverläufe eine wichtige Rolle. Der weit größte Teil wurde jedoch im Laufe von Jahrzehnten von RAMBOW geologisch aufgenommen, bzw. bearbeitet.

1. Zum Lesen der Karte ist folgendes zu beachten: In Gebieten ohne oder mit nur geringmächtigem Quartär wurden keine Isolinien dargestellt.

Es sind dies:

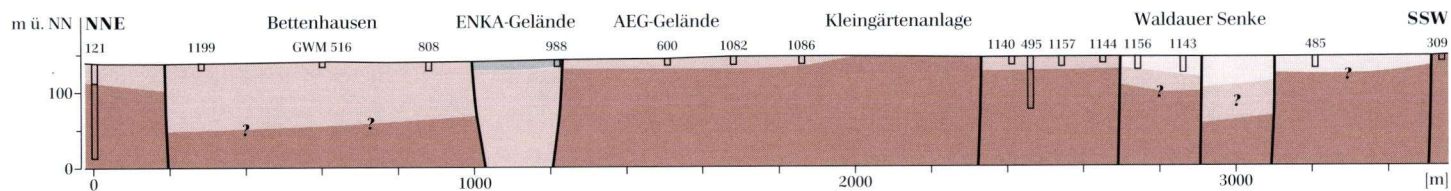
- die Innenstadt von Kassel,
- die steilen Fuldahänge im südwestlichen Teil des Arbeitsgebietes bei Bergshausen und
- Teile des Lindenberges und Eichwaldes.

2. In den Karten wurden die Isolinienintervalle unterschiedlich abgestuft, so daß die Abstände nicht immer äquidistant sind. Bis 155 m ü. NN beträgt der Isolinienabstand 2,5 m, von 155 bis 170 m ü. NN 5 m und ab 170 m ü. NN 10 m (s.u.).

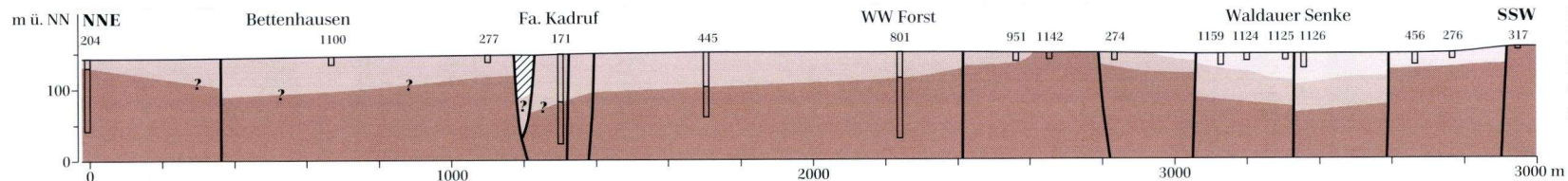
Die so gewählte Mehrstufigkeit hat den Vorteil, daß der zentrale Teil der Kartenblätter besser aufgelöst wird, ohne daß die Bereiche an den Kartenrändern an Übersichtlichkeit verlieren.

### Deutung des Kartenbildes

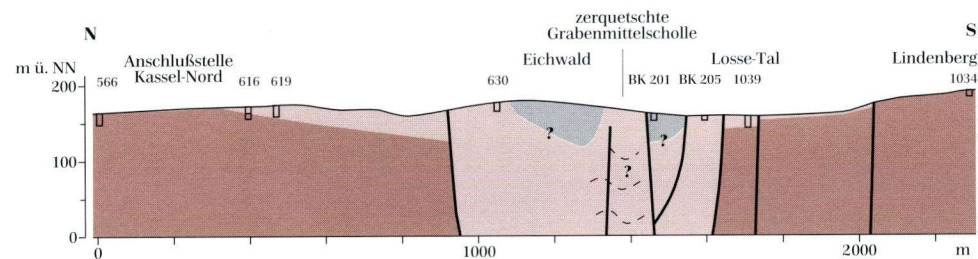
Im Bereich der Fuldaaue, in der Umgebung von Kassel-Bettenhausen und Waldau, fällt die Quartärbasis mit der Basis der pleistozänen Terrassenkiese zusammen.



**Schnitt 1**  
NNE-SSW-Profil durch  
Kasseler Graben und Waldauer  
Senke

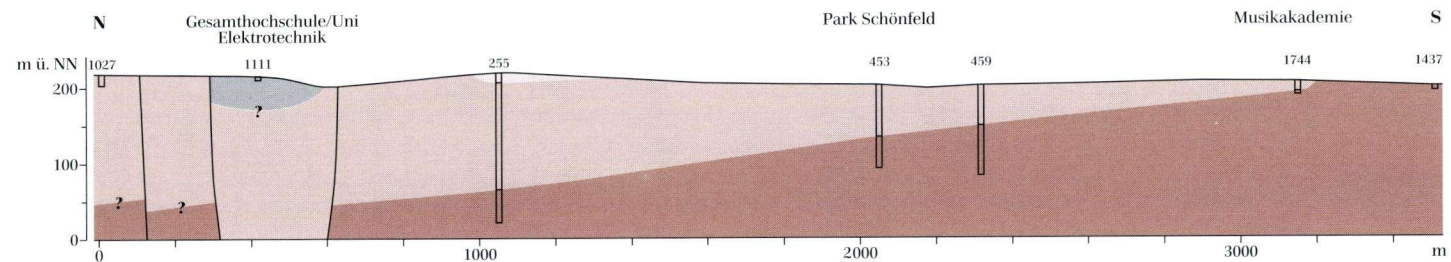


**Schnitt 2**  
NNE-SSW-Profil  
durch die Waldauer  
Senke

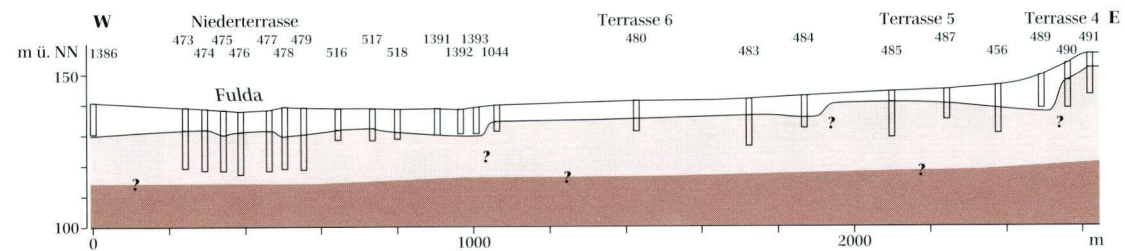


**Schnitt 3**  
N-S-Profil  
entlang der BAB 7

**Schnitt 1-4**  
Längen 1:20 000  
Höhen 1:10 000



**Schnitt 4**  
N-S-Profil durch den  
westlichen Teil des Arbeitsge-  
bietes



**Schnitt 5**  
E-W-Profil entlang der  
BAB 49 im Bereich Waldau  
Längen 1:20 000  
Höhen 1:2 500

- Tertiär
- Muschelkalk
- Oberer Buntsandstein
- Mittlerer Buntsandstein

**Abb. 4.** Schnitt 1-5.

In Bereichen ohne dieses Schichtglied, also der west- und östlichen Kartenränder, wurde die Basis anderer quartärer Sedimente (Löß, Lößlehm, Solifluktionsschutt etc.) verrechnet.

Die verwendete Gliederung der Terrassenkörper (KUPFAHL 1981) erfolgte vornehmlich nach ihrer Höhenlage über NN. Es ist aber nicht auszuschließen, daß durch pleistozäne Schollenbewegungen, aber auch durch ausklingende Subrosionsvorgänge einzelne Terrassen in anderen Höhenlagen liegen. Weitaus zuverlässigere Aussagen über die Altersabfolge der Terrassen würden Parallelisierungen anhand von biostratigraphischen Einstufungen (z.B. Pollenstratigraphie, Säugetierzähne) bzw. von Sedimentzusammensetzungen, also Schotteranalysen, zulassen. Letztere lagen aber für das Arbeitsgebiet in nur sehr eingeschränktem Maße vor (WENZEL 1931, SCHWARZ 1932, WILHELM 1937, SCHRÖDER 1938 und FINDEISEN 1952b). Im allgemeinen nimmt der Anteil des paläozoischen Kieselschiefers zugunsten der Sandsteine des Buntsandsteins von den älteren, also höheren, zu den jüngeren Terrassen hin ab (SCHWARZ 1930). Bei neueren Bohrprofilaufnahmen beschreibt RAMBOW häufig im tieferen Teil des Kieskörpers einen deutlich höheren paläozoischen Anteil und eine bessere Sortierung als im höheren Teil.

Die verschiedenen Höhenlagen der Fuldaterrassen zeichnen sich als mehr oder weniger große Plateauflächen ab (s. Schnitt 5). Für die Darstellung der lateralen Verteilung der Terrassen eignet sich am besten eine 3D-Blockbilddarstellung der Quartärbasis. Sie ist als digitales Geländemodell einer Oberfläche ohne quartäre Überdeckung zu verstehen.

## 5. Mächtigkeitsverteilung der pleistozänen Terrassenkiese

### Allgemeines

Für die Karte der Kiesmächtigkeit (s. Abb. 3) wurden die Mächtigkeiten der fluviatilen Terrassenkiese mit dem in Kap. 2 erwähnten Computerprogramm zu einer Isolinkarte verrechnet. Andere quartäre Schichtglieder (holozäne Auenlehme, Lößlehme etc.) wurden nicht berücksichtigt. Diese Karte und die der Quartärbasis zusammen können daher nicht als „topographische Höhenkarte“ interpretiert werden.

### Deutung des Kartenbildes

Die Isolinenverläufe spiegeln kein Relief wider, sondern sind lediglich Linien gleicher Kiesmächtigkeit. Ein auffälliger Bereich mit besonders hoher Kiesmächtigkeit ist z.B. die BAB Anschlußstelle Kassel (A47/A7) west-

**Tab. 1.** Topographische Höhenlage der Terrassenkörper (nach KUPFAHL 1981).

Terrassenbezeichnung	Höhenlage ü. NN [m]
Terrasse 1	ca. 195–200 m
Terrasse 2	ca. 170–175 m
Terrasse 3	ca. 165–170 m
Terrasse 4	ca. 160–165 m
Terrasse 5	ca. 140–150 m
Terrasse 6	ca. 130–140 m
Niederterrasse	ca. 125–130 m

Nach der Geologischen Karte Bl. 4723 Oberkaufungen (KUPFAHL 1981) ist eine Gliederung in sechs mehr oder weniger deutlich voneinander unterscheidbare Terrassenflächen möglich.

Die älteren Terrassen liegen nach den bisherigen Vorstellungen topographisch über den jüngeren meist in der Form, daß diese nur lateral, also nebeneinander und nicht übereinander, liegen („Erosions-Terrassen“). Diese Vorstellungen bedürfen möglicherweise einer moderneren Überarbeitung. Erklärt man die generelle Bildung der Flußterrassen mit modernen sequenzstratigraphischen Gesichtspunkten (u.a. MIAL 1986), so ist auch ein Übereinanderliegen der Terrassenkörper möglich.

Im Bereich der Kreuzung Sandershäuser Str.–Leipziger Str. nach NNE zeichnet sich eine großangelegte Paläoflußrinne der Fulda ab. Ihr höherer Teil ist über die Kleingartenanlage Waldau bis zur Anschlußstelle Kassel (A49/A7) zu verfolgen. Eine Karte mit höherer Auflösung der Isolinenintervalle zeigte einen komplexen Internbau des Rinnenreliefs.

lich Crumbach mit ca. 10 m. Dieser Bereich darf in diesem Sinne nicht(!) als Einsenkungstrichter bzw. Subrosionssenke interpretiert werden. Im einzelnen seien folgende Bereiche erwähnt:

Fuldaaue: In der Fuldaaue (Niederterrasse) liegt die durchschnittliche Kiesmächtigkeit bei rund 4–5 m und maximal bei rund 7 m.

Bettenhausen: Im Bereich Bettenhausen finden sich die Sedimente der 5. und 6. Terrasse. Die Kiese haben dort eine Mindestmächtigkeit von 4–5 m. Es fallen außerdem Areale mit Werten > 6 m auf. Die maximalen Kiesmächtigkeiten mit ca. 6–7 m werden im nördlichen Teil Bettenhausens (TK 4623 Kassel Ost) u.a. Ecke Agathofstr.–Miramstr. und im Bereich der Söhre Str. erreicht. Im südlichen Teil des Stadtteils Bettenhausen auf TK 4723

Oberkaufungen sind die Kiesmächtigkeiten etwas höher (meist zwischen 6 und 9 m). Ein auffälliger Bereich mit hoher Schichtmächtigkeit liegt im südöstlichen Bereich von AEG (Ecke Radestr.-Stegerwaldstr.). Als Minimalwerte sind in der Umgebung der Sporthalle am Eichwald und im Lossetal zwischen Eichberg und Linden-berg Kiesmächtigkeiten von 2–3 m zu verzeichnen.

Waldau: Das Gebiet um den Stadtteil Waldau wird oberflächlich von den Sedimenten der Terrassen 4 und 5 dominiert. In der Verbreitung gleichmächtiger Kieskörper ist das Bild in diesem Bereich sehr viel homogener. Doch liegen die maximalen Mächtigkeitswerte ähnlich wie vor zwischen 4 und 8 m. Besonders große Kieskörper befinden sich nordöstlich der Nürnberger Straße (entlang der Breslauer Straße) und im Grenzbereich

Waldau zu Lohfelden (Ecke Forstbachweg und Waldauer Weg).

Das absolute Kiesminimum ist ein kleiner Bereich in der Kleingartenanlage („Solling-Insel“, zwischen Bettenhausen und Waldau), wo die Gesteine des höchsten Mittleren Buntsandstein ohne nennenswerte quartäre Überlagerung zu Tage treten (s. GK 4723).

Die Sedimentzusammensetzung des Kieskörpers ist im Bereich Bettenhausen und Waldau meist zweischichtig: im oberen Bereich überwiegt Buntsandsteinmaterial, während im unteren Teil der Anteil an Schiefergebirgsmaterial (schwarze Kieselschiefergerölle, überwiegend < 2 cm Ø) deutlich zunimmt. Nicht selten werden beide Kieselhorizonte von einer geringmächtigen, eher sandigen bis feinkiesigen Zwischenschicht getrennt.

## 6. Zusammenfassung

### Kasseler Graben im Bereich Bettenhausen

Die auf der GK 25 Bl. 4622 Kassel West (RÖSING 1969) beschriebene Grabenstruktur mit einem ausgedehnten Zentralteil (Mittelhorst), der von einem nördlichen und südlichen Muschelkalkzug begrenzt wird, ist im Bereich Bettenhausen nur bedingt nachweisbar. Hier ist der zentrale Grabenbereich im Vergleich zur Kasseler Innenstadt herausgehoben, im Vergleich zu den Randschollen jedoch deutlich eingesenkt (Zentralscholle meist Röt 3). Es fehlt der nördliche Muschelkalkzug. Erst weiter östlich in der Umgebung des Eichwaldes sind beide Kalkstein-Tiefschollen nachgewiesen, allerdings mit einem sehr schmalen, tektonisch eingequetschten(?) Zentralteil.

Im Bereich südlich des Kasseler Grabens, wo die Quartärbasis lokal aus Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins (vornehmlich Solling-Folge) gebildet wird, kann oberflächennahes Grundwasser in tiefere GW-Stockwerke gelangen.

Im Bereich Bettenhausen zeichnet sich an der Quartärbasis eine Paläorinne der Fulda ab, die vom BAB-Kreuz A7/A49, über die Kleingartenanlage Waldau zum Kreuzungsbereich Sandershäuser Str./Leipziger Str. verläuft und von dort weiter in N- bis NNE-Richtung.

### Waldauer Tertiär

Unter den Sedimenten des hier verbreiteten bis über 30 m mächtigen Tertiärs folgen Gesteine des Mittleren bzw. Oberen Buntsandsteins. Dieses Gebiet ist möglicherweise von Subrosionsvorgängen im tieferen Untergrund geprägt, die zu einer Einmündung der abgelagerten Sedimente führten. Parallel zum Kasseler Graben verlaufende Randstörungen sind wahrscheinlich.

## 7. Schriftenverzeichnis

- BAATZ, H. (1959): Das Kaufunger Tertiär östlich von Kassel. – Unveröff. Dipl. Arb., 72 S., 13 Abb., 1 Kt.; Marburg.
- BAATZ, H. (1960): Stratigraphische und paläogeographische Untersuchungen im Kasseler Tertiär. – Diss. Univ. Marburg, 101 S., 17 Abb., 7 Taf.; Marburg.
- BERNHARD, H., RAMBOW, D., RITZKOWSKI, S. & RÖSING, F. (1973): Die Subrosionssenne von Kassel-Waldau. Vortragsreferat. – Nachr. dt. geol. Ges., 7: 36; Hannover.
- BROWER, J. C. & MERRIAM, D. F. (1990): Geological Map Analysis and Comparison by Several Multivariate Algorithms. – Geol. Surv. of Canada, Paper 89–9: 123–134.
- BÜHMANN, D. & RAMBOW, D. (1979): Der Obere Buntsandstein (Röt) bei Borken/Hessen, Stratigraphie und Tonmineralogie. – Geol. Jb. Hessen, 107: 125–138, 1 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- DAVIS, J. C. (1986): Statistics and Data Analysis in Geology. – John Wiley and Sons; New York.
- FINDEISEN, H. K. (1952a): Geologische Beschreibung des Stadtgebietes von Kassel und seiner näheren Umgebung. – Unveröff. Dipl.-Arb., 134 S., 1 Kt.; Heidelberg.
- FINDEISEN, H. K. (1952b): Pleistozäne und tertiäre Flußablagerungen in der Umgebung von Kassel. – Unveröff. Diss., 144 S., 1 Tab., 16 Taf.; Heidelberg.
- GRUPE, O. (1926): Tal- und Terrassenbildung im Gebiet der Werra, Fulda, Weser und SOERGELS „Gliederung und absolute Zeitrechnung des Eiszeitalters,“. – Geol. Rdsch., 17: 161–196; Berlin.



- HENLEY, S. (1987): Kriging – BLUE or PINK?. – *Math. Geol.*, **19/2**: 155–158; New York.
- HINZE, C. (1967): Der Obere Buntsandstein (Röt) im südniedersächsischen Bergland. – *Geol. Jb.*, **84**: 637–714, 4 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Hannover.
- HOLTZ, S. (1976): Zum geplanten Hochwasserrückhaltebecken Oberkaufungen/Losse, Ldkr. Kassel. – Unveröff. Gutachten Arch. hess. L.-Amt Bodenforsch., 5 S., 2 Anl.; Wiesbaden.
- HORN, M. & RAMBOW, D. (1978): Profilbeschreibung der *Documenta*-Bohrung auf Bl. 4622 Kassel West. – Unveröff. Ber. Arch. hess. L.-Amt Bodenforsch., 12 S.; Wiesbaden.
- JONES, T. A., HAMILTON, D. E. & JOHNSON, C. R. (1986): *Contouring Geologic Surfaces with the Computer*. – Van Nostrand Reinhold Company; New York.
- KUPFAHL, H.-G. (1979): Der Obere Buntsandstein bei Kaufungen östlich von Kassel. – *Geol. Jb. Hessen*, **107**: 139–143, 1 Abb.; Wiesbaden.
- KUPFAHL, H.-G. (1981): Erl. Geol. Kt. Hessen 1: 25 000, Bl. 4723 Oberkaufungen, 2. Aufl., 212 S., 15 Abb., 17 Tab., 3 Taf., 1 Beibl.; Wiesbaden.
- LEMMER, F. & RAMBOW, D. (1994): Die Höhenlage der Rötbasis im Raum Kassel und über Zechsteinaufpressungen an nordhessischen Gräben. – *Geol. Jb. Hessen*, **122**: 13–21, 1 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden
- LINNEBERG, W. & NEULS, J. (1988): Multivariate Mapping by Advanced Kriging Methods. – *Geol. Jb.*, **A104**: 457–468; Hannover.
- MARTINI, H.-J. (1937): Großschollen und Gräben zwischen Habichtswald und Rheinischem Schiefergebirge. – *Geotekt. Forsch.*, 1: 70–123, 3 Taf., 36 Abb.; Berlin.
- MEIBURG, P. (1982): Saxonische Tektonik und Schollenkinematik am Ostrand des Rheinischen Massivs. – *Geotekt. Forsch.*, **62**: 1–267; Stuttgart.
- MERRIAM, D. F. (1992): *Geological Interpretation of Integrated Thematic Spatial Data*. – *Geol. Jb.*, Reihe A, H. **122**: 233–241, 4 Fig., 1 Tab.; Hannover.
- MIAL, A. D. (1986): Eustatic sea level changes interpreted from seismic stratigraphy: A critique of the methodology with particular reference to the north sea Jurassic record. – *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, **70/2**: 131–137; Tulsa.
- PENNDORF, H. (1936): Beitrag zur Stratigraphie und Tektonik des Kasseler Beckens. – *Festschr. 100jähr. Besteh. Ver. Naturkde. Kassel*: 165–176, 4 Abb.; Kassel.
- RAMBOW, D. (1967): Die Solling-Folge und der untere Röt (Buntsandstein) in der Niederhessischen Senke. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **95**: 83–101, 2 Abb.; Wiesbaden.
- RAMBOW, D. (1969): Die Höhenlage der Tertiärbasis in der Niederhessischen Senke. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **97**: 226–228, 7 Taf.; Wiesbaden.
- RAMBOW, D. (1976): Profile durch den Mittleren Buntsandstein an der Ostflanke des nordhessischen Teilbeckens (Gebiet östlich von Kassel). – *Geol. Jb. Hessen*, **104**: 43–49, 1 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- RITZKOWSKI, S. (1965): Das marine Oligozän im nördlichen Hessen. *Stratigraphie und Paläogeographie*. – *Diss. Uni. Marburg*, 194 S., 28 Abb.; Marburg.
- RÖSING, F. (1969): Erl. Geol. Kt. Hessen 1: 25 000, Bl. 4622 Kassel West, 3. Aufl., 205 S., 9 Abb., 4 Tab.; Wiesbaden.
- SCHRÖDER, E. (1925): *Tektonische Studien an niederhessischen Gräben*. – *Abhand. d. Preuß. Geol. L.-Anstalt, Neue Folge, Heft 95*: 55–82, 3 Taf., 2 Fig.; Berlin.
- SCHRÖDER, J. (1938): *Die Terrassen der Fulda zwischen Hersfeld und Guntershausen*. – *Ber. oberhess. Ges. Natur- u. Heilkde. Gießen, N.F., naturwiss. Abt.*, **18**: 35–71, 2 Taf.; Gießen.
- SCHWARZ, F. (1930): *Geologie der Gegend zwischen Kassel und dem Rheinhardswalde*. – *Abh. preuß. geol. L.-Anst., N.F.*, **132**: 100 S., 42 Abb., 1 Taf.; Berlin.
- SCHWARZ, F. (1932): *Zur Tektonik und Morphologie Niederhessens*. – *Z. dt. geol. Ges.*, **84**: 513–537, 3 Abb.; Berlin.
- SURFER f. Windows Reference Manual (1994), Version 5, Golden Software Inc., 809 14th Street, P.O. Box 281, Golden, Colorado 80401–1866; USA.
- UDLUFT, H. & LANG, H. D. (1956): *Der Untergrund der Niederhessischen Senke*. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **84**: 184–203, 1 Abb., 1 Taf.; Wiesbaden.
- WENZEL, H. (1931): *Morphologie und Talgeschichte des Niederhessischen Berglandes. I. Die diluvialen Terrassen der Eder*. – *Z. Geomorph.*, **6**: 129–173, 1 Abb., 3 Taf.; Leipzig.
- WILHELM, O. (1937): *Morphologische Untersuchungen am Nordrand der Niederhessischen Senke*. – *Jb. geogr. Ges. f. 1936 und 1937*: 78–165, 7 Abb., 5 Taf.; Hannover.

Manuskript eingegangen am 9. 2. 1995, angenommen am 14. 3. 1995.

ANDREAS HOPPE, ANNE KÖTT, GEORG MITTELBACH & DOMINIK ULMER\*

# Ein Raumbild quartärer Grundwasserleiter und Grundwassernichtleiter im nördlichen Oberrheingraben

## Kurzfassung

Das Quartär im nördlichen Oberrheingraben zwischen Rhein, Main, Neckar und dem Westrand von Spredlinger Horst und Odenwald wurde nach Auswertung von etwa 3000 Bohrungen als Raumbild rekonstruiert. In 18 geologischen Schnitten wurden Grundwasserleiter und

Grundwassernichtleiter dargestellt und mittels dazwischenliegender Bohrungen zu flächenhaften Darstellungen kompiliert. Danach zeigt sich ein quartärer Grundwasserspeicher, der sich im Süden in drei Grundwasserleiter mit zwei zwischengeschalteten Grundwassernichtleitern tren-

nen läßt. Der Untere Grundwassernichtleiter ist hier mächtiger, flächenhaft weiter und durchgängiger verbreitet. Im Norden fehlt der Untere ganz und der Obere Grundwassernichtleiter an vielen Stellen, so daß dort nur ein quartäres Grundwasserstockwerk kartiert werden kann.

## Abstract

A three-dimensional model of the Quaternary hydrogeological units of the Northern Rhinegraben between the rivers Rhine, Main, and Neckar was constructed from approximately 3000 well profiles. Aquifer and aquitard sections were correlated along

18 cross sections, and thereafter, they were interpolated using intermediate boreholes. The resulting boundaries show a Quaternary groundwater reservoir which, for the southern part, can be separated into three aquifers and two intermediate

aquitards. The lower aquitard is thicker than its upper counterpart, it is more wide-spread and more continuous. In the north of the study area, the two aquitards are missing at most places and, therefore, only one aquifer layer can be observed.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	149
2. Rekonstruktion der Grundwasserhorizonte	151
3. Ausblick	156
4. Schriftenverzeichnis	157

## 1. Einleitung

Im nördlichen Oberrheingraben zwischen Rhein, Main, Neckar und dem Westrand von Odenwald und Spredlinger Horst (Abb. 1) speichern mächtige Lockergesteinsabfolgen ein großes Grundwasserdargebot, das intensiv genutzt wird. Ein Grundwasserbewirtschaftungsplan wird derzeit erarbeitet (vgl. QUADFLIEG 1995),

für den eine Neudarstellung des Untergrundes notwendig wurde. Sie soll im folgenden skizziert werden:

Der Oberrheingraben entstand im Gefolge der im Alttertiär beginnenden und bis heute andauernden Grabenbildung (siehe PFLUG 1982, PLEIN 1993). Das Quartär des hier betrachteten Teiles wird aus einer Wechselfolge

\* Dr. A. HOPPE, Dipl.-Geol. A. KÖTT, Dr. G. MITTELBACH, Dipl.-Geol. D. ULMER, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 65193 Wiesbaden.

5915	5916	5917	5918
6015	6016	6017	6018
6115	6116	6117	6118
6215	6216	6217	6218
6315	6316	6317	6318
6415	6416	6417	6418
Blattnummern der TK 25		6517	6518

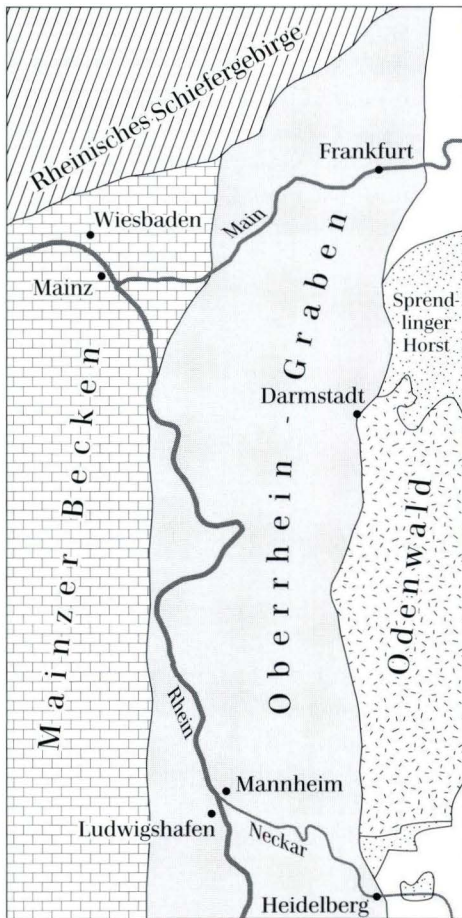
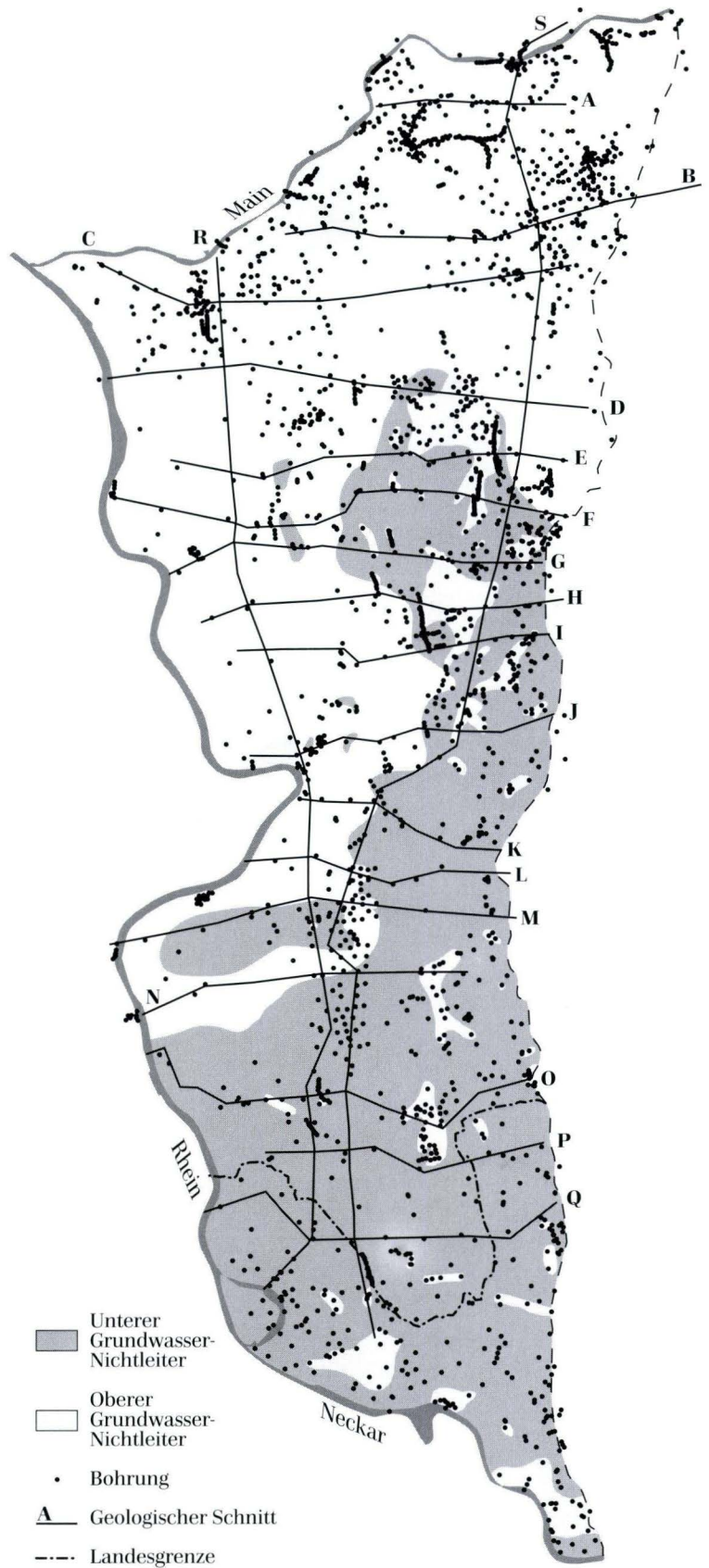


Abb. 1. Das Ried im nördlichen Oberrheingraben.

fein- und grobklastischer, fluviatiler und limnischer Sedimente aufgebaut. Die größten Mächtigkeiten werden im Südosten erreicht (Abb. 2 bis 4), im sogenannten „Heidelberger Loch“ sind mehr als 1000 m Pliozän und Quartär erbohrt worden (vgl. FETZER et al. 1995: 220). Absenkungsbewegungen im nördlichen Grabenabschnitt lassen sich bis heute nachweisen und erfolgten während des Quartärs in einer Größenordnung von 0,2–0,9 mm/a (PFLUG 1982: 95 f.). Störungen sind also durchaus auch im Quartär zu erwarten.

Die Grenze Tertiär/Quartär ist an Tonpaketen häufiger erkennbar und mit Pollenanalysen teilweise belegt (BARTZ 1982, HOTTENROTT et al. 1995). Während des jüngsten Pliozän hatte der Rhein im südlichen Grabenabschnitt die Kaiserstuhl-Wasserscheide überwunden; alpine Gerölle und Schwerminerale in den Ablagerungen im Ried können damit als Hinweise auf quartäre Alter der Sedimente gelten (vgl. BARTZ 1982, FETZER et al. 1995: 220). Im Südwesten des Untersuchungsgebietes

untergliederte KÄRCHER (1987: 295) in ein Altquartär aus Ton-Schluff-Feinsand-Wechselfolgen mit gelegentlichen Einschaltungen von gröberem Sand, Kies, Braunkohlen und Holzresten und in ein Jungquartär, das aus drei Kieslagern – getrennt durch feinklastische Zwischenhorizonte – aufgebaut wird.

Der Sedimentationsraum ist durch einen raschen vertikalen und horizontalen Fazieswechsel gekennzeichnet (Abb. 2). Haupttransportrichtungen weisen nach Norden. Nur gelegentlich schalten sich aus dem Osten kommende, grobkörnige alluviale Schwemmfächer ein (z.B. bei Darmstadt und bei Zwingenberg), die aber bereits nach 2–3 km in westlicher Richtung auskeilen. Junges, odenwaldnahes Grobmaterial wurde überwiegend über den „Ur-Neckar“ (siehe KUPFAHL et al. 1972: 161 ff., WEIDNER 1990) antransportiert; es besitzt häufig eine stärker kalkige Matrix, die aus den mesozoischen Gesteinen des Neckareinzugsgebietes abgeleitet werden kann.

## 2. Rekonstruktion der Grundwasserhorizonte

Zur Rekonstruktion der quartären Abfolgen und ihrer Grundwasserhorizonte wurden die Bohrungen im Archiv des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung ausgewertet; sie konnten durch einige Bohrungen aus Baden-Württemberg ergänzt werden. Etwa 15 000 Bohrungen standen in analogen Bohrprotokollen zur Verfügung. Solche mit mehr als 20 m Endteufe wurden zunächst berücksichtigt und die Protokolle auf Plausibilität geprüft. Etwa 3 000 Bohrprofile wurden zur Konstruktion von 18 Schnitten herangezogen (Abb. 2). Erschwert wurde die Korrelation der Bohrungen durch den raschen Fazieswechsel und die mangels verfügbarer stratigraphischer Einstufungskriterien häufig nur schwer abzuschätzenden tektonischen Phänomene.

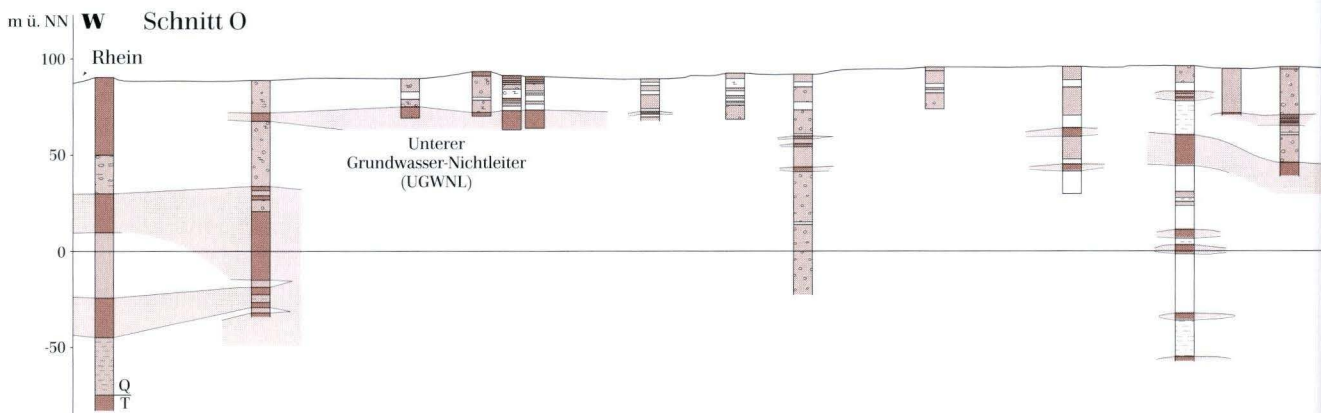
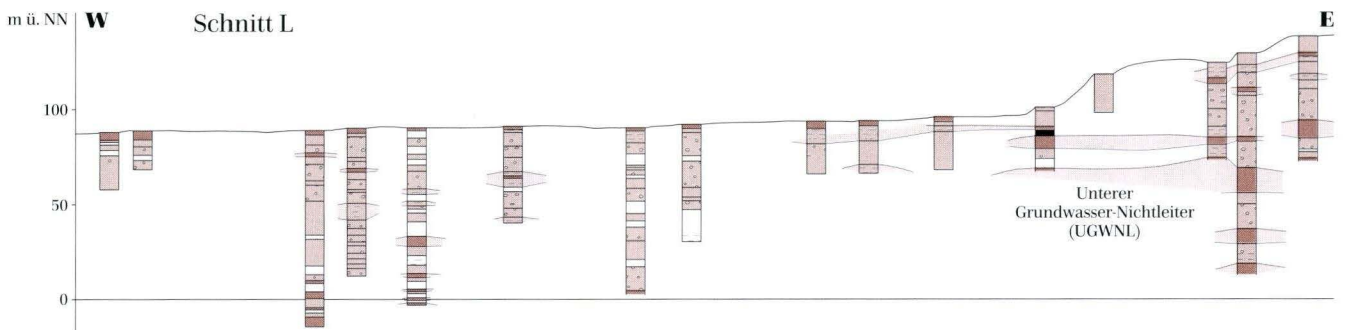
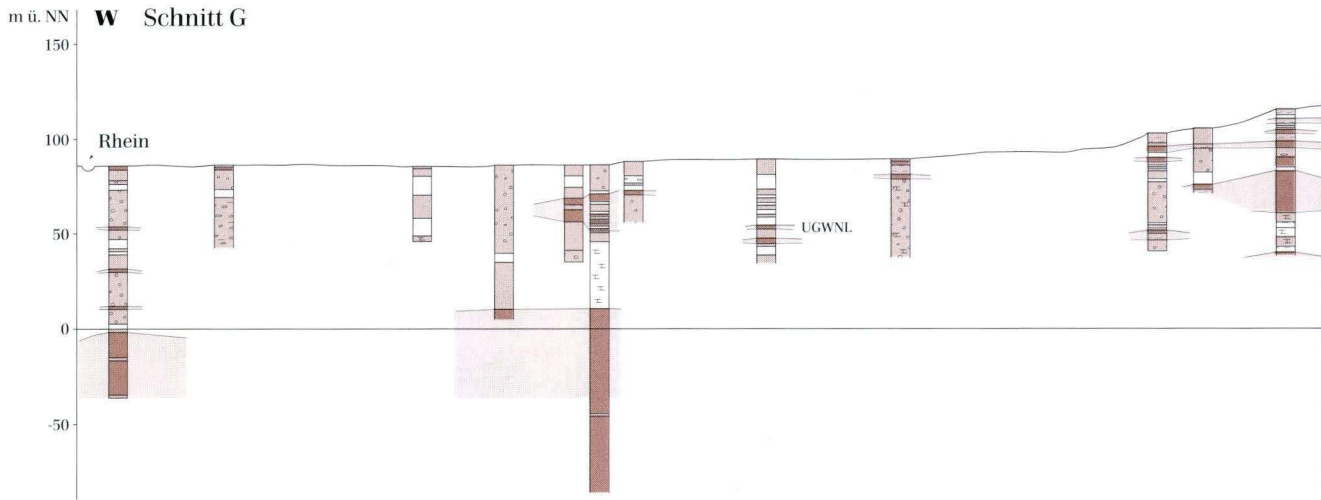
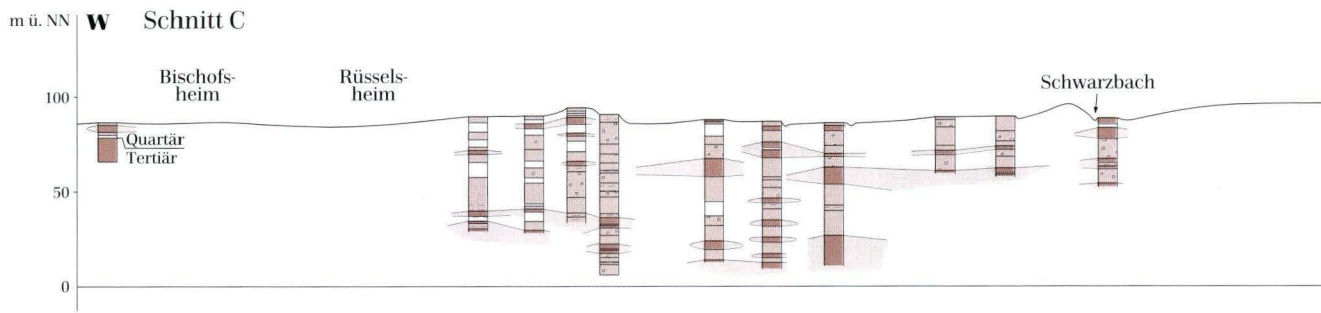
Grundwassernichtleiter bzw. Zonen verminderter Durchlässigkeit wurden nach folgenden Kriterien charakterisiert: Schichtenbeschreibungen trocken abgeteufter Bohrungen wurden als Referenzprofile verwendet. Als minder durchlässig wurden mindestens 0,5 m mächtige Ton-/Siltlagen betrachtet. Spülbohrungen und Bohrmeisterangaben wurden dann berücksichtigt, wenn stark siltige Fein- und Mittelsandlagen genannt waren. Kam es bei hoher Bohrdichte zu clusterhaften Bohrpunktverteilungen, so wurden die einzelnen Bohrungen in ein Gesamtbild interpoliert. Vereinzelt wurden damit auch Sandlagen mit siltigem Anteil einem Grundwassernichtleiter zugeordnet.

Aus den manuell konstruierten und klassifizierten Profilen wurden 16 Ost-West- und 2 Nord-Süd-Schnitte abgeleitet (Abb. 1, 2). Mittels dieser Schnitte, dazwi-

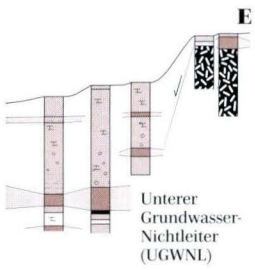
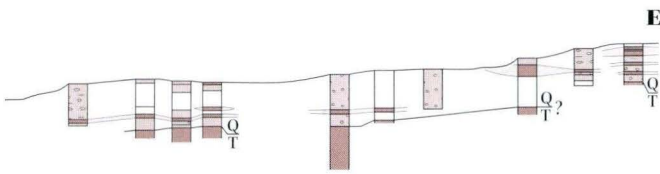
schienliegender Bohrprofile sowie Angaben aus BARTZ (1974) für den Südteil des Gebietes wurden danach hydraulisch wirksame Einheiten abgegrenzt und Grundwasserleiter, Grundwassernichtleiter und die Quartär/Tertiär-Grenze flächenhaft konstruiert. Die daraus abgeleiteten Flächen wurden zusammen mit dem „Digitalen Höhenmodell“ des Hessischen Landesvermessungsamtes mit Hilfe von GIS-Techniken und dynamischer Computersimulation (Geo3View, LINDENBECK & ULMER 1995; FeFlow, DIERSCH 1996) zu Raumbildern verarbeitet.

Das in Abb. 4 dargestellte Resultat zeigt sechs hydraulische Einheiten bzw. fünf „Schichten“. Eine „Schicht“ Grundwassernichtleiter gibt dabei nicht immer nur einen einzelnen Tonhorizont wieder, sondern kann auch aus mehreren Ton- und/oder Siltlagen zu „auffälligen Bereichen verminderter Durchlässigkeit“ zusammengefaßt worden sein. Die dazwischenliegenden Sand- und Kieslagen sind gute Grundwasserleiter.

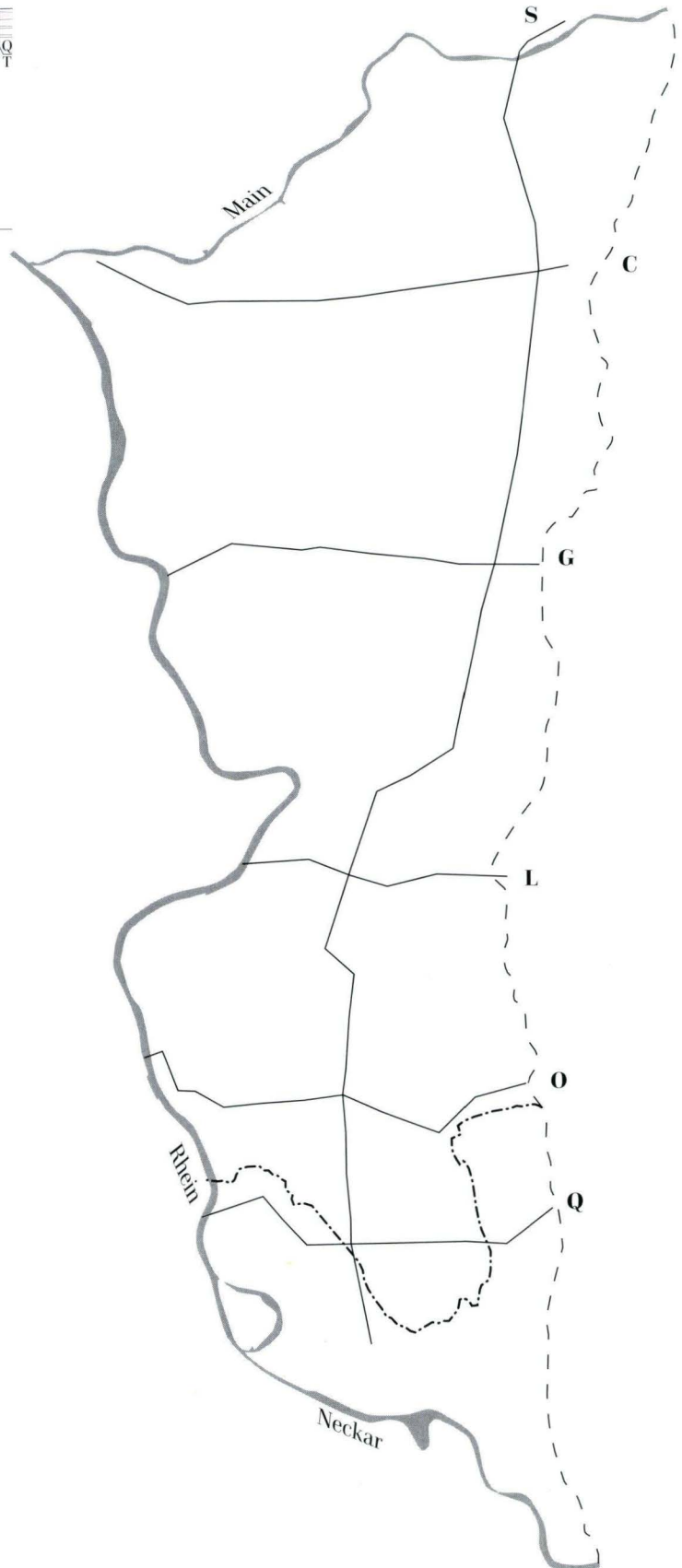
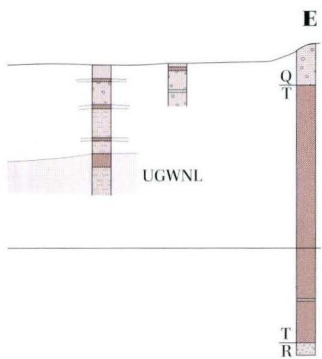
Der Untere Grundwassernichtleiter ist im Süden des Rieds nahezu durchgängig vorhanden (Abb. 1 und 4). Nach Norden wird er geringer mächtig, er ist dort nicht mehr überall ausgebildet, und nördlich der Linie Büttelborn-Mörfelden-Darmstadt fehlt er ganz. Über dem darüber folgenden Mittleren Grundwasserleiter bilden dachziegelartig in unterschiedlichen Niveaus auftretende und meist lateral rasch auskeilende und mehrere Meter mächtige Ton-Silt-Linsen einen Oberen Grundwassernichtleiter. Damit lassen sich im Süden drei Grundwasserstockwerke unterscheiden (getrennt von den beiden Grundwassernichtleitern), während im Nor-



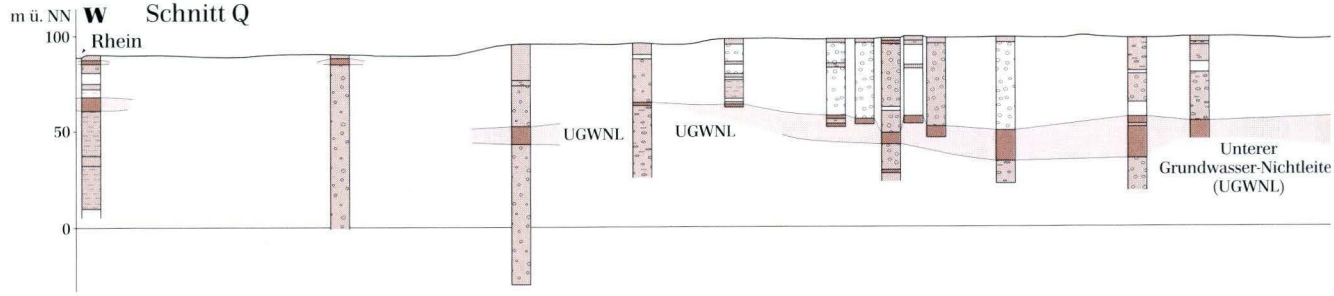
Ein Raumbild quartärer Grundwasserleiter und Grundwassernichtleiter im nördlichen Oberrheingraben



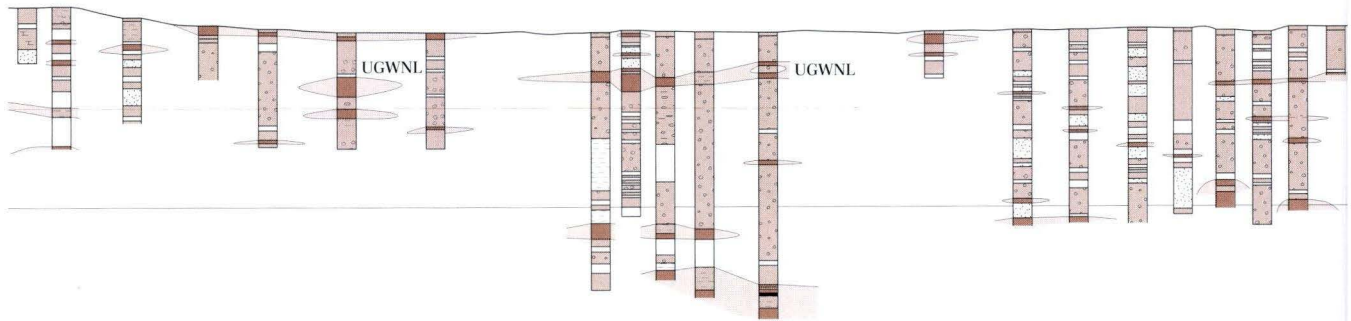
- Ton/Silt
- Sand
- Kies
- Kalk
- sandige Matrix
- tonige Matrix
- kiesige Matrix
- kalkige Matrix
- Kristallin
- $\frac{Q}{T}$  Quartär/Tertiär-Grenze
- $\frac{T}{R}$  Tertiär/Rotliegend-Grenze



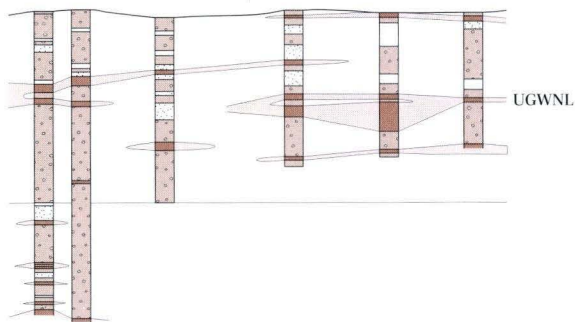
**W** Schnitt Q



**N** Schnitt S



**S**



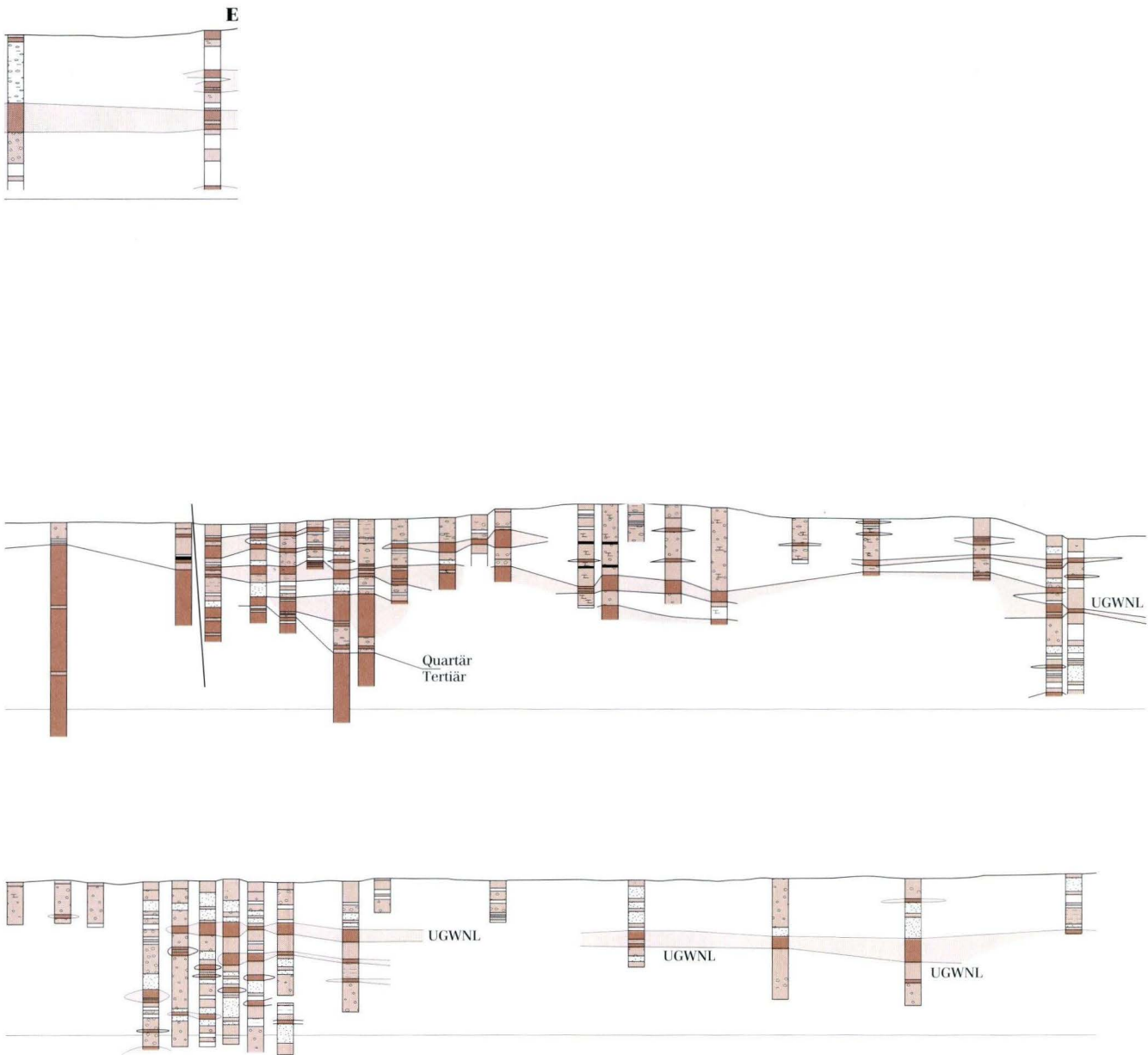
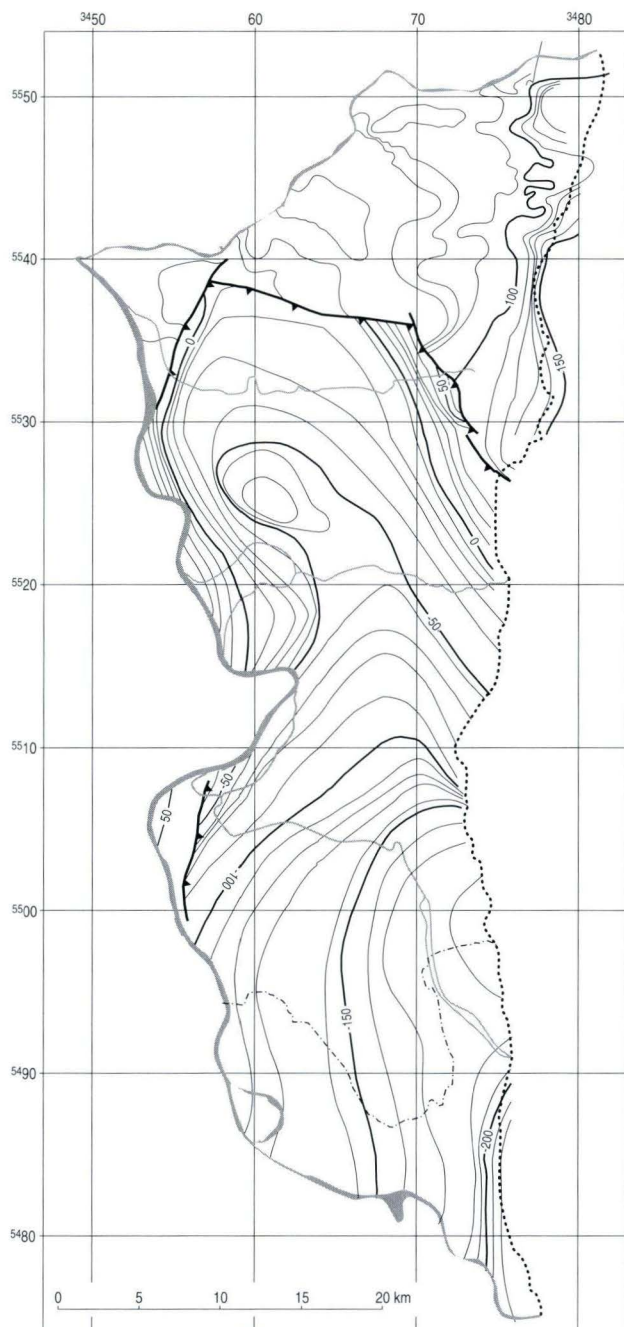


Abb. 2. Sechs Schnitte durch das Quartär im nördlichen Oberrheingraben.





**Abb. 3.** Isolinien der Quartärbasis im Ried (gestrichelte Linie im Südteil: Landesgrenze zwischen Hessen und Baden-Württemberg).

den eine hydrogeologische Stockwerksgliederung wegen der fehlenden Zwischenhorizonte nicht mehr möglich ist. Alle Stockwerke haben untereinander über Lücken („Fenster“) in den Grundwassernichtleitern hydraulische Verbindung (Abb. 4).

Die „Schicht“-Grenzen steigen nach Westen und auch nach Norden hin an, d.h. die Quartärmächtigkeiten reduzieren sich in diesen Richtungen, bedingt durch antithetische Subsidenz des Zentralgrabens entlang der östlichen Haupttrandverwerfung und besonders starker Subsidenz im Bereich des „Heidelberger Loches“ (Abb. 3). Südöstlich von Rüsselsheim ließ sich aus den Bohrprotokollen deutlich eine bislang nur vermutete, etwa  $100^\circ$ -streichende und steil SW-fallende Abschiebung mit Sprunghöhen um 60 m rekonstruieren. Weitere Störungen sind aus Kartierungen bekannt; sie wurden vernachlässigt, da ihre Sprunghöhen bzw. die Dichte der Bohrpunkte eine Verifizierung und Präzisierung nicht erlaubten.

### 3. Ausblick

Sedimentologische Untersuchungen wurden an den Bohrprofilen (noch) nicht vorgenommen. Eine genauere stratigraphische Einstufung steht ebenfalls noch aus, und es ist durchaus unklar, ob es sich beispielsweise im Falle der Grundwassernichtleiter um iso-, dia- oder heterochrone Bildungen handelt.

Der Untere Grundwassernichtleiter weist mit seiner großen Mächtigkeit und weiten, lateralen Verbreitung auf eine grundlegende Änderung des hydraulischen Systems. Dafür sind folgende Ursachen denkbar:

1.) Eine Verminderung der Wasserdurchsatzrate bzw. Abnahme der Fließrate durch a) eine Verringerung des Gefälles infolge Hebung des Rheinischen Schildes oder verstärkter Subsidenz des Grabens; b) eine Änderung der klimatischen Verhältnisse; c) eine Einschränkung der Abflußmöglichkeiten nach Norden infolge Einschränkung der Abflußgeometrie oder Erhöhung der Wasserzulieferung.

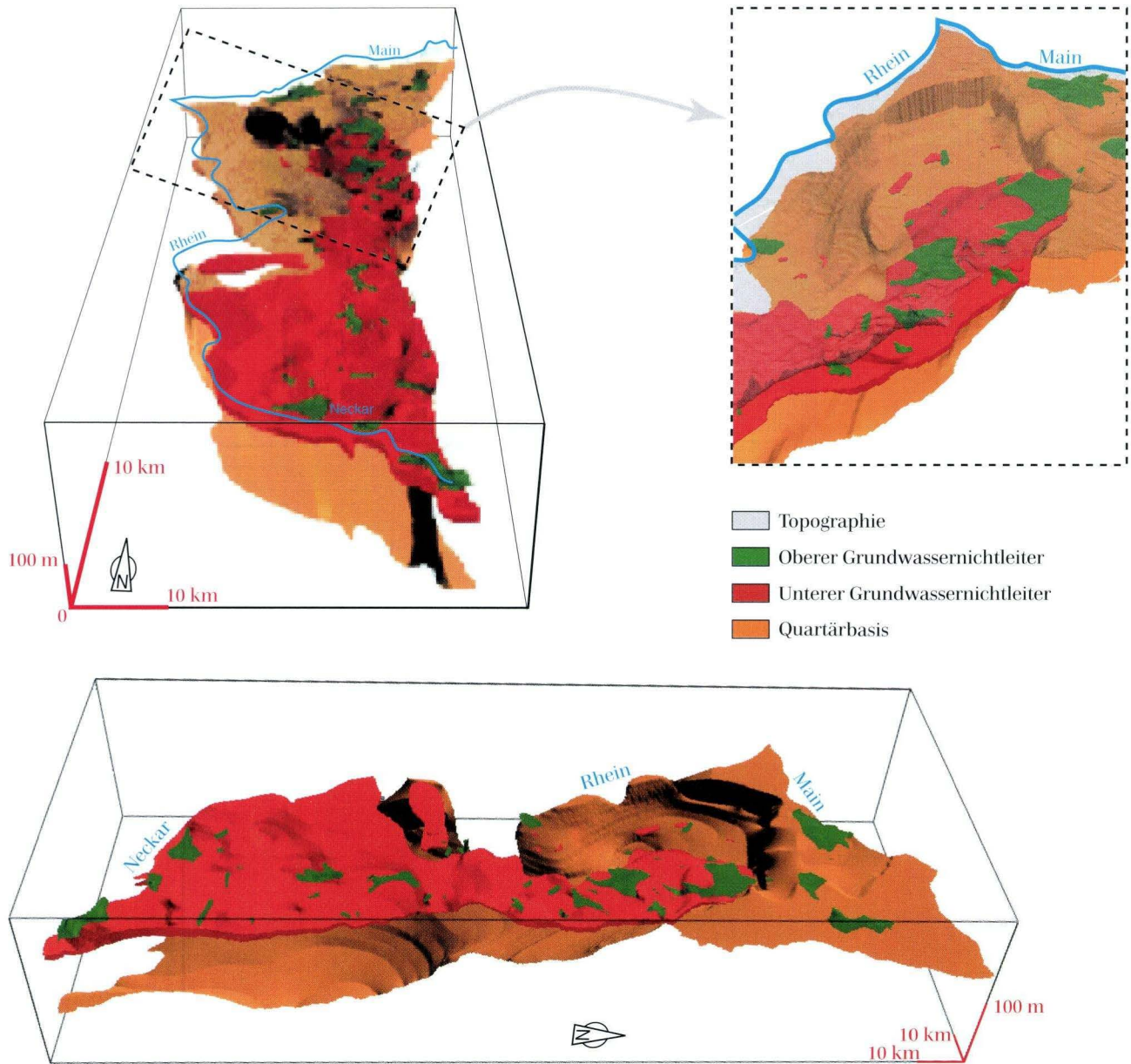
2.) Eine Einschränkung des hydraulischen Systems in seiner geometrischen Variabilität. Durch eine Verstärkung der Asymmetrie des Grabens kann der Rhein auf eine Grabenseite kanalisiert werden, und die Sedimentation außerhalb des Kanals wird auf Überflutungslehme reduziert.

3.) Kombinationen der angegebenen Möglichkeiten.

Die Einzel-Linsen des Oberen Grundwassernichtleiters repräsentieren vermutlich Altwasserarme und Überflutungsebenen sowie mögliche lokale, limnische Bildungsräume.

Wir danken dem Geologischen Landesamt Baden-Württemberg für die Überlassung einiger Bohrprotokolle und Herrn Dr. MARTIN HOTTENROTT für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Ein Raumbild quartärer Grundwasserleiter und Grundwassernichtleiter im nördlichen Oberrheingraben



**Abb. 4.** Quartäre Grundwassernichtleiter im Ried in dreidimensionaler Darstellung (die Grundwasserleiter liegen zwischen den Grundwassernichtleitern). Blickrichtung von Süden (oben links) bzw. von Osten (oben rechts und unten).

## 4. Schriftenverzeichnis

- BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben. – In J.H. ILLIES & K. FUCHS: Approaches to taphrogenesis: 78–87; Stuttgart (Schweizerbart).
- BARTZ, J. (1982): Quartär und Jungtertiär II im Oberrheingraben im Großraum Karlsruhe. – Geol. Jb., **A63**: 237 S.; Hannover.
- DIERSCH, H.-J. (1996): FeFlow user's manual, version 4.5. – 347 S.; Berlin (Wasy GmbH).
- FETZER, K. D., LARRES, K., SABEL, K.-J., SPIES, E.-D. & WEIDENFELLER, M. (1995): Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland. – In L. BENDA (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands: 221–254; Berlin–Stuttgart (Borntraeger).
- HOTTENROTT, M., KÄRCHER, T. & SCHILL, I. (1995): Zur Pliozän/Pleistozän-Grenze im nördlichen Oberrheingraben bei Eich (Bl. 6216 Gernsheim) anhand neuer Bohrergebnisse. – Jb. Nass. Ver. Naturk., **116**: 41–64; Wiesbaden.
- KÄRCHER, T. (1987): Beiträge zur Lithologie und Hydrogeologie der Lockergesteinsablagerungen (Pliozän, Quartär) im Raum Frankenthal, Ludwigshafen–Mannheim, Speyer. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **69**: 279–320; Stuttgart.
- KUPFAHL, H.-G., MEISL, S. & KÜMMERLE, E.

- (1972): Erl. Geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 6217 Zwingenberg a.d. Bergstraße. – 2. Aufl.: 276 S.; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- LINDENBECK, C. & ULMER, H. (1995): Entwicklung und Anwendung von Computerprogrammen zur Visualisierung geologischer Strukturen und Prozesse. – Freiburger geowiss. Beitr., **9**: 280 S.; Freiburg.
- PFLUG, R. (1982): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens. – Erträge der Forschung, **184**: 145 S.; Darmstadt (Wiss. Buchges.).
- PLEIN, E. (1993): Voraussetzungen und Grenzen der Bildung von Kohlenwasserstoff-Lagerstätten im Oberrheingraben. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., **75**: 227–253; Stuttgart.
- QUADELIEG, A. (1995): Umweltschonende Grundwasserbewirtschaftung in Hessen. – Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz (Symposium „Umweltgerechte Wasserwirtschaft, Grundwasserschutz und Wassersparen“), **196**: 55–63; Wiesbaden (Hessische Landesanstalt für Umwelt).
- WEIDNER, E. (1990). Bodenkarte der nördlichen Oberrheinebene 1:50000. – 2 Blätter; Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).

Manuskript eingegangen am 16.7.1996

HANS IVEN\*

# Die Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried

## Kurzfassung

Anthropogene Grundwassersenkungen sind sowohl Voraussetzung als auch Folge der zivilisatorischen Entwicklung des Hessischen Rieds. Sie werden in Trockenperioden durch klimatisch bedingte Grundwassersenkungen überlagert und zeigen in solchen Zeiten durch ihre kumulierende Wirkung mit immate-

riellen und materiellen Schäden die Nutzungskonflikte dieser dicht besiedelten Landschaft deutlich auf.

Mit der Zielsetzung, das nutzbare Grundwasserdargebot zu sichern und zu erweitern, die klimatisch bedingten Schwankungen des Grundwasserhaushalts auszugleichen sowie grundwasserbeeinflusste Feucht-

gebiete und Waldstandorte zu erhalten, sollen die Grundwasserverhältnisse im Hessischen Ried durch Grundwasseranreicherung verbessert werden.

Der Bericht gibt einen Überblick über die zur Grundwasseranreicherung eingesetzten Methoden und die dabei gewonnenen Erfahrungen.

## Abstract

Anthropogenic lowering of the groundwater level are both, a prerequisite and a consequence of the population increase in the Hessian Ried.

In dry periods they re superimposed by additional lowerings of the groundwater due to climatical effec-

ts, demonstrating the conflicts of the beneficial use of water in this densely populated region.

With the aim to secure and even extend the available groundwater resources, to compensate the belt of fluctuation of the groundwater and to maintain wetland and woodland,

the groundwater conditions have to be improved by groundwater recharging.

The report gives a general view of the utilized methods to recharge groundwater and the thereby obtained experiences.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	160
2. Folgen der Urbanisierung	160
3. Grundzüge der Grundwasserbewirtschaftung	162
4. Wasserbeschaffenheit	163
5. Anlagen zur Grundwasseranreicherung	166
5.1. Vorbemerkung	166
5.2. Sickerschlitze	166
5.3. Modifikation des Sickerschlitze	169
5.4. Ehemalige Entwässerungsgräben	170
5.5. Schluckbrunnen	171
6. Schlußbemerkung	172
7. Schriftenverzeichnis	173

\* Dipl.-Ing. H. IVEN, Wasserverband Hessisches Ried, Justus-von-Liebig-Straße 10, 64584 Biebesheim

## 1. Einleitung

In unserer Zeit erinnert nur noch die sprachliche Bedeutung des Wortes „Ried“ an die natürliche Auen- und Sumpflandschaft, die vom Rhein und seinen Nebenarmen insbesondere auch des sogenannten Altneckars entlang der Bergstraße geschaffen wurde. Diese ursprüngliche Landschaftsform ist längst verlorengegangen und durch eine intensiv genutzte Kulturlandschaft mit neuen Umweltzuständen ersetzt worden.

Erste Schritte zu dieser Veränderung wurden bereits im Mittelalter mit der Ausbreitung der Siedlungsstätten von höherliegenden Sandrücken in die tieferen Lagen des Rieds eingeleitet. Sie sind mit der Rodung von Wäldern zur Gewinnung von Ackerland verbunden und werden mit dem Bau von Dämmen sowie mit ersten Anlagen zur Binnenentwässerung zum Schutz und zur Erweiterung des Lebensraums ergänzt. Die Durchstiche von Weschnitz, Winkelbach und Modau oder das Landgrabensystem im Verlauf des „Altneckars“ sind noch heute als frühe Maßnahmen zur Entwässerung des „Neckarrieds“ allgemein bekannt.

Während die Besiedelung über Jahrhunderte hinweg wohl eher allmählich verläuft, wird mit der systematischen Urbanisierung im 19. Jahrhundert eine Entwicklung eingeleitet, die das frühere Landschaftsbild innerhalb weniger Jahrzehnte völlig verändert.

Die zu dieser Zeit begonnene und immer noch andauernde Entwicklung dokumentiert sich in der enormen Vergrößerung der Siedlungsflächen seit Mitte des ver-

gangenen Jahrhunderts (Abb. 1). Siedlungs- und Verkehrsflächen beanspruchen heute mit 22 % ein knappes Viertel der Gesamtfläche (HMUEJFG in Vorb.) und liegen damit deutlich über dem Durchschnitt der alten Bundesländer von 12 % (UBA 1994).

In dieser Flächennutzung spiegelt sich die Entwicklung der Bevölkerungszahlen wider. Ihre Zunahme und die Besiedlungsdichte seit dem Beginn statistischer Aufzeichnungen im Jahre 1925 sind aus Tab. 1 (HMUEJFG in Vorb., RP 1985) erkennbar.

**Tab. 1.** Einwohner und Besiedlungsdichte im Hessischen Ried

Jahr	1925	1939	1950	1993	2000 (Prognose)
Einwohnerzahl	324 000	377 000	440 000	783 000	829 000
Einwohner pro km <sup>2</sup>	260	305	360	630	670

Der Vergleich mit den aktuellen Einwohnerdichten Hessens von 360 E/km<sup>2</sup> oder Deutschlands von 225 E/km<sup>2</sup> (UBA 1994) zeigt, daß sich das Hessische Ried somit selbst zu einem Verdichtungsgebiet entwickelt hat.

Als Bestandteil des wirtschaftlich starken Rhein-Main-Gebietes zeichnet es sich durch hohe Besiedlungsdichte, bedeutende gewerbliche und industrielle Potentiale, marktorientierte Landwirtschaft sowie durch Verkehrsanlagen von nationaler und internationaler Bedeutung aus.

## 2. Folgen der Urbanisierung

Wie erwähnt konnte diese Nutzungsintensität nur durch eine Umstrukturierung der ursprünglichen Landschaftsform erreicht werden. Insbesondere haben eine Vielzahl von Eingriffen in den Wasser- und Naturhaushalt die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse dieses ehemals vernähten Gebietes stark verändert, so daß Grundwassersenkungen sowohl Voraussetzungen als auch Folge der zivilisatorischen Entwicklung des Hessischen Rieds sind.

Als wichtigste Ursachen für Grundwassersenkungen sind – sowohl jeweils für sich als auch in ihrer übergreifenden Wirkung – insbesondere anzusehen die

- Sohlenerosion des Rheins nach seiner Begradigung,
- Binnenentwässerung zur Gewinnung von Acker- und Siedlungsflächen,
- Versiegelung durch Baugebiete und Verkehrsflächen,
- Umwandlung von Fließgewässern zu befestigten

oder vertieften Vorfluterinnen zur Ableitung von Siedlungswässern,

- Gewinnung von Grundwasser zur Versorgung der Bevölkerung, der Industrie und der Landwirtschaft.

Auswirkungen von Grundwassersenkungen werden der Öffentlichkeit allerdings nur in Trockenperioden bewußt, bei denen – in Abhängigkeit von ihrer Dauer und Intensität – aus verringerter Grundwasserneubildung durchaus klimatisch bedingte Grundwassersenkungen von 2 m auftreten können. Der Einfluß des Klimas auf die Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag ist aus Tab. 2 (HMUEJFG in Vorb.) erkennbar.

Während die natürlichen, periodisch auftretenden Grundwassersenkungen in früheren Zeiten allenfalls die Vegetation beeinflussten, überlagern sie sich heute mit den anthropogenen Grundwassersenkungen und wirken sich vor dem Hintergrund der starken Landnutzung auch auf materielle Werte aus. So sind erstmals in

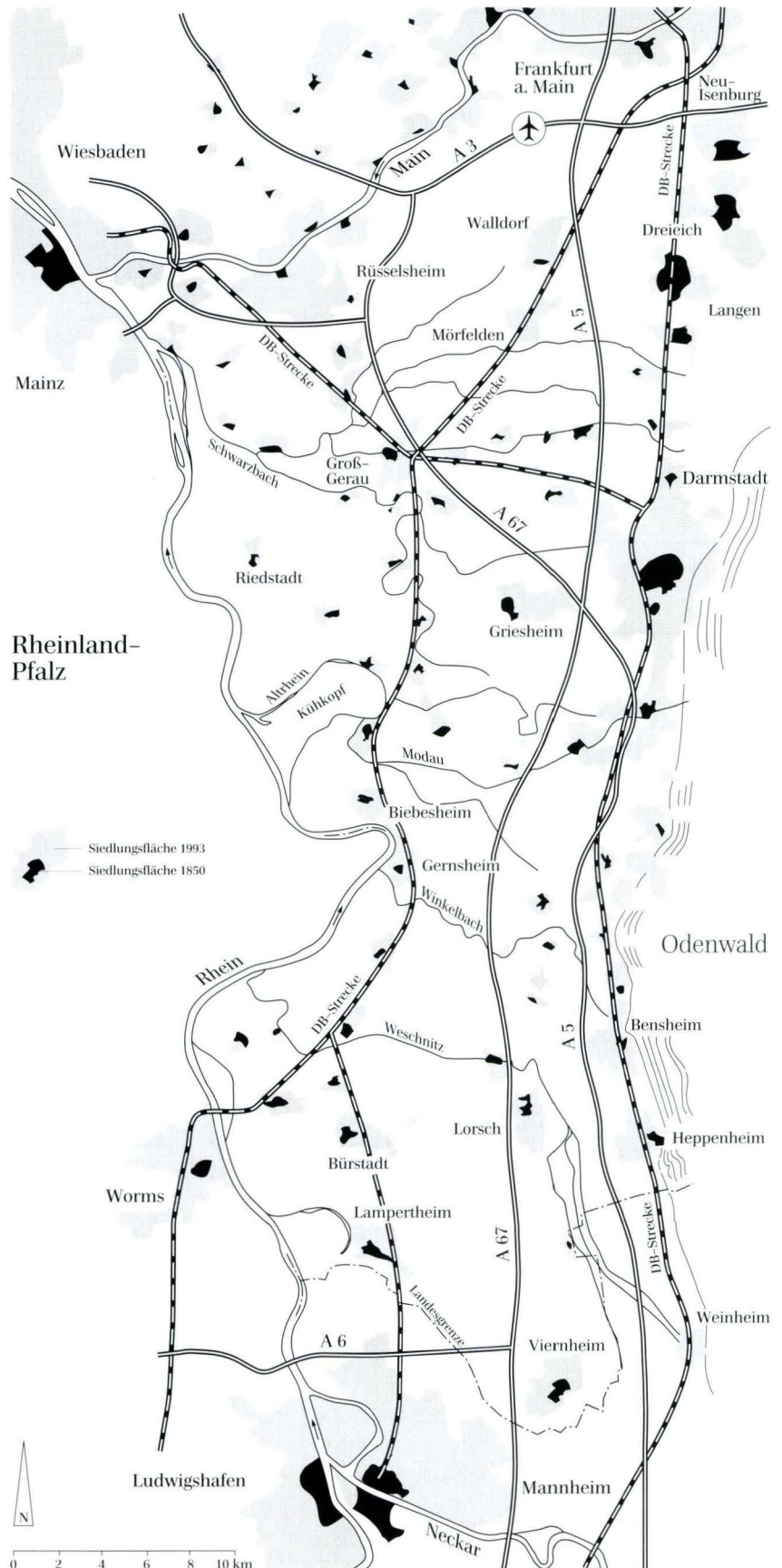


Abb. 1. Übersichtskarte Hessisches Ried.

**Tab. 2.** Einfluß des Klimas auf die Grundwasserneubildungsmenge

Periode	Sickerwasserspende l/s.km <sup>2</sup>	Jährliche Grundwasserneubildung Mio m <sup>3</sup>
Langfristiges Mittel 1961–1993	4,01	146
Trockenperiode 1971–1976	1,82	66
Feuchtperiode 1977–1982	5,28	192
Trockenperiode 1989–1993	1,98	72

der Trockenperiode 1971–1976 erhebliche Schäden aufgetreten, und zwar

- Bauschäden an Verkehrswegen, Kanälen und Gebäuden, durch Setzungen organischer Böden bei Änderung ihres Wassergehaltes
- Wirtschaftserschwerisse in landwirtschaftlich genutzten Flächen,
- Trockenfallen oder Leistungsminderung von Beregnungs-, Haus- und Feuerlöschbrunnen,
- Trocknisschäden in Wäldern,
- Sonstige Vegetationsschäden aus der klimatisch bedingten Trockenheit oder aus dem Absinken des Grundwasserspiegels.

Das Ausmaß und die Häufung dieser Schäden war unverzüglich Anlaß zu konkreten Planungen, das Grundwasser mit einer zielgerichteten Grundwasseranreicherung zu bewirtschaften, um derartige Auswirkungen zukünftig auszuschließen. In diesem Sinne wurde entschlossen gehandelt und erste Baumaßnahmen mit einem Kostenvolumen von rd. 16 Mio DM ab dem Jahre 1977 eingeleitet und innerhalb von zwei Jahren abgewickelt.

Die Planungen konnten allerdings durch eine Reihe äußerer Einflüsse nicht konsequent durchgesetzt werden, so daß sich in der folgenden Trockenperiode nach 1989 die damaligen Schadensereignisse bei vergleichbar niedrigen Grundwasserständen wiederholen mußten.

Während bis 1980 etwa 400 Gebäude durch Setzungsschäden betroffen waren und rd. 11 Mio DM zur Schadensbeseitigung aufgewandt werden mußten, wurden bis Ende 1993 etwa 650 Gebäude mit einer vorläufig geschätzten Schadenssumme von rd. 40 Mio DM registriert und mit Grundwasserentnahmen begründet. Zur Regulierung der aktuellen Schäden wurde ein Fonds eingerichtet, an dem sich die Geschädigten, das Land Hessen, zwei Kommunen sowie die Grundwasserentnehmer auf freiwilliger Basis mit unterschiedlichen Anteilen beteiligen.

Den großen Anteil übernehmen dabei die öffentlichen Wasserversorgungsunternehmen, obwohl Konflikte mit der Bebauung nur in Trockenperioden auftreten, die Grundwassersenkungen nicht allein durch die Grundwasserentnahme begründet sind und die Wassergewinnung für die öffentliche Wasserversorgung nicht nur in Naßperioden sondern auch im langjährigen Mittel völlig unproblematisch ist.

So weist die nutzungsbezogene Grundwasserbilanz für das Hessische Ried bezogen auf das langjährige Mittel 1961–1993 der Grundwasserneubildung und auf die aktuelle Entnahme nach den neuesten Untersuchungen (HMUEJFG in Vorb.) einen Überschuß von 34 Mio m<sup>3</sup> aus.

**Tab. 3.** Grundwasserbilanz des Hessischen Rieds

Grundwasserdargebot	Mio m <sup>3</sup> /a	
Zusickerung aus Niederschlag	146	
Zustrom vom Odenwaldrand	15	
Versickerung aus Bächen	13	
Uferfiltrat	8	182 Mio m <sup>3</sup> /a
Grundwasserentnahme		
Öffentliche Wasserversorgung	90	
Industrie	22	
Landwirtschaft	19	
Grundwasserschäden	1	
Sonstige	1	
Einfluß Baden-Württemberg	15	148 Mio m <sup>3</sup> /a
<b>Bilanz</b>		<b>+ 34 Mio m<sup>3</sup>/a</b>

### 3. Grundzüge der Grundwasserbewirtschaftung

Die Vermehrung des natürlichen Grundwasserdargebots durch die Anreicherung des Grundwasserleiters mit Oberflächenwasser stellt ein bewährtes Verfahren dar, um die Wasserversorgung in dicht besiedelten Gebieten sicherzustellen. Sie besitzt in Deutschland eine Tradition von mehr als 120 Jahren und wird heute von etwa 50 Wasserwerken angewandt. Seit Jahrzehnten hat sie auch in Hessen große Bedeutung für die Wasserversorgung von Frankfurt und Wiesbaden, die jeweils etwa

ein Drittel ihres Wasserverbrauchs aus derartigen Anlagen decken.

Neben der Sanierung von verunreinigten Grundwässern oder der Beseitigung von Niederschlagsgewässern wird diese traditionelle Aufgabe mehr und mehr durch Grundwasseranreicherungen erweitert, die das Ziel haben, anthropogene Eingriffe aus kulturbautechnischen und gewässerbaulichen Maßnahmen oder aus Grundwasserentnahmen auszugleichen (DVGW 1996).

Begünstigt durch langjährige und beste Erfahrungen lag es nahe, auch die Grundwasserverhältnisse im Hessischen Ried durch Grundwasseranreicherung zu verbessern und mit ihr die Zielsetzungen zu verfolgen:

- Sicherung und Erweiterung der nutzbaren Grundwasservorkommen für die Wasserversorgung der Region,
- Stabilisierung der natürlichen, klimatisch bedingten Grundwasserspiegelschwankungen,
- Erhaltung von grundwasserbeeinflussten Feuchtgebieten und Waldstandorten.

Da nennenswerte Wassermengen für dieses Vorhaben in Südhessen nur aus dem Rhein gewonnen werden können, sehen die bereits im Jahre 1977 eingeleiteten Planungen (Abb. 2) vor:

- Direkte Entnahme von Wasser aus dem Rhein,
  - Aufbereitung des Rheinwassers zu einem Wasser mit Trinkwasserqualität im Wasserwerk Biebesheim,
  - Verwendung dieses Wassers zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen auf einer Nutzfläche von 6000 ha zur Entlastung des Grundwasserhaushaltes durch die Einstellung der Grundwasserentnahmen und Umstellung auf aufbereitetes Oberflächenwasser.
- Grundwasseranreicherung in den Einzugsgebieten dreier Wasserwerke in den Bereichen Eschollbrücken/Pfungstadt, Gernsheimer Wald und Jägersburger Wald zur Kompensation der Entnahme sowie zur Mehrförderung.

Die Anlagen sind für den Durchsatz einer Wassermenge von 43 Mio m<sup>3</sup>/a (= 5400 m<sup>3</sup>/h) ausgelegt, die nach den Planansätzen abgegeben wird in die beiden Betriebszweige

- **Landwirtschaftliche Beregnung mit 5 Mio m<sup>3</sup>/a.** Die Verteilung des Wassers erfolgt über ein Rohrleitungssystem von rd. 250 km Länge, aus dem das Beregnungswasser über Hydranten entnommen wird.

## 4. Wasserbeschaffenheit

Die Gewinnung des Rheinwassers erfolgt durch eine direkte Entnahme, da die intensive Landnutzung (Baugebiete, Natur- und Landschaftsschutzgebiete) eine Gewinnung von Uferfiltrat ausschließt.

Aus einer Reihe von Gründen, insbesondere dem Schutz des Grundwassers vor Verunreinigungen, den Qualitätsansprüchen der Landwirtschaft für die Beregnung von Sonderkulturen sowie den betrieblichen Forderungen an einen kolmationsfreien Betrieb der Infiltrationsorgane wurde ein Aufbereitungsverfahren entwickelt, von dem nach seiner Erprobung in einer Versuchsanlage (Stundenleistung 10 m<sup>3</sup>) in den Jahren

- **Grundwasseranreicherung mit 38 Mio m<sup>3</sup>/a,** und zwar schwerpunktmäßig mit jeweils 12,7 Mio m<sup>3</sup>/a in die drei v.g. Hauptinfiltrationsbereiche der Wasserwerke

Eschollbrücken/Pfungstadt (Südhessische Gas- und Wasser AG),  
Allmendfeld (Zweckverband Riedwerke Kreis Groß-Gerau) und  
Jägersburger Wald (Wasserbeschaffungsverband Riedgruppe Ost).

Äußere Einflüsse haben die Fertigstellung der Anlagen erheblich verzögert, so daß das Wasserwerk Biebesheim und die erste Anlage zur Grundwasseranreicherung (Bereich Eschollbrücken) erst Ende 1989 in Betrieb genommen und die landwirtschaftliche Beregnung erst zu Beginn der Vegetationsperiode 1990 umgestellt werden konnten.

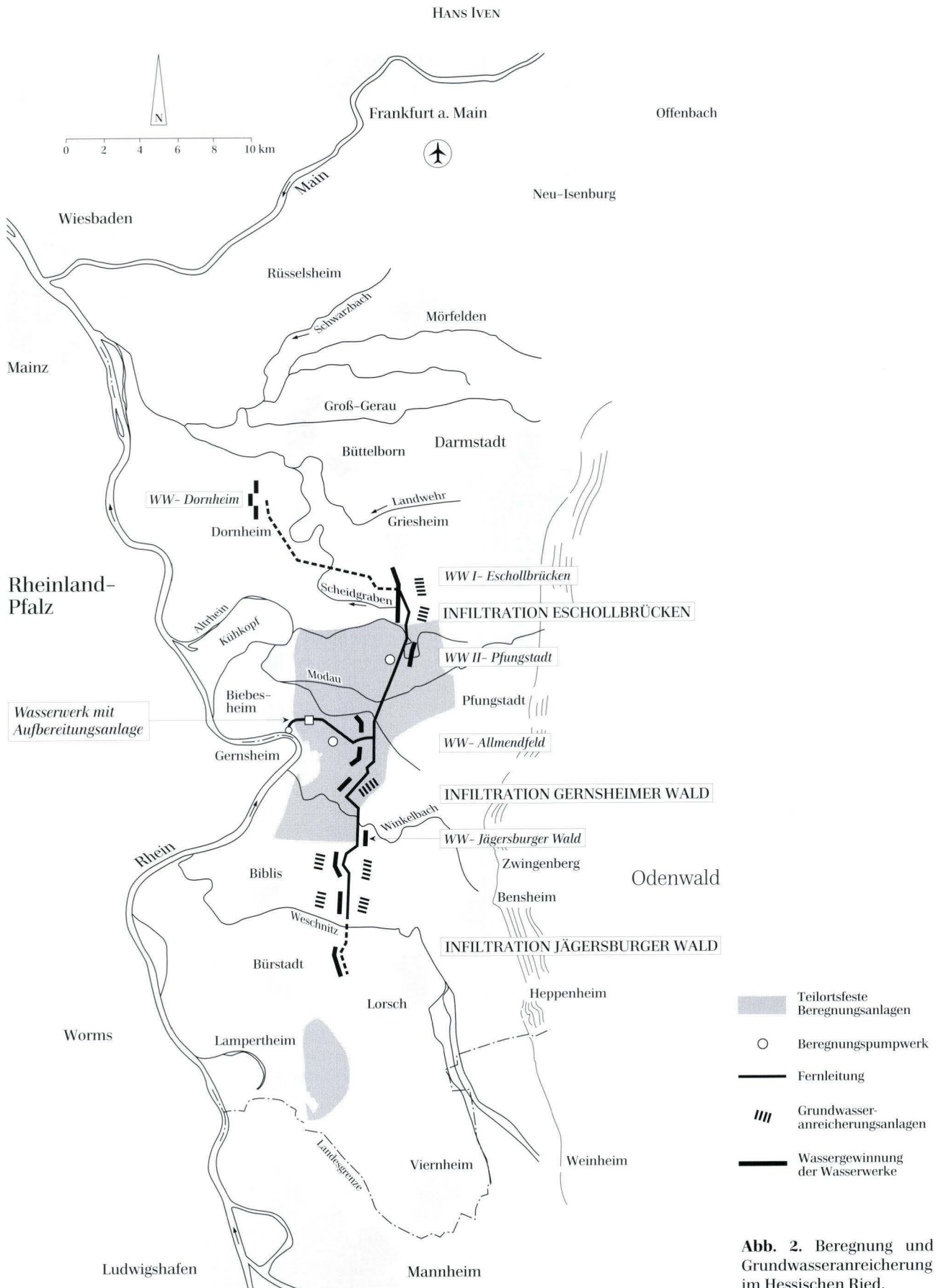
Zeitgleich begann eine erneute Trockenperiode, aus deren Folgen heraus das Land Hessen - nach Vorlage eines Gutachtens über die ökologische Verträglichkeit der Infiltration mit aufbereitetem Rheinwasser (TRISCHLER & PARTNER 1992) und im Rahmen eines Grundwasserbewirtschaftungsplanes (HMUEJFG in Vorb.) - die bereits jahrelang beantragten Genehmigungen für die beiden übrigen Grundwasseranreicherungsanlagen in den Jahren 1993 und 1995 erteilt hat. Mit einem Zeitverzug von etwa 13 Jahren gegenüber dem ursprünglichen Zeitplan können sie nunmehr gebaut und ab Mitte 1996 (Gernsheimer Wald) und ab Ende 1997 / Anfang 1998 (Jägersburger Wald) betrieben werden.

Das Gesamtsystem stellt in seinen wesentlichen Elementen eine technische Einheit dar, so daß die Grundwasseranreicherung durch die Priorität der Beregnung während der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode nicht mit kontinuierlichen Wassermengen betrieben werden kann.

1979/80 zu erwarten war, daß das aufbereitete Wasser den Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht. Es umfaßt die Verfahrensstufen:

- Mechanische Reinigung mit Rechen und Siebbandmaschine,
- Vorozonung,
- Vierstufige Flockungsanlage,
- Sedimentation,
- Hauptozonung,
- Sekundärdosierung,
- Mehrschichtfiltration,
- Aktivkohlefiltration.





**Abb. 2.** Beregnung und Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried.

Dieses Verfahren hat sich – bei seinerzeit weit schlechterer Beschaffenheit des Rheinwassers – sowohl in der einjährigen Versuchsphase als auch nach einem bisher siebenjährigen Betrieb hervorragend bewährt, so daß mit Ausnahme der Temperatur die zulässigen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung aller Parameter immer deutlich unterschritten werden, vielfach sind sie – selbst mit den modernsten Methoden der Spurenanalytik – nicht mehr nachweisbar.

Einen Eindruck über die Beschaffenheit des aufbereiteten Rheinwassers für die in Anlage 2 der Trinkwasserverordnung enthaltenen gesundheitlich bedenklichen Parameter vermittelt Tab. 4.

Bereits seit etwa 10 Jahren gilt der Rhein in seinem hessischen Abschnitt oberhalb der Mainmündung sowohl nach seinem biologischen Besiedlungsbild als auch nach seinen chemischen Inhaltsstoffen wieder als mäßig belastet (HLFU 1994). In Verbindung mit dem komplexen Aufbereitungsverfahren, das für den Belastungszustand 1979/80 unmittelbar nach dem Höhepunkt der Rheinverschmutzung konzipiert wurde, liegen somit beste Voraussetzungen für die einwandfreie Qualität des aufbereiteten Rheinwassers vor.

Die Verbesserung der Wassergüte des Rheins ist zwar eher ein mittel- bis langfristiger Prozeß, dennoch lassen sich auch für kürzere Zeiträume durchaus bemerkenswerte Entwicklungen feststellen, die im folgenden beispielhaft für die überwiegend einleitungsbedingten Gehalte an organischen Halogenverbindungen (AOX) und an Chlorid dargestellt wird.

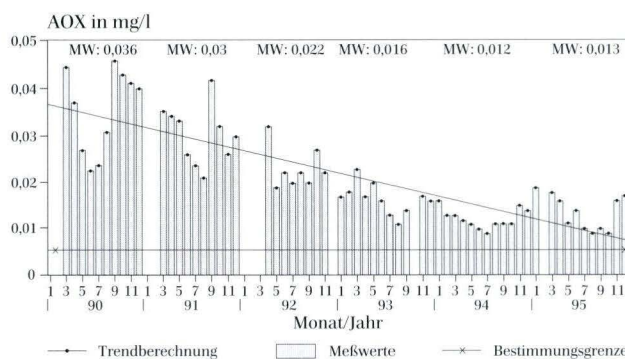


Abb. 3. Entwicklung des AOX-Gehaltes im Rhein bei Biebesheim 1990–1995.

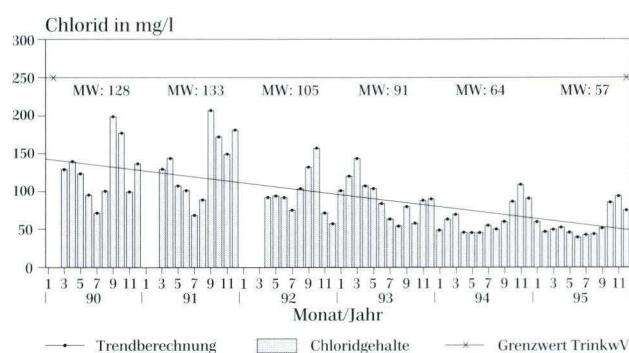


Abb. 4. Entwicklung des Chloridgehaltes im Rhein bei Biebesheim 1990–1995.

Tab. 4. Meßwerte [mg/l] 1995 des aufbereiteten Rheinwassers nach Anlage 2 der Trinkwasserverordnung

Parameter	Mittelwert	Min.-Wert	Max.-Wert	Probenanzahl	TrinkwV Grenzwert	Bestimmungsgrenze
Arsen	n.n.	n.n.	n.n.	11	0,01	0,0005
Blei	n.n.	n.n.	n.n.	11	0,04	0,001
Cadmium	n.n.	n.n.	n.n.	11	0,005	0,0001
Chrom	n.n.	n.n.	n.n.	11	0,05	0
Cyanid	< 0,005	< 0,005	< 0,005	2	0,05	0,005
Fluorid	0,11	0,08	0,16	43	1,5	0,04
Nickel	< 0,001	< 0,001	0,001	11	0,05	0,001
Nitrat	12	8	16	46 <sup>2)</sup>	50	1
Nitrit	0,004	n.n.	0,04	221	0,1	0,003
Quecksilber	n.n.	n.n.	n.n.	11	0,001	0,0001
Antimon	n.n.	n.n.	n.n.	11	0,01	0,001
Selen	n.n.	n.n.	n.n.	11	0,01	0,001
Chlorierte Lösemittel	n.n.	n.n.	< 0,0002	214	0,01	0,0002
Tetrachlormethan	n.n.	n.n.	n.n.	215	0,003	0,00005
PBSM und Metabolite <sup>1)</sup>	n.n.	n.n.	n.n.	46 <sup>2)</sup>	0,0005	0,00005
Polychlorierte Biphenyle	n.n.	n.n.	n.n.	47 <sup>2)</sup>	0,0005	0,00002
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	n.n.	n.n.	n.n.	2	0,0002	0,000001

TrinkwV = Trinkwasserverordnung  
n.n. = nicht nachweisbar

<sup>1)</sup> = Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel und Metabolite  
<sup>2)</sup> = Wochenmischproben

So hat sich der mittlere AOX-Gehalt, dem Summenparameter für organische Halogenverbindungen, von 0,127 mg/l aus der Zeit 1979/80 auf 0,013 mg/l bis 1995 also um 90 % des seinerzeitigen Wertes verringert. Die Entwicklung des AOX-Gehaltes seit Inbetriebnahme des Wasserwerkes Biebesheim zeigt Abb. 3.

Eine ähnlich erfreuliche Entwicklung, mit einer Hal-

bierung der Gehalte innerhalb weniger Jahre, gilt für Chlorid (Abb. 4).

Es ist in der Trinkwasserverordnung mit einem Grenzwert von 250 mg/l belegt. Seine Herkunft am hiesigen Flußabschnitt entstammt im wesentlichen den Einleitungen aus den elsässischen Kaligruben.

## 5. Anlagen zur Grundwasseranreicherung

### 5.1. Vorbemerkung

Da im Hessischen Ried noch keine Erfahrungen über Grundwasseranreicherungsanlagen bestanden, wurden in den Jahren 1979/80 an den drei vorgesehenen Standorten Eschollbrücken, Gernsheimer Wald und Jägersburger Wald in einer Versuchsreihe die bewährten Verfahren (Sickerbecken, Waldpolder, Sickerleitungen und Schluckbrunnen) mit dem seinerzeit neu entwickelten Sickerschlitzgraben (Abb. 5) vergleichend betrieben (HANTKE 1981). Nach Auswertung der Versuchsergebnisse wurde der Sickerschlitzgraben nach den Kriterien Investitionskosten und Schluckleistung als optimal bewertet und als Standardorgan für das Hessische Ried gewählt.

Die Schluckleistung, bezogen auf die Grabenoberfläche, wurde für den Prototyp des 6 m tiefen und 1 m breiten Sickerschlitzgrabens in diesen Versuchen ermittelt am Standort

- Eschollbrücken zu  $85 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ,
- Gernsheimer Wald zu  $79 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ ,
- Jägersburger Wald zu  $197 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ .

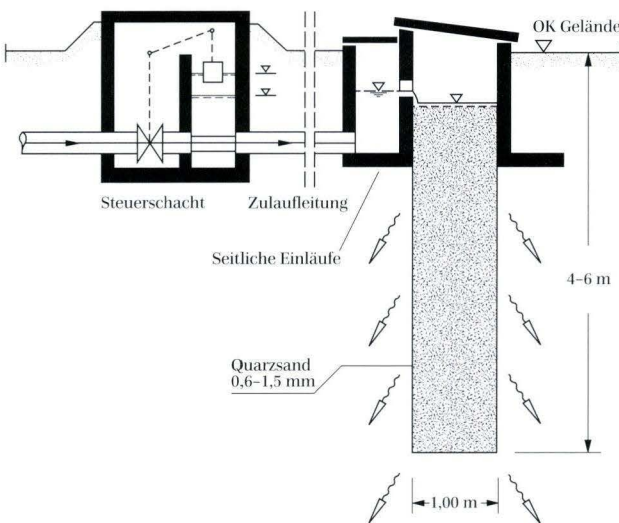


Abb. 5. Schematischer Querschnitt durch einen Sickerschlitzgraben (1. Generation).

Seit Ende 1989 werden im Bereich Eschollbrücken neun Sickerschlitzgräben betrieben. Die seinerzeitige Entscheidung für dieses Infiltrationsorgan bedeutet allerdings keine dogmatische Festlegung, so daß neben dieser Methode zwischenzeitlich weitere Verfahren angewandt werden, die in Abb. 6 mit ihren wesentlichen Merkmalen schematisch gegenübergestellt sind. Über die Ergebnisse und Erfahrungen mit diesen Anlagen wird im folgenden berichtet.

### 5.2. Sickerschlitzgräben

Die Infiltrationsanlage Eschollbrücken wurde im Oktober 1989 bei einem damaligen Flurabstand von 10-11 m in Betrieb genommen. Sie umfaßt neun Sickerschlitzgräben von jeweils 100 m Länge, 6 m Tiefe und 1 m Breite. Im Austausch mit dem gewachsenen Boden sind die Gräben mit Grobsand (Quarzsand) 0,6/1,5 mm verfüllt. In Geländehöhe werden sie mit Winkelstützelementen

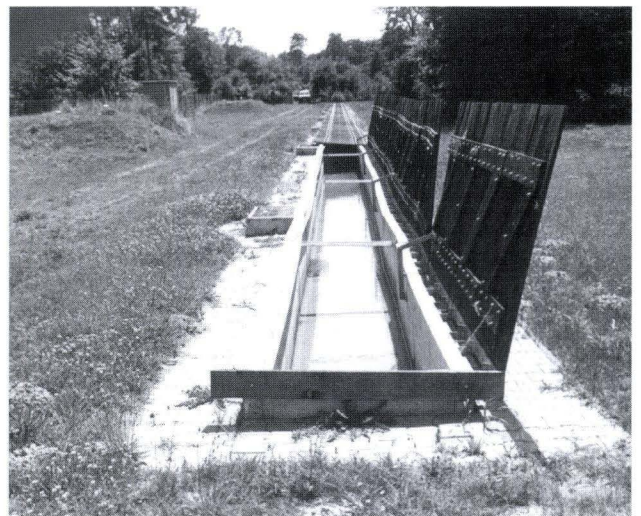


Abb. 7. Sickerschlitzgraben von 100 m Länge im freien Gelände.

Die Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried

Inf.- Organ	Sickerschlitzgraben	Sickerschlitzgraben	Bohrungen	Bohrungen	Ehemalige Entwässerungsgräben	Brunnen (vertikal)
Bereich	Eschollbrücken	Gernsheimer Wald			Hessisches Ried	Allmendfeld
System						
Anzahl	9 Stück	1 Stück	16 Stück mit je 7 Bohrungen	1 Stück mit je 5 Bohrungen	6 Stück	2 Stück
Erprobung	1979/80		1994	1996		
Betrieb	seit 1989	seit 1994	seit 1996		seit 1993	seit 1993
Abmessung	L = 100 m B = 1 m T = 6 m	L = 75 m B = 1 m T = 6 m	Bohr-Ø = 1,50 m T = 6 m	Bohr-Ø = 1,50 m T = 9 m	B = 1 m T = 2 - 3 m	Bohr-Ø = 1000 mm T = 100 m
Ausbau	Sand 06/1,5 mm	Sand 06/1,5 mm	Kies 2 - 3,2 mm	Kies 2 - 3,2 mm		Filter-Ø = 400 mm
Leistung (max.)	(40 - 260 m³/h)	160 m³/h (200 m³/h)	160 m³/h (200 m³/h)		5 - 100 m³/h je 100 m Länge	100 m³/h (200 m³/h)

Abb. 6. Verfahren zur Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried.

eingefaßt, die etwa 0,5 m in das Erdreich ragen und mit aufklappbaren Platten aus Holz abgedeckt sind (Abb. 7).

Mit einer Längenausdehnung von rd. 2 km liegt die Anlage mit einem Abstand von 1500 m (5 Sickerschlitzgräben) und 700 m (4 Sickerschlitzgräben) im Oberstrom des Wasserwerks Eschollbrücken der Süd Hessischen Gas und Wasser AG, Darmstadt, die dieses Wasserwerk seit 1880 für die erste zentrale Wasserversorgungsanlage im Hessischen Ried (Darmstadt) betreibt.

Geeignete hydrogeologische Bedingungen stellen wohl die wichtigste Voraussetzung für die Einrichtung einer Anlage zur Grundwasseranreicherung dar. Leider muß festgestellt werden, daß diese Forderung am Standort Eschollbrücken nur teilweise erfüllt ist. Die Dimensionierung erfolgte nach den Ergebnissen, die zunächst an der Versuchsanlage (HANTKE 1981) gewonnen und später in örtlichen Versickerungsversuchen (Bohrlochtest) im vorgesehenen Baufeld ausdrücklich bestätigt wurden. Diese Versickerungsversuche (Schluckbrunnen Ø 700 mm, Tiefe 6 m) und/oder die Interpretation der Ergebnisse erfolgten offenbar nach einem methodisch ungeeigneten Ansatz, so daß die tatsächliche Schluckfähigkeit des Baugrundes nicht erkannt wurde.

Die Prognose, daß die „angetroffenen Schluffe bzw. stark schluffigen Sande eine großflächige, langzeitige Versickerung nur unerheblich beeinträchtigen“, hat sich bereits innerhalb weniger Stunden nach Inbetriebnahme der Anlage durch großflächige Überflutungen als

falsch herausgestellt. Im praktischen Betrieb werden allenfalls etwa 60 % der Schluckleistungen der Versuchsanlage erreicht, und zwar je nach lokalen Bodenverhältnissen:

10 m³/m² · d bei schluffigem Boden (Zulauf 40 m³/h),  
60 m³/m² · d bei sandigem Boden (Zulauf 260 m³/h),  
85 m³/m² · d bei sandig-kiesigem Boden (Versuchsanlage).

Bei diesen Bodenverhältnissen kommt der Verdrängung der Bodenluft eine entscheidende Bedeutung bei. Sie wird dadurch erreicht, daß die Beschickung des Grabens mit stufenweiser Steigerung der Wassermenge nur noch von der Stirnseite erfolgt. Die seitlichen Zuläufe an der Längsseite des Grabens (Abb. 8) haben sich zwar an

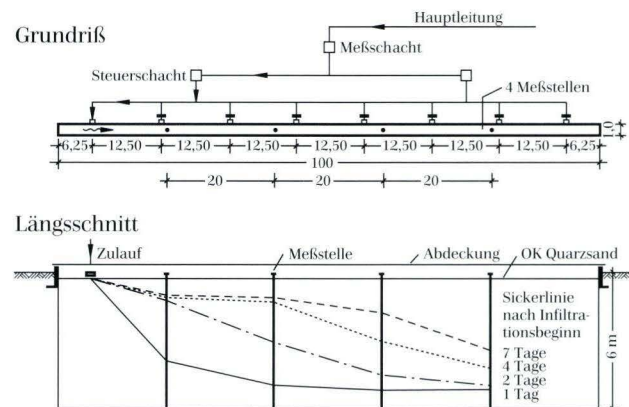


Abb. 8. Schema des Sickerschlitzgrabens (1. Generation) mit Sickerlinie im Anfahrbetrieb.

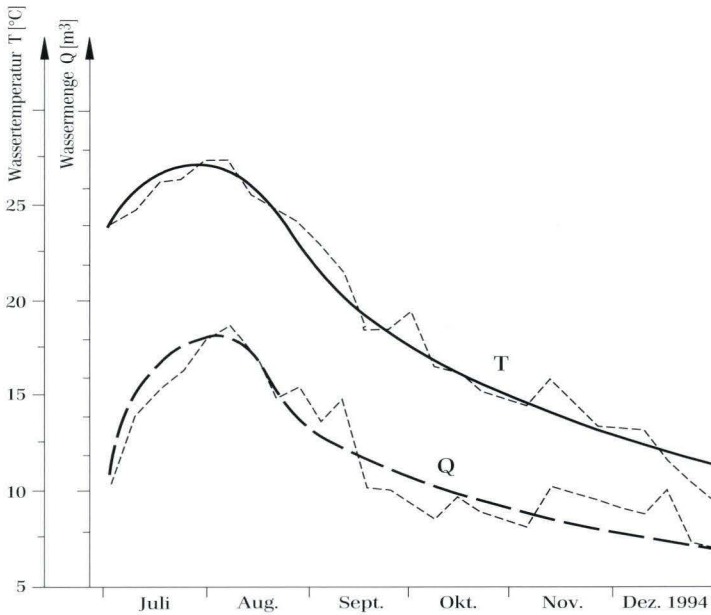


Abb. 9. Abhängigkeit der Schluckleistung eines Sickerschlitzgrabens von der Temperatur (Viskosität) des Anreicherungswassers (2. Halbjahr 1994).

der Versuchsanlage, jedoch nicht im praktischen Betrieb bewährt.

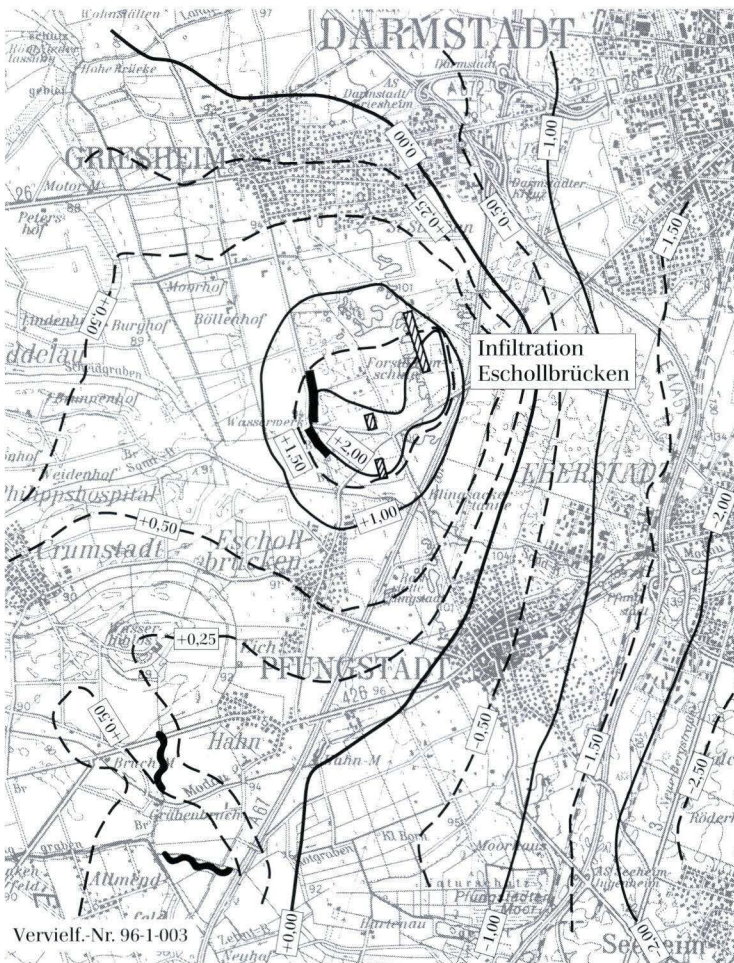
Da die Anlage immer an der Obergrenze ihrer Leistungsfähigkeit – Einstau über die gesamte Grabenlänge – betrieben wird, machen sich die Einflüsse der temperaturabhängigen Viskosität des Wassers außerordentlich stark bemerkbar (Abb. 9). Die Temperatur des Anreicherungswassers – Schwankungsbreite zwischen 6° C im Winter und 28° C im Sommer – ist somit ein beachtlicher Faktor für die Leistungsfähigkeit einer Grundwasseranreicherungsanlage.

Trotz der anfänglichen Probleme, die nicht zuletzt daraus entstanden, daß ein derart großes Projekt als Gesamtanlage und nicht stufenweise unter Auswertung der gewonnenen Erfahrungen ausgebaut wurde, hat sich der Sickerschlitzgraben durchaus bewährt und zeichnet sich durch einen störungsfreien, wartungsarmen und kostengünstigen Betrieb aus.

Die derzeitige wasserwirtschaftliche Situation entspricht in vollem Umfang den Prognosen des mathematischen Grundwassermodells. Nach Infiltration von rd. 25 Mio m³ Wasser mußte der Betrieb nach Erreichen der durch die Bebauung vorgegebenen höchsten Grenzgrundwasserstände im Januar 1995 eingestellt werden.

In diesem Bereich liegen die aktuellen Grundwasserstände etwa 2,5–3 m über ihrem Tiefststand des Jahres 1977 und entsprechen etwa dem Niveau von 1970. Ursächlich für diese Grundwasserstände sind der Rückgang der Wasserförderung (in den letzten Jahren ca. 3 Mio m³/a), die Normalisierung der Niederschlagsverhältnisse 1994/95 sowie die Infiltration (5–6 Mio m³/a), die in den Trockenjahren 1989/93 eine Speicherzehrung verhinderte (Abb. 10).

In diesem Bereich hat sich die Grundwasserbilanz in den vorangegangenen Jahren um bis zu 9 Mio m³/a verbessert. Ohne Mehrförderung schließen die hohen Grundwasserstände daher die Wiederaufnahme des Infiltrationsbetriebes auf nicht vorhersehbare Zeit aus.



- Infiltrationsanlage Eschollbrücken
- Infiltration über Grabensysteme
- Brunnenreihe

Abb. 10. Grundwasserdifferenzenplan Okt. 1989/Okt. 1994 für den Infiltrationsbereich Eschollbrücken.

### 5.3. Modifikation des Sickerschlitzengrabens

Zur Abwicklung der Bauarbeiten für den Sickerschlitzengraben besteht ein erhöhter Flächenbedarf, der ein mehrfaches über dem Umfang des späteren Betriebs liegt. Während die Infiltrationsanlage Eschollbrücken im freien Gelände errichtet werden konnte, liegen die beiden übrigen Infiltrationsbereiche mit insgesamt 40 Infiltrationsorganen in einem geschlossenen Waldgebiet. Damit sind Konflikte programmiert, da für jeden Sickerschlitzengraben eine Fläche von etwa 2000 m<sup>2</sup> gerodet werden muß (Abb. 11).



Abb. 11. Sickerschlitzengraben von 75 m Länge im Wald.

Obwohl die notwendigen Rodungsgenehmigungen vorlagen, wurde zur Minimierung der Eingriffe eine alternative Bauform entwickelt, die den gestreckten Sickerschlitzengraben in mehrere mit Sand oder Kies verfüllte Einzelbohrungen auflöst. Ihr besonderer Vorteil liegt darin, daß sie ohne flächenhafte Rodungen innerhalb des Baumbestandes relativ flexibel niedergebracht werden können.

Beide Anlagentypen – Sickerschlitzengraben von 75 m Länge mit 1 m Breite und die aufgelöste Bauform mit 7 Einzelbohrungen bei 1,5 m Durchmesser – wurden mit einheitlicher Tiefe von 6 m zunächst als Versuchsanlagen vergleichend betrieben (Abb. 12). Mit leichten Vorteilen für die aufgelöste Bauform bestätigen die Meßergebnisse, daß beide Organe bei nahezu gleichen Aufstauhöhen eine maximale Leistungsfähigkeit von 200 m<sup>3</sup>/h aufweisen und damit als gleichwertig gelten können.

Da die Verbesserung der Eingriffsbilanz jedoch eindeutige Vorteile für die aufgelöste Bauform aufweist, werden die großkalibrigen Einzelbohrungen zukünftig als Standardorgan zur Grundwasseranreicherung im Wald eingesetzt (Abb. 13).

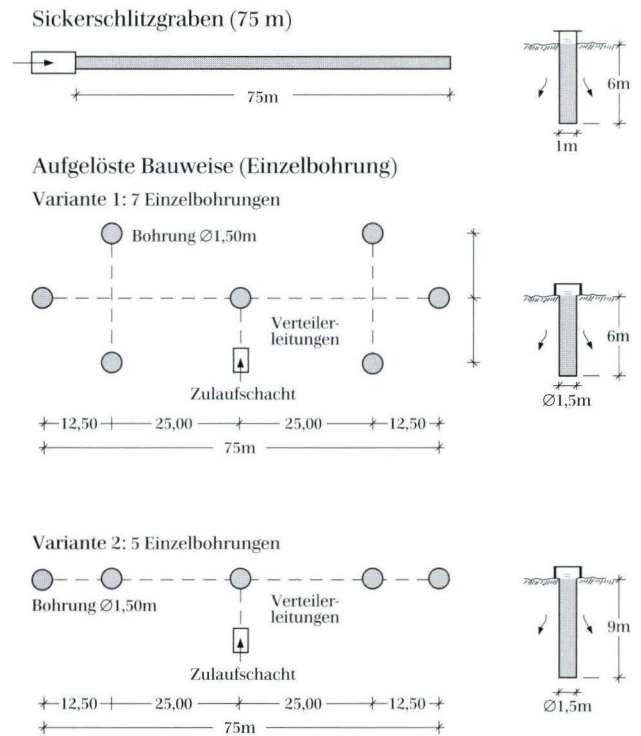


Abb. 12. Schematische Gegenüberstellung des Sickerschlitzengrabens und der aufgelösten Bauform (großkalibrige Einzelbohrungen).

Eine Optimierung der aufgelösten Bauweise – Reihenanzordnung von 5 Einzelbohrungen jedoch mit 9 m Tiefe (Abb. 12) – erscheint vielversprechend und wird z.Z. (Mitte 1996) in einer Versuchsanlage (Abb. 14) erprobt. Obwohl der Versuch noch nicht abgeschlossen ist, deuten die ersten Ergebnisse auf eine Leistungsfähigkeit von ebenfalls 200 m<sup>3</sup>/h hin. Dieses auch im Hinblick auf die Eingriffe optimierte Infiltrationsorgan könnte sodann für die Infiltrationsanlage im Jägersburger Wald eingesetzt werden.

Im Vergleich mit dem herkömmlichen Sickerschlitzengraben zeichnet sich die aufgelöste Bauform mit Einzelbohrungen insbesondere dadurch aus, daß die

- Eingriffsbilanz durch die Vermeidung flächenhafter Rodungen deutlich verbessert wird,
- Baukosten durch den Fortfall von Verbauarbeiten und die Verringerung der Mengen an Erdaushub und Verfüllkies vermindert werden,
- Bauzeit durch den Einsatz von Bohreräten verkürzt wird.



**Abb. 13.** Infiltrationsorgan in aufgelöster Bauweise mit sieben Einzelbohrungen je 6 m Tiefe.



**Abb. 14.** Infiltrationsorgan in aufgelöster Bauweise mit fünf Einzelbohrungen je 9 m Tiefe.

#### 5.4. Ehemalige Entwässerungsgräben

Zur großflächigen Binnenentwässerung des Hessischen Rieds wurde vor Jahrzehnten ein Grabensystem mit einer Länge von 800 km mit Vorflut zum Rhein angelegt. Dieses System ist zwar überwiegend noch vorhanden, hat aber seine ursprüngliche Funktion längst verloren.

Bei betriebsnotwendigen Entleerungen von Leitungstrecken in trockene Gräben (Tiefpunkte) wurde festgestellt, daß das eingeleitete Wasser außerordentlich schnell versickert. Aus diesen Beobachtungen wurde im Sommer 1993, dem Höhepunkt der Trockenperiode nach 1989, der Gedanke entwickelt, Teilabschnitte des ehemaligen Entwässerungssystems für die Grundwasseranreicherung zu nutzen.

Hierfür wurden Gräben ausgewählt, die im Bereich von Beregnungsleitungen verlaufen und die mit einer noch vorhandenen Mindestprofilierung bei Sohlltiefe von etwa 2 m die bindigen Deckschichten durchstoßen (Abb. 15). Die Zuleitungen aus dem Beregnungsnetz erfolgen über kurze Anschlußleitungen, ohne Einlaufbauwerk direkt in die Gräben, deren Sohlen weder gereinigt noch in sonstiger Weise behandelt werden.

Mit Ausnahme eines Grabens (Rödenfeld) ist ihre Schluckfähigkeit mit Leistungen von  $25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  als bemerkenswert gut zu bezeichnen.

Diese positiven Erfahrungen mit Gräben in der Feldgemarkung waren Anlaß, auf den Bau von fünf Infiltrationsorganen im Infiltrationsbereich Jägersburger Wald

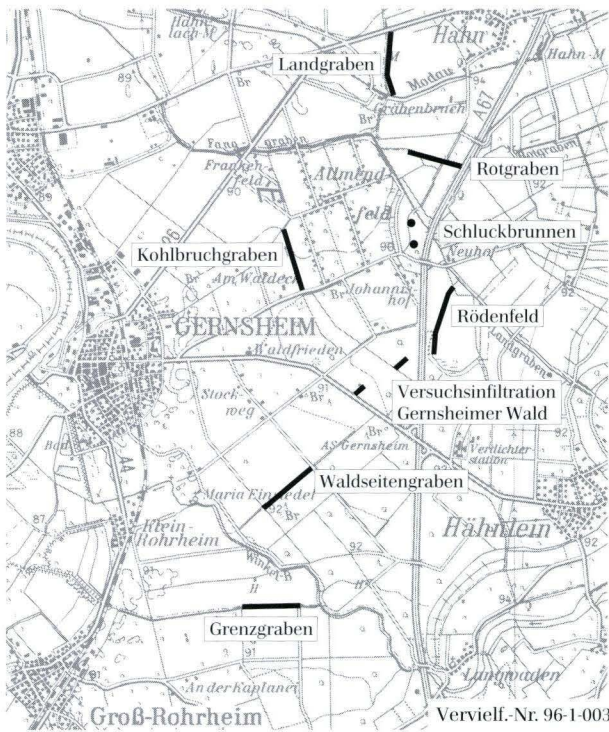


Abb. 15. Standorte der Grabensysteme und Schluckbrunnen zur Grundwasseranreicherung.



Abb. 16. Grundwasseranreicherung über einen ehemaligen Entwässerungsgraben (Waldgraben).

zu verzichten und stattdessen einen vorhandenen Entwässerungsgraben (Waldgraben, Abb. 16) am vorgesehenen Standort der technischen Organe zu nutzen.

Durch diese Änderungen konnten nicht nur Baukosten von rd. 2,5 Mio DM für die technischen Organe an dieser Stelle eingespart sondern auch jeglicher Eingriff in den Waldbestand vermieden werden, zumal die Zuleitungen ohnehin in vorhandenen Schneisen verlegt werden.

Unter den gegebenen Bedingungen stellt die Grund-

wasseranreicherung über vorhandene Gräben eine kostengünstige Variante gegenüber technischer Infiltrationsorganen dar, sofern nur kurze Zuleitungen (mit Wasserzähler) erforderlich werden. Als Nachteil muß jedoch gewertet werden, daß sie mit vertretbaren Kosten nicht in ein Fernwirksystem einbezogen werden können und die Versickerungsfähigkeit durch Kolmationen aus dem Laubeinfall der umgebenden Vegetation stark eingeschränkt werden kann. Ein weiterer Nachteil besteht darin, daß sich sekundäre Feuchtbiotope entwickeln können, die bei Unterbrechung der Wassereinleitung geschädigt werden können.

## 5.5. Schluckbrunnen

Im Rahmen des seinerzeitigen Versuchsprogramms zur Ermittlung eines geeigneten Infiltrationsorganes wurde im Bereich Eschollbrücken auch ein Schluckbrunnen (26 m Tiefe, Bohr-Ø 1300 mm) niedergebracht und kurzzeitig erprobt. Seine Schluckfähigkeit wurde mit rd. 100 m<sup>3</sup>/h ermittelt (HANTKE 1981). Seit 1989 wird er im Dauerbetrieb mit einer Wassermenge von 50 m<sup>3</sup>/h beaufschlagt, ohne daß bisher Leistungsminderungen durch Kolmation festgestellt wurden.

Da die Erfahrungen somit als gut bewertet werden können, aber an diesem Standort keine weitergehenden Untersuchungen möglich sind, wurden nunmehr an einer anderen Stelle (Abb. 15) praxisnahe Versuche durchgeführt. Sie dienen dem Ziel, weitere Erfahrungen mit Schluckbrunnen zu sammeln und gleichzeitig Erkenntnisse für die Speicherbewirtschaftung bei einer Infiltration im Nahbereich von Entnahmebrunnen im Sinne einer Substitution von „echtem“ Grundwasser durch „angereichertes“ Grundwasser insbesondere hinsichtlich der Qualitätsmerkmale zu gewinnen.

Hierfür werden zwei Brunnen (Tiefe 100 m, Bohr-Ø 1300/1000 mm, Filter-Ø 600/400 mm) herangezogen die bereits früher in ihrem oberen Bereich bis zur Verjüngung in 30 m Tiefe kurzfristig für Schluckversuche (HANTKE 1981) mit einer Menge von jeweils 100 m<sup>3</sup>/h erprobt wurden. Sie wurden im anschließenden Zeitraum von 1980–1989 über ihre gesamte Tiefe zur Gewinnung von Grundwasser für die Beregnung in einer Menge von jeweils bis zu 250 m<sup>3</sup>/h genutzt und mit der Inbetriebnahme des Wasserwerks Biebesheim stillgelegt.

Die Versuchsanordnung wird vervollständigt durch die Einbeziehung von zwei 100 m tiefen Entnahmebrunnen, aus denen in einer Entfernung von 180 m Grundwasser für die Trinkwasserversorgung gefördert wird. Die Beobachtungen erstrecken sich auf die Entwicklung der Grundwasserstände und der Grundwasserbeschaffenheit sowohl in nahegelegenen Grundwassermessstellen als auch im geförderten Grundwasser.



Im Versuchszeitraum von Nov. 1993 bis Jan. 1996 wurden über beide Schluckbrunnen insgesamt 3,1 Mio m<sup>3</sup> Wasser (100 m<sup>3</sup>/h je Brunnen als Regelzulauf) infiltriert und über die beiden gegenüberliegenden Förderbrunnen mit 3,2 Mio m<sup>3</sup> praktisch die gleiche Menge Grundwasser entnommen.

Die Ergebnisse der qualitativen Untersuchungen bestätigen in jeder Hinsicht die Erfahrungen, die mit Grundwasseranreicherungsanlagen gewonnen wurden.

So wurde bereits nach wenigen Wochen ein deutlicher Einfluß in den naheliegenden Grundwassermeßstellen (Abstand 50 m) des oberflächennahen Grundwassers erkennbar. Die Leitfähigkeit – als Maß für die Neutralsalzbelastung – war, ebenso wie die Chlorid- und Sulfatgehalte, nach kurzer Zeit abgesunken. Ebenso konnte eine Reduzierung der Erd- und Erdalkalimetalle (Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium) sowie von Eisen und Mangan festgestellt werden. Eindrucksvoll ist ebenso die Verringerung des Borgehaltes – als Indikator für eine anthropogene Beeinflussung – und des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) als Summenparameter für die organische Belastungssituation.

Diese Entwicklung ist in Tab. 5 für eine unterstromige Meßstelle im Abstand von 50 m zum Infiltrationsort dargestellt.

In den weiter entfernten Meßstellen (150 m) konnten Veränderungen im Unterstrom etwa nach einem halben Jahr festgestellt werden, während im Oberstrom durch Gewässereinfluß keine eindeutige Aussage möglich ist.

Im Gegensatz zum oberflächennahen Grundwasser konnte ein Infiltrationseinfluß im tiefen Grundwasser erst nach etwa 11 Monaten durch einen leichten Anstieg des Chlorid- und Natriumgehaltes, sowie einen leichten Rückgang der Sulfatkonzentration beobachtet werden. Erwartungsgemäß zeigen die Untersuchungen des tiefen Grundwassers (Tab. 6) keine signifikanten Veränderungen auf.

## 6. Schlußbemerkung

Im Hessischen Ried erfolgt die Grundwasseranreicherung mit aufbereitetem Rheinwasser in Trinkwasserqualität, das bei allen Parametern – ausgenommen der Temperatur – die zulässigen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung deutlich unterschreitet.

Die Infiltration soll nach den Planansätzen mit einer Wassermenge von 38 Mio m<sup>3</sup>/a schwerpunktmäßig in den Einzugsbereichen von drei Wasserwerken an den Standorten Eschollbrücken, Gernsheimer Wald und Jägersburger Wald durchgeführt werden. Hier werden derzeit knapp 50 Mio m<sup>3</sup>/a Grundwasser für die örtliche

**Tab. 5.** Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit in einer oberflächennahen Meßstelle (Meßstelle 6) durch Infiltration

Parameter	Grundwasser <sup>1)</sup>		Anreicherungs- wasser <sup>1)</sup>	
	vor Infiltration VII.-XI.93	durch Infiltrations- einfluß XII.93-I.96	1994	1995
Leitfähigkeit [µS/cm]	1328	642	624	594
Natrium [mg/l]	81	42	40	37
Chlorid [mg/l]	104	74	81	74
Kalium [mg/l]	11	5,6	4,3	4,1
Calcium [mg/l]	205	88	65	63
Magnesium [mg/l]	22	9,6	9,8	9
Sulfat [mg/l]	240	80	49	46
Eisen [mg/l]	4,6	0,7	0,01	0,016
Mangan [mg/l]	1,02	0,27	<0,001	<0,001
Bor [mg/l]	0,82	0,09	0,06	0,06
Barium [mg/l]	0,2	0,16	0,05	0,05
TOC [mg/l]	4,9	<1	0,7 <sup>2)</sup>	0,7 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> = Mittelwerte

<sup>2)</sup> = Angabe entspricht DOC

**Tab. 6.** Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit in einem Tiefbrunnen (Tiefbrunnen C) durch Infiltration

Parameter	Grundwasser <sup>1)</sup>		Anreicherungs- wasser <sup>1)</sup>	
	vor Infiltration II.-IX.94	durch Infiltrations- einfluß X.94-I.96	1994	1995
Leitfähigkeit [µS/cm]	796	822	624	594
Natrium [mg/l]	17	18	40	37
Chlorid [mg/l]	29	40	81	74
Kalium [mg/l]	1,8	1,8	4,3	4,1
Calcium [mg/l]	120	121	65	63
Magnesium [mg/l]	25	24	9,8	9
Sulfat [mg/l]	119	123	49	46
Eisen [mg/l]	3,21	3,07	0,01	0,016
Mangan [mg/l]	0,2	0,2	<0,001	<0,001
DOC [mg/l]	1,4	1,2	0,7	0,7

<sup>1)</sup> = Mittelwerte

<sup>2)</sup> = Angabe entspricht DOC

und überörtliche Trinkwasserversorgung gewonnen. Mit der Erhöhung des Wasserdargebotes von 38 Mio m<sup>3</sup>/a durch Grundwasseranreicherung werden einerseits ökologische Zielsetzungen verfolgt, andererseits kann nach den ursprünglichen Planungen, die durch Grundwasserrechenmodelle gestützt sind, die derzeitige Förderung um 30 Mio m<sup>3</sup>/a bei gleichzeitiger Anhebung der Grundwasserstände erweitert werden.

Langwierige Verwaltungs- und gerichtliche Streitverfahren – 8 Jahre für den Bereich Eschollbrücken, 4,5 Jahre für den Bereich Gernsheimer Wald und 6,5 Jahre für

den Bereich Jägersburger Wald zwischen Antragstellung und Rechtskraft der wasserrechtlichen Bescheide – haben die Fertigstellung der Maßnahme gegenüber dem ursprünglichen Zeitplan um etwa 13 Jahre verzögert.

Die erste Anlage zur Grundwasseranreicherung ist seit 1989 in Betrieb. Sie umfaßt 9 Sickerschlitzgräben in gestreckter Bauform von jeweils 100 m Länge, 6 m Tiefe und 1 m Breite. Die Betriebserfahrungen können insgesamt, insbesondere hinsichtlich des Unterhaltungsaufwandes als gut bezeichnet werden. Für die Abwicklung der Bauarbeiten besteht vorübergehend ein erhöhter Flächenbedarf, der ein mehrfaches über dem betriebsnotwendigen Umfang liegt. Damit sind Konflikte programmiert, sobald diese Anlagen in Waldflächen angeordnet werden müssen.

Mit dem Leitgedanken, die Eingriffe in Natur und Landschaft zu verringern, wurde der herkömmliche Sickerschlitzgraben zu einer aufgelösten Bauweise in Form von großkalibrigen Einzelbohrungen (Bohr-Ø 1500 mm, Tiefe 6–9 m) weiter entwickelt. Dieser Anlagentyp stellt nunmehr in den Waldgebieten der beiden übrigen Hauptinfiltrationsgebiete die Standardbauweise für die Infiltrationsorgane dar. Sie können ohne flächenhafte Rodungen zwischen dem Baumbestand niedergebracht werden.

Neben dem Sickerschlitzgraben und seiner modifizierten Bauform, den großkalibrigen Einzelbohrungen, haben andere Verfahren zur Grundwasseranreicherung wie Schluckbrunnen oder Gräben (ehemalige Entwässerungsgräben) auch zukünftig wohl eher eine untergeordnete Bedeutung. Dennoch werden weitere Erfahrungen mit diesen Organen sowohl mit detaillierten Unter-

suchungen als auch im praktischen Betrieb gesammelt, um zielgerichtet auf künftige Entwicklungen im Rahmen der Grundwasserbewirtschaftung reagieren zu können.

Die Baukosten der Gesamtmaßnahme werden zu 80 % durch Beihilfen des Bundes und des Landes sowie zu 20 % durch Eigenmittel (Darlehen) gedeckt. Insgesamt werden Baukosten von 310 Mio DM erwartet, von denen bisher 290 Mio DM (seit 1977) investiert wurden.

Mit der Inbetriebnahme der Grabensysteme zur Grundwasseranreicherung konnte die Auslastung der Anlagen im Jahr 1993 auf 26 % (11,2 Mio m<sup>3</sup>) und im Jahr 1994 auf 42 % (18 Mio m<sup>3</sup>) gesteigert werden. Durch die Einstellung der Infiltration im Bereich Eschollbrücken im Januar 1995 konnte dieses Niveau allerdings nicht gehalten werden und fiel im Jahre 1995 mit 27 % (11,8 Mio m<sup>3</sup>) wieder auf die Abgabe des Jahres 1993 zurück. Die geringe Auslastung hat unmittelbar Auswirkungen auf die Gesteungskosten des Wassers, die sich aus dem Anteil der festen Kosten von 80–85 % und der reinen Betriebskosten (Gewinnung, Aufbereitung, Verteilung) von 15–20 % zusammensetzen. So erstaunt es nicht, daß sich der Gesteungspreis von 1,15 DM/m<sup>3</sup> bei einer Auslastung von 26 % in 1993 (11,2 Mio m<sup>3</sup>) auf 0,83 DM/m<sup>3</sup> bei einer Auslastung von 42 % in 1994 (18 Mio m<sup>3</sup>) reduziert.

Die laufenden Kosten werden zu etwa 95 % von den durch die Infiltration bevorteilten Grundwasserförderer aufgebracht. Nicht nur aus wasserwirtschaftlichen sondern auch aus finanziellen Gründen muß daher eine auf Dauer gesicherte Auslastung der Anlagen erreicht werden.

## 7. Schriftenverzeichnis

- DVGW, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (1996): Wassergewinnung und Wasserwirtschaft: 451–480, 15 Abb.; München-Wien (R. Oldenbourg).
- HANTKE, H. (1981): Vergleichende Bewertung von Anlagen zur Grundwasseranreicherung. – Diss. TH Darmstadt: 368 S., 209 Abb., 16 Tab.; Darmstadt.
- HLfU, Hessische Landesanstalt für Umwelt (1994): Gewässergüte im Lande Hessen. – Hess. Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit: 29 S., 5 Kt.; Wiesbaden.
- HMUEJFG, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (in Vorb.): Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried (Stand 2. Halbjahr 1995). – Wiesbaden.
- RP, Der Regierungspräsident in Darmstadt (1985): Wasserwirtschaftlich-ökologische Gesamtplanung Ried. – 296 S., 72 Abb., 92 Tab., 14 Kt.; Darmstadt
- TRISCHLER & PARTNER (1992): Gutachterliche Überprüfung der ökologischen Verträglichkeit der Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried unter Verwendung von aufbereitetem Rheinwasser. – Unveröff. : 227 S., 1 Abb., 27 Tab.; Darmstadt.
- UBA, Umweltbundesamt (1994): Daten zur Umwelt 1992/1994. – 688 S.; Berlin (Erich Schmidt).

Überarbeitetes Manuskript eingegangen am 22. 7. 1996, angenommen am 19. 8. 1996.

FRED ROSENBERG & GEORG MITTELBACH\*

# Geogene Arsenanreicherungen im Wiesbadener Bergkirchenviertel

## Kurzfassung

Im Wiesbadener Bergkirchenviertel (nördliches Stadtzentrum) wurden bei umwelttechnischen Untersuchungen erhöhte Arsengehalte in der Auffüllung und den darunter anstehenden Schichten festgestellt.

Der Frage nach Herkunft und Verbreitung der erhöhten Arsengehalte wurde mit einem Sondierprogramm (24 Bohrungen, 114 Analysen) nachgegangen.

Gemäß dem generalisierten Schichtaufbau, der aus vordevonischem Serizitgneissockel, Tertiär

des Mainzer Beckens, altquartärer Talstufe, Löß und künstlicher Auffüllung besteht, werden fünf Stoffgruppen unterschieden. Vorrangige Träger des Arsens sind sandig-kiesige Quartärsedimente. Im Nahbereich der Auflagerung von sandig-kiesigem Quartär über ältere Einheiten, nämlich vordevonischer Serizitgneiszersatz und tertiäre Sedimente, sind auch diese betroffen.

Die flächenhafte Verbreitung der erhöhten Arsengehalte weist auf eine geogene Herkunft.

Es wird eine nach Ablagerung der sandig-kiesigen Quartärsedimente erfolgte Imprägnierung mit arsenhaltigen Eisenoxidhydraten angenommen, die durch früheren Zutritt von arsenführendem Thermalwasser aus dem Wiesbadener Quellsystem ausgefällt wurden.

Eine geringfügige rezente Mobilisierung und zum Teil Wiederausfällung von Arsen durch Sickerwasser wurde festgestellt.

## Abstract

The land fill and the underlying geological units of the Bergkirchen quarter, Wiesbaden, Germany, show increased arsenic concentration levels.

24 wells and 144 chemical analyses were used for identifying the source and the spatial distribution of this anomaly.

The generalized geological structure consists of a pre-Devonian seri-

cite gneiss basement, Tertiary sediments of the Mainzer Becken, lower Quarternary valley fill, loess, and artificial land fill. It can be broken down into five material classes. The Quarternary sediments are the primary bearer of the arsenic. Older units, i.e. the sericite gneiss and the Tertiary sediments, are contaminated in the direct contact zone, only.

The wide-spread distribution of

the increased arsenic concentration levels indicates a natural origin. It can be assumed that the Quarternary sands and gravels were impregnated with arsenic-rich Fe-oxide minerals which were precipitated from waters of the Wiesbaden hydrothermal source systems. In recent times, the arsenic was slightly mobilised and partly reprecipitated.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	176
2. Untersuchungsgebiet	178
2.1. Lage und Morphologie	178
2.2. Geologie und Hydrogeologie	178
2.3. Thermalquellen	180
3. Regionale Arsen-Hintergrundgehalte	181
3.1. Serizitgneis und überlagernder Boden	181
3.2. Taunusquarzit und überlagernder Boden	181
3.3. Devonischer Schlufftonschiefer und überlagernder Boden	181

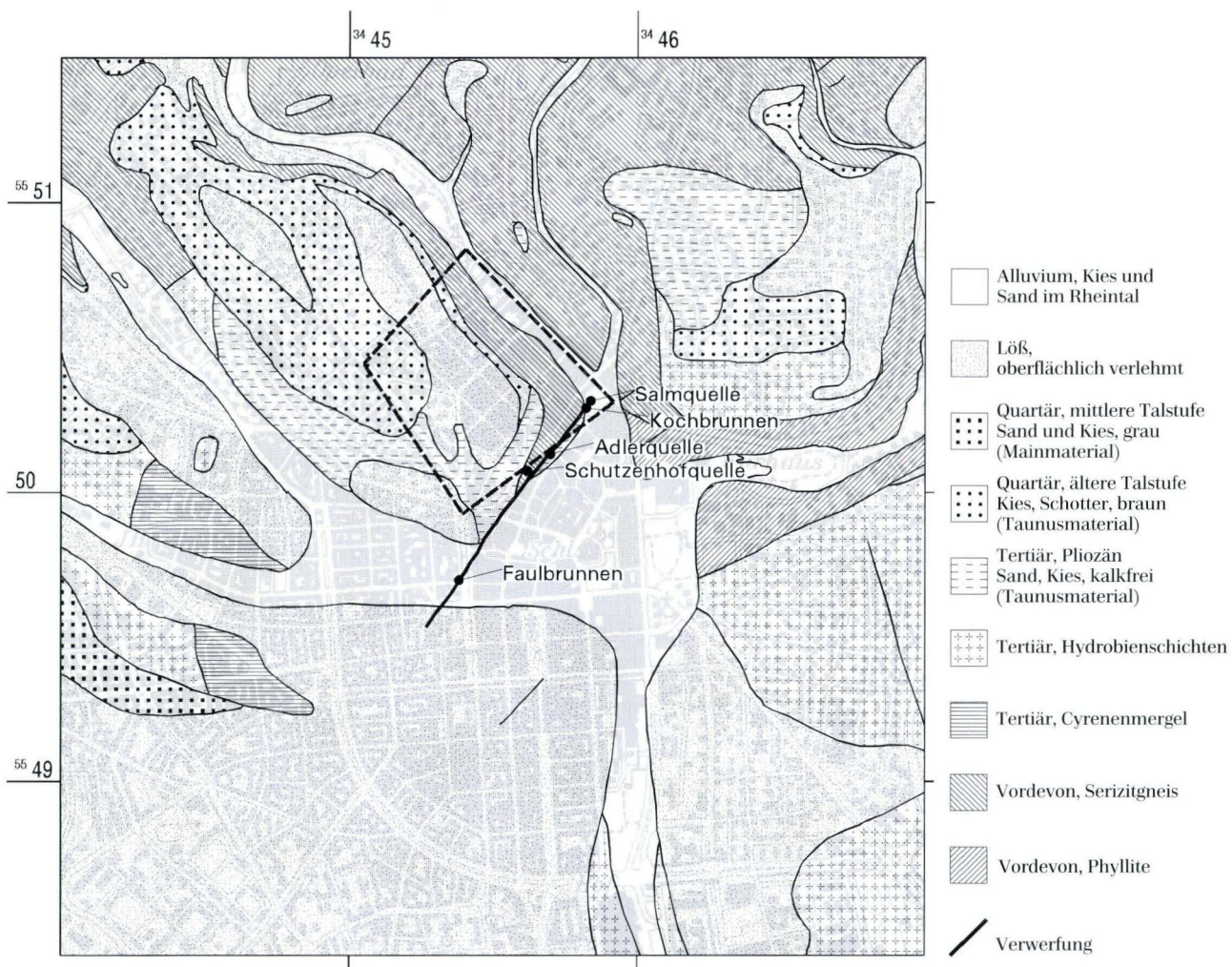
\* Dr. F. ROSENBERG, Dr. G. MITTELBACH, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 65193 Wiesbaden

3.4. Tertiäre Sedimentgesteine	181
3.5. Löß	182
4. Arsengehalte der geologischen Einheiten	182
4.1 Serizitgneis	183
4.2. Tertiäre Sedimente	183
4.3. Sandig-kiesige quartäre Sedimente	183
4.4. Schluffige quartäre Sedimente	187
4.5. Auffüllung	187
4.6. Sonderproben	187
5. Diskussion und Schlußfolgerungen	187
6. Schriftenverzeichnis	189

## 1. Einleitung

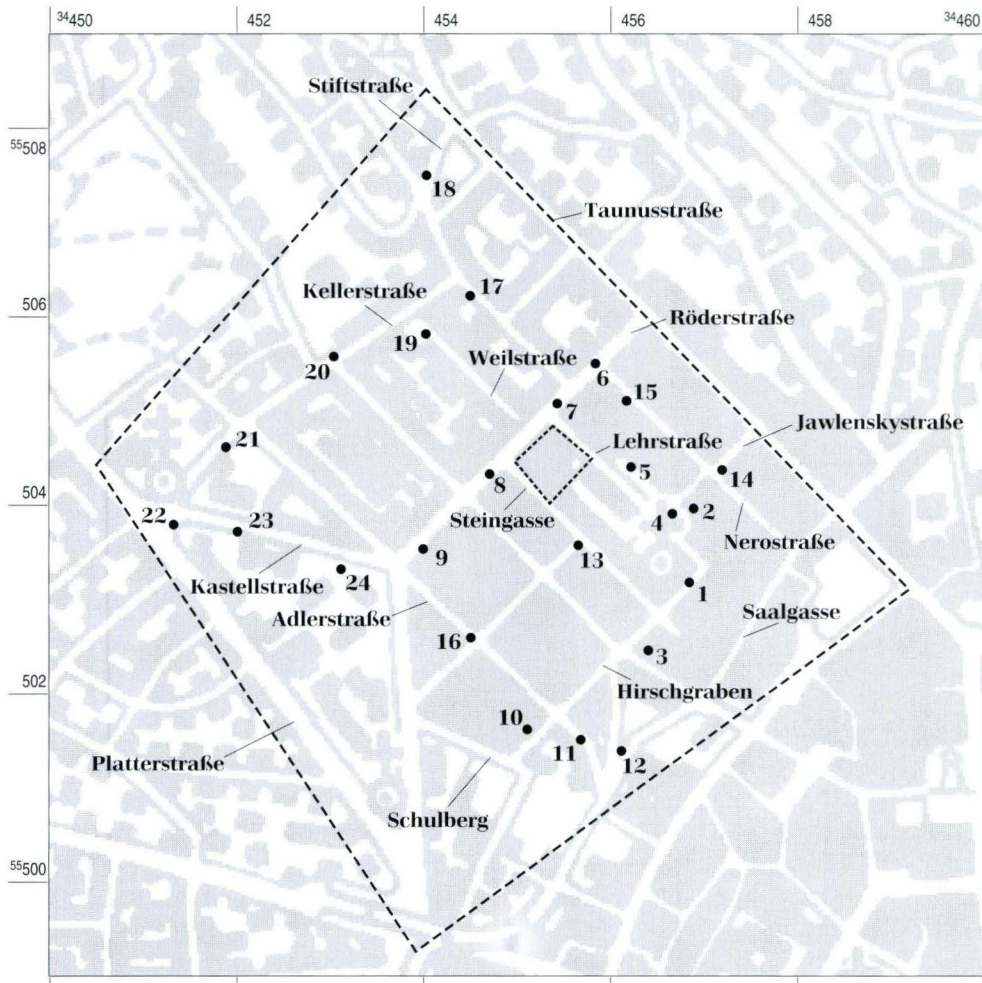
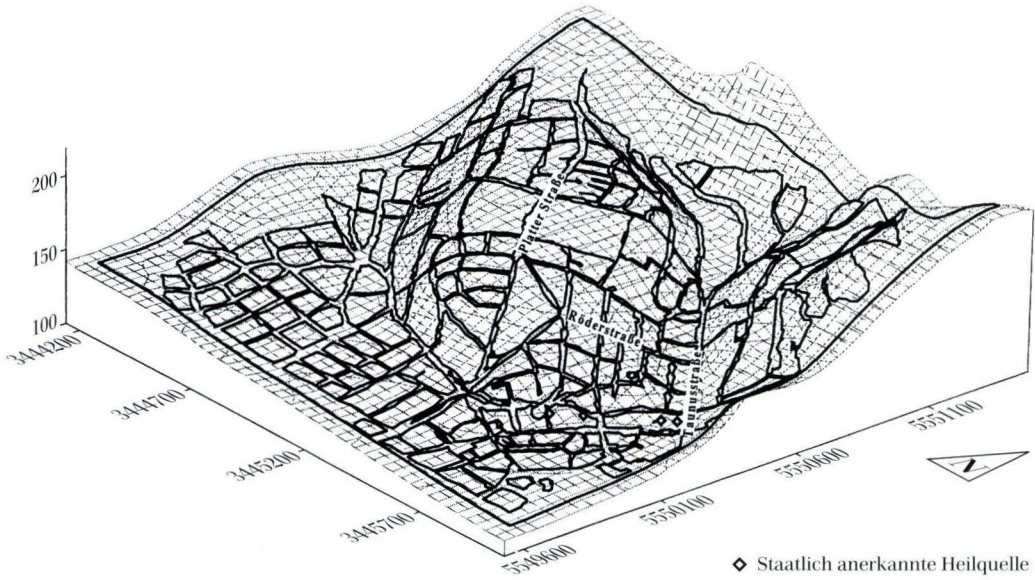
Umwelttechnische Untersuchungen im Vorfeld einer Sanierungsmaßnahme im nördlichen Wiesbadener Stadtzentrum, dem Bergkirchenviertel (Abb. 1 und 2),

ergaben erhöhte Arsenkonzentrationen im Untergrund (Infutec 1993a, b, Landeshauptstadt Wiesbaden 1993, Hydrodata 1994).



**Abb. 1.** Geologische Karte für den nördlichen Bereich von Wiesbaden mit der Lage des Untersuchungsgebietes (gestrichelt) und der staatlich anerkannten Heilquellen; (Ausschnitt aus: Geologische Karte von Hessen 1:25 000, Blatt 5915 Wiesbaden); Grundlage: Topographische Karte 1:50 000 des Hessischen Landesvermessungsamtes Wiesbaden, Verv.-Nr. 94-3-3.

Geogene Arsenanreicherungen im Wiesbadener Bergkirchenviertel



**Abb. 2.** Oben: Topographie des Untersuchungsgebietes.  
 Unten: Lage der Sondierbohrungen innerhalb des Untersuchungsgebietes (gestrichelt). Die bereits im Vorfeld niedergebrachten Sondierungen liegen innerhalb des gepunkteten Rechtecks; Grundlage: Topographische Karte 1:50 000 des Hessischen Landesvermessungsamtes Wiesbaden, Verv.-Nr. 94-3-3.

Es wurden in der Feststoffanalyse von Proben aus der Auffüllung und dem ungestörten Untergrund Arsengehalte bis zu 400 mg/kg bzw. 1 423 mg/kg festgestellt.

Im Zusammenhang mit der Beurteilung bei Baumaßnahmen anfallenden Erdaushubmaterials hinsichtlich Verwertbarkeit oder Beseitigung wurde die Frage nach der Herkunft des Arsens im Boden gestellt. Durch das Hessische Landesamt für Bodenforschung (HLfB) war deshalb zu klären, ob die erhöhten Arsenkonzentrationen anthropogenen oder geogenen Ursprungs sind und ob möglicherweise ein Zusammenhang mit den unmittelbar benachbarten und bekanntermaßen arsenführenden Wiesbadener Thermalquellen (Abb. 1) besteht.

Auf Veranlassung des Umweltamtes der Stadt Wiesbaden war der Bereich Steingasse-Röderstraße-Lehr-

straße (Abb. 2) durch Ingenieurbüros abgebohrt und die entnommenen Proben untersucht worden. Die Gutachten nebst Laborergebnissen wurden in die Auswertung der vorliegenden Untersuchung integriert.

Vom HLfB wurden zusätzlich 24 Sondierbohrungen (Lage siehe Abb. 2) sowie zwei Vergleichssondierungen außerhalb des Bergkirchengebietes niedergebracht. Ferner wurden 10 Sonderproben aus Tagesaufschlüssen, Baugruben und Archivmaterial des HLfB zusammengestellt.

Insgesamt 114 horizontspezifisch und lückenlos entnommene Proben wurden im Labor des HLfB auf Arsen in der Bruttoprobe analysiert (Aufschluß nach DIN 38414 Teil 7 [Königswasser], Bestimmung nach DIN 38405 Teil 18 [AAS mit Hydridsystem]).

## 2. Untersuchungsgebiet

### 2.1. Lage und Morphologie

Das Untersuchungsgebiet liegt im nördlichen Stadtzentrum von Wiesbaden und erstreckt sich zwischen Platter Straße und Taunusstraße an der NE-Flanke einer walrückenartigen Erhebung, die als Ausläufer des Vordertaunus nach SE in das Stadtgebiet hineinragt (Abb. 2). Die Begrenzung nach SE ist die Lage der Wiesbadener Heilquellen. Der maximale Höhenunterschied beträgt ca. 50 m, die Quellenspalte bildet den tiefsten Punkt mit ca. 120 m über NN. Das Untersuchungsgebiet ist seit der Jahrhundertwende mit Wohnhäusern und Kleingewerbebetrieben bebaut.

### 2.2. Geologie und Hydrogeologie

Das Untersuchungsgebiet zeigt die wichtigsten Hauptoberflächenformen der Region: Das "wellige Hüggelland" gegen den Taunus und die jüngeren Eintalungen (LEPPLA & STEUER 1971).

Der Südrand des Rheinischen Schiefergebirges reicht als Sockel vordevonischen Serizitgneises im Norden Wiesbadens in das Bergkirchenviertel herein. Ihm folgen tertiäre Sedimente des Mainzer Beckens, quartäre Sande und Kiese, Löß bzw. Lößlehm und schließlich junge Talfüllungen (Abb. 1). Das Gebiet schließt sich unmittelbar nordwestlich an die SW-NE-streichende Wiesbadener Thermalquellenspalte an.

Die in fünf geologische Einheiten zusammengefaßte Schichtenfolge sämtlicher ausgewerteter Bohrungen ist als Säulendarstellung in Abb. 3 zusammengestellt.

Im Untersuchungsgebiet kommt der vordevonische **Serizitgneis** in einem ca. 100 m breiten NW-SE parallel

der Taunusstraße verlaufenden Streifen der Geländeoberfläche nahe. In unmittelbarer Nähe der Quellenspalte verbreitert sich das Vorkommen nach SW und taucht dann rasch unter das Tertiär ab. Auf den Grundstücken der mittleren Saalgasse tritt frischer Serizitgneis zutage aus (hier dürfte es sich um durch Gebäudeabrieb wieder freigelegte Teilbereiche historischer Steinbrüche handeln). Unter der Einheit "Serizitgneis" sind in den Auswertungen auch solche Lockergesteine subsummiert, die aufgrund sandig-kiesiger Korngrößen und abgerundeter Komponenten geringfügig umgelagert und somit altersmäßig in das Quartär zu stellen sind, wenn das Material aus entfestigtem Serizitgneis besteht, was anhand der typisch blaßgrünen Farbe leicht festzustellen ist. Serizitgneis(zersatz) und die genannten Umlagerungsprodukte wurden in den Sondierbohrungen S2, S4, S5, S15, S17, S19 und S20 (Abb. 2) und in vier Fremdbohrungen entlang Lehr- und Nerostraße, zumeist unter Auffüllung, aber auch unter schluffigen und sandig-kiesigen quartären Sedimenten erbohrt.

**Tertiär** fingert in der geologischen Karte (Abb. 1) als SSW-NNE-erstreckter Streifen pliozäner Sande und Kiese in das Untersuchungsgebiet ein und keilt unmittelbar an der Bergkirche aus. Unter quartärer Überdeckung ist Tertiär im Untersuchungsgebiet weit verbreitet. Tertiäre Schichten, deren stratigraphische Einstufung oft unsicher ist, wurden in den Sondierbohrungen S1, S3, S10, S13 und S21 sowie zwei Fremdbohrungen in der Steingasse angetroffen, aber nicht durchbohrt. Im SE des Untersuchungsgebietes, hangabwärts gegen die Saalgasse hin, streichen offenbar auch präpliozäne Sedimente aus (wahrscheinlich Hydrobienschichten in S1 und S10).

Noch tiefer, auf dem Niveau der Saalgasse, ist schließlich die diskordante Auflagerung eines quarzitisches Feinsandsteins mit reichlich Pflanzenresten über Serizitgneis aufgeschlossen, wobei es sich wahrscheinlich um Cerithienschichten in Randfazies handelt (mündl. Mitt., E. KÜMMERLE 1995).

Das älteste quartärzeitliche Sediment im Untersuchungsgebiet ist die "ältere Talstufe" (des Rheintals) in Form von Kies und Schotter (vgl. Abb. 1). In der Säulendarstellung der Bohrerergebnisse (Abb. 3) werden sie unter **sandig-kiesige quartäre Sedimente** eingruppiert. Es handelt sich um eine vormals größere, zusammenhängende fluviatile Schotterfläche am Zusammenfluß von Schwarz-(Nero-) und Rambach, die über die austreichenden präquartären Einheiten, nämlich Vordevon und Pliozän, geschüttet wurde. In der geologischen Karte (Abb. 1) stellt sich die oberflächliche Verbreitung der sandig-kiesigen quartären Sedimente deutlich zweigeteilt dar: ein rundlich begrenzter Lappen, der von NW her bis etwa an das alte Krankenhaus vordringt (bestätigt durch die Sondierbohrungen S21 bis S23), und ein schmaler, NW-SE-streichender Streifen etwa im Bereich Weilstraße-Steingasse, der vor der Bergkirche nach Süden abbiegt und auskeilt (bestätigt durch S1, S4, S8, S11 und S15). Das Sediment besteht aus schluffigem Sand und Kies, z.T. auch Schluff mit Kies- und Sandanteil, und ist meist deutlich gelbbraun gefärbt.

Das Gebiet der Voruntersuchungen, Steingasse-Röderstraße-Lehrstraße, liegt im Übergangsbereich Vordevon-Quartär. Den sandig-kiesigen quartären Sedimenten folgt unmittelbar hangaufwärts Löß, der in den Säulendarstellungen der Abb. 3 unter "schluffreiche quartäre Sedimente" eingruppiert wurde. Da der Löß im Hangbereich Fremdmaterial aufnimmt und dadurch sandig und kiesig werden kann ("Uferlöß"), ist im Bereich der geologischen Grenze zwischen älterer Talstufe und Löß keine scharfe petrographische Trennung möglich. Bei der Auswertung der Schichtenverzeichnisse der hier angesiedelten Fremdbohrungen wurde ab dem Auftreten von Mittelsand im Sediment eine Einstufung als "sandig-kiesiges quartäres Sediment" vorgenommen, während mittelsand-, grobsand- und kiesfreie Schichten als dem Löß nahestehende "schluffreiche quartäre Sedimente" in die Auswertung eingingen.

Das vorherrschende **schluffreiche quartäre Sediment** ist der Löß. Er bedeckt als kaltzeitlich-äolisches Sediment vorwiegend nach Osten abgedachte Hänge. In den Säulendarstellungen der Bohrungen (Abb. 3) sind ferner unter dieser Bezeichnung auch Lößlehm sowie holozäne Umlagerungsprodukte, nämlich Schwemmlöß, Hanglehm und Altaufluffüllungen, zusammengefaßt.

Als Einheit der geologischen Karte (Abb. 1) bedeckt Löß etwa die SW-Hälfte des Untersuchungsgebietes; schluffreiche quartäre Sedimente sind in geringerer

Mächtigkeit - und daher nicht dargestellt - auch andernorts verbreitet. Die größten Mächtigkeiten erreichen Löß und Lößlehm in den Sondierbohrungen S16 (größer 8,55 m) und S24 (größer 7,50 m) in der oberen Adler- bzw östlichen Kastellstraße. Hangabwärts zur Taunusstraße hin nehmen die Mächtigkeiten der schluffreichen quartären Sedimente zunächst ab oder setzen sogar, wie in der Kellerstraße, gänzlich aus, um mit Annäherung an den Hangfuß wieder, hier als Schwemmlöß, zuzunehmen (S6 und S18). Das jüngste erbohrte Quartärsediment schließlich ist die breiige Altaufluffüllung des engeren Schwarzbachtals in der Jawlenskystraße (S14).

Sämtliche Sondierbohrungen (mit der Ausnahme einer Fremdbohrung, die in einer Grube angesetzt war und unter Beton unmittelbar auf sandig-kiesiges Quartär stieß) trafen **Auffüllung** an. Es handelt sich im Bergkirchengebiet um ein teilweise bis über 3m mächtiges, sehr heterogenes, mit unterschiedlichen Anteilen anthropogenen Materials durchsetztes kalkhaltiges Stoffgemisch, das im oberen Bereich vielfach durchwurzelt ist und in den humosen Oberboden übergeht. Ziegelbruch, untergeordnet auch Schlackenstücke, sind häufig, können aber ebenso gänzlich fehlen. In einem Fall wurde eine durchgehende Packlage aus schwarzer Schlacke angetroffen (Parkplatz Kastellstraße, S24). Vielfach kann Wiedereinbau von örtlichem Aushub angenommen werden (Löß und Schwemmlöß, im nördlichen Untersuchungsgebiet [S17-S20] sehr viel entfestigter Serizitgneis), teilweise dürfte auch Material von außerhalb für Bau- und Befestigungsmaßnahmen herangebracht worden sein.

Hydrogeologisch bedeutsam sind lediglich die quartären Talfüllungen, die einen mehr oder weniger zusammenhängenden Grundwasserleiter bilden. Dieser bildet gleichzeitig die Vorflut für die entsprechend der Morphologie (Abb. 2) von NW kommenden Sickerwässer (Mineralwasser und Grundwasser) und führt das Wasser nach Süden, in Richtung Rhein, ab. **Grundwasser** wurde nur in den Sondierbohrungen S14, S15 und S18 entlang dem Schwarzbachtal angetroffen. Wasserproben konnten nicht entnommen werden.

In den anderen geologischen Einheiten ist lediglich mit lokal verbreiteten oder schwebenden Sicker- oder Grundwässern zu rechnen. Teilweise können die quartären Kiese und Sande mit ihren guten Durchlässigkeiten als lokale Grundwasserleiter fungieren. Grundwassermeßstellen oder Brunnen sind nicht vorhanden.

Aufgrund der Ergebnisse in den Bohrungen muß die verwitterte Oberkante des Serizitgneises als wasserstauer Horizont angesehen werden, auf dem Sickerwässer abfließen.

### 2.3. Thermalquellen

Am Rande des Taunus-Südrandes mit einem Streichen von 60°–65° existieren von Rüdesheim im SW bis Bad Nauheim im NE Thermal- und Mineralwasservorkommen. Hierbei handelt es sich meistens um Na-Cl-Wässer mit erheblichen Konzentrationen an gelösten Salzen (z.B. Bad Nauheim 34 g/l, Bad Homburg 17 g/l und Wiesbaden 8,8 g/l; MICHELS 1966).

Von dieser Haupttrichtung fiedert in Wiesbaden ein weiteres Spaltensystem ab, es streicht mit ca. 35°. Auf diesem System, das im Serizitgneis verläuft, steigen auf einer Linie die Hauptquellen ("Primärquellen") Salmquelle, Kochbrunnen, Adlerquelle, Schützenhofquelle und der Faulbrunnen auf (Abb. 1). Der Auftrieb der Quellen erfolgt hydrostatisch, thermisch und zum Teil durch CO<sub>2</sub> unterstützt. Die Druckspiegelhöhen liegen bis 3 m über Gelände. Der Lösungsinhalt sowie die Temperatur nehmen von NE nach SW ab. Einen Überblick über die physikalischen und chemischen Eigenschaften

der Quellen gibt Tab. 1. Von Bedeutung für die Untersuchungen sind die Arsengehalte der Wiesbadener Thermalquellen. Die höchsten Arsenkonzentrationen wurden bei der Salmquelle mit 0,155 mg/l Arsen, die geringsten beim Faulbrunnen mit 0,05 mg/l gemessen (Kochbrunnen: 0,105 mg/l, Adlerquelle: 0,12 mg/l; Schützenhofquelle: 0,07 mg/l). Aufgrund der Arsenkonzentrationen und der geographischen Lage spielt der Faulbrunnen für die hier angestellten Überlegungen keine Rolle.

Die freien Austritte der Quellen, es hatten sich durch ausgefällte Karbonate im Laufe der Zeit "Aufstiegsröhren" gebildet, wurden in den Jahren 1953–1970 durch Bohrungen gefaßt. Hierbei zeigte sich, daß die Aufstiege an die Bereiche gebunden sind, bei denen Querstörungen die Hauptverwerfung schneiden.

Es ist davon auszugehen, daß sich diese Störungszone in ein System paralleler Haupt- und Nebenspalten unterteilt, die untereinander durch querschlägige Spalten hydraulisch verbunden sind. Hinweise, daß nicht nur eine einzige "Hauptthermalspalte" heißes, mineralisiertes Wasser artesisch auslaufen läßt, wurden bei Baumaßnahmen im Untersuchungsgebiet gefunden. Diese Austritte lagen z.T. morphologisch höher (nordwestlich) als die heutige Hauptspalte. Bereits SANDBERGER (1861) berichtet über Thermal- und Mineralwasservorkommen nordwestlich der Hauptquellenspalte. Oberflächennah finden sich heute keine Beweise für frei auslaufende Thermal- oder Mineralwasservorkommen nordwestlich der Hauptquellenspalte.

Südöstlich der Hauptquellenspalte wird an vielen Stellen Thermal- und Mineralwasser gefördert. Dieses kommt nicht nur auf den bekannten Spalten empor, sondern sickert an vielen anderen Stellen in die den Serizitgneis überlagernden Sande und Kiese und fließt dem natürlichen Gefälle folgend nach SE ab. Dieses Wasser, Mineralwasser mit natürlichem Grundwasser vermischt, wird südöstlich der staatlich anerkannten Heilquellen ebenso gefaßt und genutzt. Diese Quellen werden als "Sekundärquellen" bezeichnet, da sie fast ausschließlich Überlaufwasser aus dem Hauptspaltensystem enthalten.

In von Mineralwässern unbeeinflussten Wässern können allgemein Arsenkonzentrationen um 0,01 mg/l auftreten, besonders dann, wenn der Grundwasserleiter aus Gesteinen aufgebaut wird, in denen Arsen natürlich in erhöhter Konzentration vorkommt. Dies können vor allem eisenhaltige Tone und Mergel sowie Buntsandstein und Flußsande sein. In Thermalwässern hingegen können Arsenkonzentrationen bis zu mehreren Milligramm pro Liter auftreten, z.B. in der Maxquelle von Bad Dürkheim mit ca. 13 mg/l.

**Tab. 1.** Auszug aus der Heilwasseranalyse der staatlich anerkannten Heilquellen von Wiesbaden (Analysen: Fresenius, Okt. 1986)

		Faulbrunnen	Schützenhofquelle	Große Adlerquelle	Salmquelle	Kochbrunnen
Feststoffe	[mg/l]	4761	6666	8463	8300	8383
Temperatur	[°C]	17,4	49,3	65,1	64,2	67,3
pH-Wert		6,3	6,14	6,05	6,1	6,1
El. Leitfähigkeit	[µS/cm]	7730	10900	13700	13100	13500
Kationen						
Lithium	[mg/l]	4,4	4	3,3	3,1	3,3
Natrium	[mg/l]	1395	2047	2654	2597	2625
Kalium	[mg/l]	62,0	84,6	88,7	88,8	88,0
Rubidium	[mg/l]	0,46	0,45	0,48	0,49	0,49
Cäsium	[mg/l]	0,033	0,34	0,37	0,41	0,39
Ammonium	[mg/l]	1,9	4,3	5,6	5,5	5,4
Magnesium	[mg/l]	29,7	34,2	47,0	46,8	47,0
Calcium	[mg/l]	240	30,2	343	337	341
Strontium	[mg/l]	12,5	14,6	15,5	15,3	15,3
Barium	[mg/l]	0,16	0,24	0,53	0,50	0,87
Mangan	[mg/l]	0,22	0,23	0,43	0,37	0,38
Eisen	[mg/l]	0,9	1,05	2,8	2,6	2,9
Anionen						
Fluorid	[mg/l]	0,63	0,67	0,56	0,58	0,59
Chlorid	[mg/l]	2485	3600	4580	4480	4530
Bromid	[mg/l]	2,5	3,6	4,2	4,0	4,1
Iodid	[mg/l]	0,022	0,04	0,04	0,04	0,04
Sulfat	[mg/l]	98,6	114,0	67,8	68,0	68,9
Hydrogenphosphat	[mg/l]	0,08	0,16	0,22	0,20	0,20
Hydrogenarsenat	[mg/l]		0,14	0,22	0,29	0,20
Hydrogencarbonat	[mg/l]	348	384	567	567	567
Gase						
Stickstoff	Vol.-%		72,1	24,9	36,6	63,7
Kohlenstoffdioxid	Vol.-%		26,2	70,6	60,2	22,4



### 3. Regionale Arsen-Hintergrundgehalte

Als Hintergrundgehalte werden regionaltypische Stoffkonzentrationen bezeichnet, die bei der Identifizierung und Bewertung lokaler Anomalien oder Belastungsherde zu berücksichtigen sind. Sie beinhalten die gesteins- und bodensubstratabhängigen geogenen Grundgehalte und ubiquitäre diffuse anthropogene Einträge.

Nach Literaturangaben in ADRIANO (1986) betragen die weltweit durchschnittlichen As-Konzentrationen magmatischer Gesteine 1,5 mg/kg, während Kalksteine 2,6 mg/kg und Sandsteine 4,1 mg/kg enthalten. Schieferige Gesteine führen mit weltweit durchschnittlich 14,5 mg/kg deutlich mehr Arsen. Diese Gesetzmäßigkeit bestätigt sich bei der Betrachtung der geogenen Arsen-Grundgehalte der Region Wiesbaden. Punktueller Untersuchungsergebnisse des HlFB (Röntgenfluoreszenzanalysen von Gesteinen und Böden), die die im Untersuchungsgebiet Bergkirchenviertel auftretenden geologischen Einheiten oder aber deren Liefergesteine beinhalten, erlauben die Angabe von Arsen-Hintergrundgehalten, die auf das Untersuchungsgebiet i.e.S. übertragbar sind.

#### 3.1. Serizitgneis und überlagernder Boden

Die Arsengehalte eines natürlichen Bodenprofils über Serizitgneis (Ranker, Waldstandort) aus dem Goldstein tal westlich Wiesbaden-Rambach zeigt Tab.2.

**Tab. 2.** Arsengehalte Ranker über Serizitgneis  
Lage: TK 25 Bl. 5815 Wehen, R 34 47 30 H 55 53 44

Bodenhorizont	Beschreibung	Arsengehalt [mg/kg]
Ah	humoser Oberboden aus lößlehmhaltiger quartärer Decklage	13
Ahe	humoser, gebleichter Oberboden aus lößlehmhaltiger quartärer Decklage	14
mCn	anstehender vordevonischer Serizitgneis	<3

#### 3.2. Taunusquarzit und überlagernder Boden

Die unterdevonischen Gesteine des Taunus, vor allem Quarzit und Schlufftonschiefer, sind im Untersuchungsgebiet Bergkirchenviertel selbst nicht anzutreffen. Sie determinieren jedoch mit ihren Grundgehalten diejenigen der fluviatilen Pliozän- und Quartärsedimente des Untersuchungsgebietes, weil sie die Liefergesteine sind. Die Arsenkonzentrationen eines Bodenprofils

über Taunusquarzit am Steinhäufen nahe der "Platte" nördlich Wiesbaden sind in Tab. 3 zusammengestellt. Der mit 17 mg/kg deutlich gegenüber anstehendem Gestein und Unterboden erhöhte Arsen-Gehalt des humosen Oberbodens reflektiert die an diesem Standort begünstigte atmosphärische Deposition anthropogener Stoffe, die für solche Kammlagen typisch ist.

**Tab. 3.** Arsengehalte Podsol-Braunerde über devonischem Taunusquarzit  
Lage: TK 25 Bl.5815 Wehen, R 34 44 87 H 55 55 76

Bodenhorizont	Beschreibung	Arsengehalt [mg/kg]
Ah	humoser Oberboden aus lößlehmhaltiger quartärer Decklage	17
Ahe	humoser, gebleichter Oberboden aus lößlehmhaltiger quartärer Decklage	8
Bvs	sesquioxidangereicherter Unterboden aus lößlehmhaltiger quartärer Decklage	4
mCn	anstehender devonischer Taunusquarzit	<3

#### 3.3. Devonischer Schlufftonschiefer und überlagernder Boden

Tab. 4 führt Arsengehalte eines Braunerdeprofils über devonischem Schlufftonschiefer am Schmallberg südöstlich Bechtheim/Hintertaunus auf.

**Tab. 4.** Arsengehalte Braunerde über devonischem Schlufftonschiefer  
Lage: TK 25 Bl. 5715 Idstein, R 34 42 26 H 55 70 40

Bodenhorizont	Beschreibung	Arsengehalt [mg/kg]
Ah	humoser Oberboden aus lößlehmhaltiger quartärer Decklage	11
Bv	verwitterter Unterboden	7
IllCv	gesteinschutteiche Basislage	10
mCn	anstehender devonischer Schlufftonschiefer	8

#### 3.4. Tertiäre Sedimentgesteine

Im Untersuchungsgebiet treten, besonders im Süden, oberflächennah pliozäne Sedimentgesteine auf; im Untergrund sind auch ältere, untermiozäne Schichten aufgeschlossen bzw. wurden erbohrt. Repräsentative, vergleichbare Proben dieser Gesteine wurden im Rhein-Main-Gebiet u.a. auf Arsen untersucht (Tab. 5).

**Tab. 5.** Arsengehalte tertiärer Sedimentgesteine aus dem Rhein-Main-Gebiet

Quelle: ROSENBERG (1993, Röntgenfluoreszenzanalysen)

Stratigraphie	Gestein	Arsengehalt [mg/kg]
Pliozän	Kies	<3
	Ton	12
Miozän	Hydrobenton	32
	Hydrobienkalk	7
	Inflaten(Corbicula)-Kalk	19
Oligizän/Miozän	Cerithienkalk	8

### 3.5. Löß

Über Arsengehalte anthropogen unbeeinflusster hessischer Löss informiert Tab. 6. Die mittleren Gehalte

**Tab. 6.** Häufigkeitsverteilung der Arsengehalte hessischer Löss (32 Proben)

arithmetisches Mittel	8,63	mg/kg
geometrisches Mittel	8,44	mg/kg
Standardabweichung	1,798	mg/kg
kleinster Wert	5	mg/kg
größter Wert	13	mg/kg

liegen bei 8–9 mg/kg As; oberflächennah können sie durch Verlehmung (Entkalkung) etwas angereichert sein.

Lößlehm ist ubiquitärer Bestandteil der Böden. Die gegenüber dem Festgestein erhöhten Arsengehalte der Bodenprofile in Tab. 2 und 3 sind überwiegend auf Lößlehmbeimengung zurückzuführen. Die künstliche Auffüllung im Bergkirchengebiet enthält vielfach große Mengen Löß.

## 4. Arsengehalte der geologischen Einheiten

Die Arsengehalte [mg/kg] der aus den Sondierungen entnommenen Proben sind gemeinsam mit den Analysenwerten der Fremduntersuchungen in der synopti-

schen Säulendarstellung (Abb. 3) direkt an den entsprechenden Schichten aufgeführt. Tab. 7 informiert über die Arsengehalte der Sonderproben.

**Tab. 7.** Sonderproben

Probe	Lage	Rechts	Hoch	Beschreibung	Arsengehalt [mg/kg]
E 1	Baugrube Steingasse, ca. 2 m u. Gel.	3445524	5550433	Feinmittelsand, gelbbraun mit rostfarbenen -Flecken, kiesig, grobsandig, Kiese z.T mit Fe-Hydroxid verbackener Sand, locker, kalkfrei (vermutlich Pliozän)	300
E 2	Mittlere Saalgasse, Leergrundstück	3445726	5550277	Sand, auf anstehendem Serizitgneis, rötlichbraun, schwach kiesig, schwach schluffig, humos, durchwurzelt, locker, kalkfrei	1500
E 3	Mittlere Saalgasse, Leergrundstück	3445726	5550277	anstehende Feinsandsteinbank ca. 0.5 m ü. Serizitgneis, quarzitisch, weißgrau Pflanzenstengelröhren und -reste, fest, kalkfrei (Cerithienschichten)	35
E 4	Mittlere Saalgasse; Leergrundstück	3445726	5550277	wie vor, jedoch gelbbraun (durch Hangwasser mit Fe-Hydroxid imprägniert)	753
E 5	Spielplatz am Kochbrunnen, loser Block am Rand	3445813	5550290	Karbonatsinter, grau mit gelbbraunem Fe- Oxidhydratüberzug, kavernös, Pflanzenstengelröhren	280
E 6	Thermalquellenbereich, genaue Lage unbekannt			wie vor; jedoch keine deutlichen Pflanzenstengelröhren	313
E 7	Thermalquellenbereich, genaue Lage unbekannt			feinkristalline Pyritvererzung, gelbgrau mit verbräunten, brekzienartigen Nebengesteinsrelikten	5867
E 8	Neubau Tiefgarage Schulberg BK 22, 9,0–9,1 m Höhe Ansatzpunkt: 140,22 m NN	344545	555011	Ton, hellgrau, mit weißlichen Einlagen(Tertiär)	113
E 9	Neubau Tiefgarage Schulberg, BK 23, 13,5–13,6 m, Höhe Ansatzpunkt: 139,52 m NN	344544	555011	Braunkohle, sandig, pyritartig (Tertiär)	925
E10	Neubau Tiefgarage Schulberg, BK 28; 1,3–1,35 m, Höhe Ansatzpunkt: 136,08 m NN	344545	555009	Ton, hellgrau bis grau (Tertiär)	21

## 4.1. Serizitgneis

Der regionale geogene Arsen-Grundgehalt des unverwitterten Serizitgneises liegt wahrscheinlich allgemein unter 3 mg/kg (Abschnitt 3.1).

Im Untersuchungsgebiet führt der hier stark verwitterte und entfestigte, z.T. auch geringfügig umgelagerte Serizitgneis überwiegend erheblich höhere Arsengehalte. Entlang der Lehrstraße wurden einschließlich der Fremduntersuchungen Werte zwischen 46 mg/kg und 471 mg/kg gemessen (Abb. 2 und 3). Die beiden höchsten Werte stammen aus den Sondierbohrungen S2 und S4 und gehen mit einer leichten Braunfärbung des ansonsten blaßgrünen bis hellgrauen Serizitgneiszersatzes einher. Hangabwärts, in der Nerostraße, liegen die Arsengehalte mit 13 mg/kg bis 53 mg/kg niedriger. Im Bereich jenseits der Röderstraße, Sondierbohrungen S17–S20, wurden nur maximal 26 mg/kg gemessen, die kleinsten Konzentrationen liegen auch hier talabwärts mit 6 mg/kg (S18) und 3 mg/kg (S17) vor und nähern sich dem regionalen Grundgehalt.

Abb. 4 zeigt die nach geologischen Einheiten geordneten Arsengehalte der Proben in Histogrammdarstellung nebst einigen statistischen Grunddaten. Sowohl die Tatsache, daß das arithmetische Mittel des Serizitgneismaterials (das stark von Ausreißern beeinflusst wird) zweifach höher liegt als das geometrische Mittel (das im Idealfall dem häufigsten Wert entspricht) als auch die hohe Standardabweichung legen die Vermutung nahe, daß die vorliegende Verteilung nicht einem natürlichen Probenkollektiv aus einer homogenen stofflich-geologischen Einheit entspricht.

## 4.2. Tertiäre Sedimente

Die regionalen Arsen-Grundgehalte insbesondere toniger tertiärer Sedimente können gegenüber denen der anderen im Untersuchungsgebiet vorkommenden Gesteine etwas erhöht sein (Tab. 5). Auch unter Berücksichtigung dieser Tatsache zeigen die Proben aus dem Bergkirchengebiet überwiegend hohe Arsengehalte. Nur an 2 von 16 Proben wurden Konzentrationen kleiner 30 mg/kg festgestellt. Das geometrische Mittel beträgt 118 mg/kg, bei einer Streubreite von 21–925 mg/kg. Die Streubreite wird wesentlich, wie auch die übrigen statistischen Daten, von drei Extremwerten größer 750 mg/kg geprägt (Abb. 4).

Einer dieser Ausreißerwerte stammt von einer Braunkohlenlage im Bereich Schulberg (Probe E9, 925 mg/kg), die aus größerer Tiefe stammt (13,5–13,6 m u.Gel.) und primären Pyrit führt, der als synsedimentärer Arsenträger in Betracht kommt.

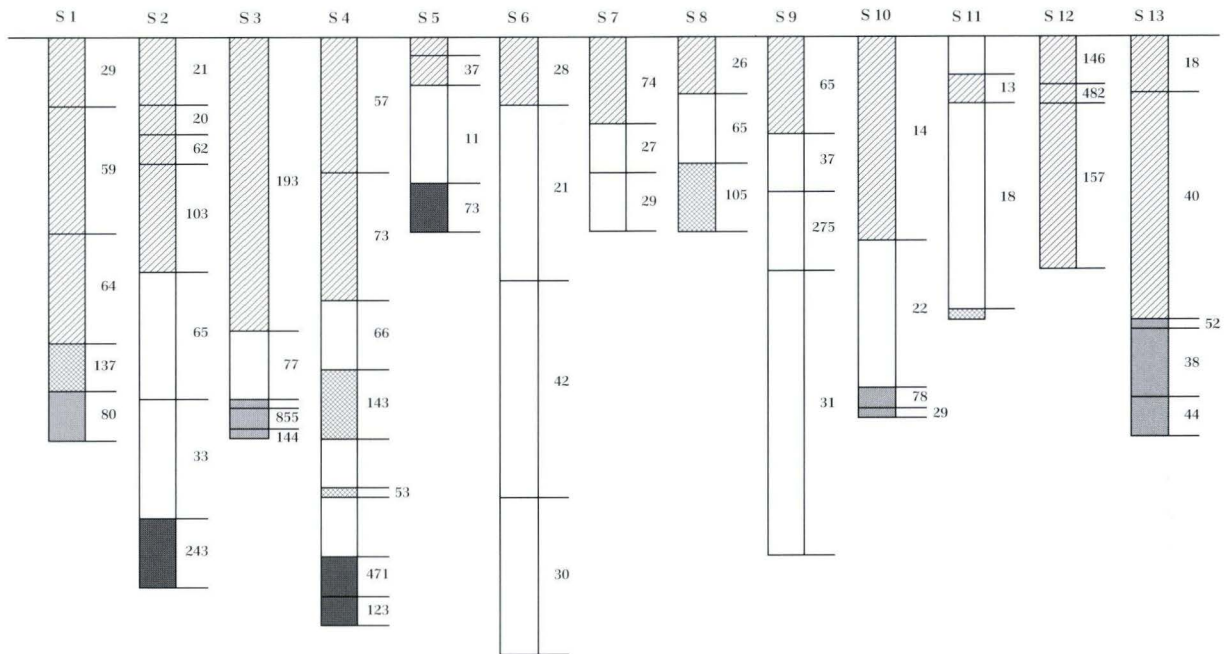
Die Proben E3 und E4 stammen vom rückwärtigen Teil der Grundstücke an der mittleren Saalgasse, wo Serizitgneis diskordant von Tertiär überlagert wird. Der quarzitisches Sandstein, vermutlich Cerithienschichten (vgl. Abschn.2.2.), führt 35 mg/kg Arsen (Probe E3). Probe E4 stammt aus einer wenige cm in das Gestein eingedrungenen gelbbraunen Eisenoxidhydrat-Imprägnierung, die mit Sicherheit ursächlich auf sporadisch aus der ca. 5 m aufragenden Geländestufe ausgetretenes Sickerwasser zurückgeht. Im imprägnierten Material wurden 753 mg/kg Arsen gemessen.

Einen mit 855 mg/kg ähnlich hohen und ebenfalls von einer gelblichbraunen Färbung begleiteten Arsengehalt zeigt eine 0,15 m mächtige steife Ton- und Schluffschicht aus Sondierbohrung S3 im Hirschgraben oberhalb der Saalgasse.

## 4.3. Sandig-kiesige quartäre Sedimente

Die sandig-kiesigen Sedimente des Bergkirchenviertels haben unter den hier unterschiedenen fünf stofflichen Einheiten die höchsten Arsengehalte (327 mg/kg arithmetisches Mittel; 163 mg/kg geometrisches Mittel). Ausgehend von einem Fallzahlmaximum um ca. 100 mg/kg zeigt das Histogramm eine regellose Streuung einzelner Proben bis zum Höchstwert von 1 940 mg/kg (Abb. 4). Als Liefergesteine des sandig-kiesigen fluviatilen Materials können vornehmlich arsenarme Schlufftonschiefer und Quarzite des Taunus angenommen werden (siehe 3.2. und 3.3.). Äquivalentes sandig-kiesiges Sediment wurde am Vergleichsstandort VI nordwestlich der Fasaneriestraße an-, wegen dichter Lagerung der Kiese jedoch nicht durchbohrt. Der Arsengehalt der Probe beträgt 29 mg/kg. Ähnlich niedrige Werte im Bergkirchengebiet wurden nur in Sondierbohrung S23 in der Kastellstraße angetroffen (24 und 28 mg/kg). Nur ca. 70 m westlich dieser Lokalität, in Sondierbohrung S22, wurde mit 1 940 mg/kg der höchste überhaupt im Bergkirchengebiet festgestellte Arsengehalt gemessen. Zugleich liegt diese Sondierbohrung am höchsten Punkt des Untersuchungsgebietes (Ansatzhöhe 166,5 m ü. NN).

Der Häuserblock Steingasse–Röderstraße–Lehrstraße wird in der oberen Hälfte voll von sandig-kiesigem Quartär eingenommen (siehe geologische Karte; Abb. 1). In diesem Bereich der Fremduntersuchungen wurden gehäuft hohe und sehr hohe Arsengehalte der sandig-kiesigen Sedimente bestimmt. Die hohe Bohr- und Probendichte in dieser Zone führt zu einer regionalen Gewichtung der Auswertung in Abb. 4.



Legende

- Auffüllung
- Schluffreiche quartäre Sedimente
- Sandig-kiesige quartäre Sedimente
- Tertiäre Sedimente
- Serizitgneis, zersetzt, z.T. umgelagert

- S1 Sondierung HLIB (Lage siehe Abb. 2)
- H1 Sondierung HYDRODATA (1994) (Lage siehe Abb. 2)
- I1 Sondierung INFUTEC (1993) (Lage siehe Abb. 2)
- FMI Sondierung Franke-Meißner & Partner (1994) (Lage: obere Nerostraße)

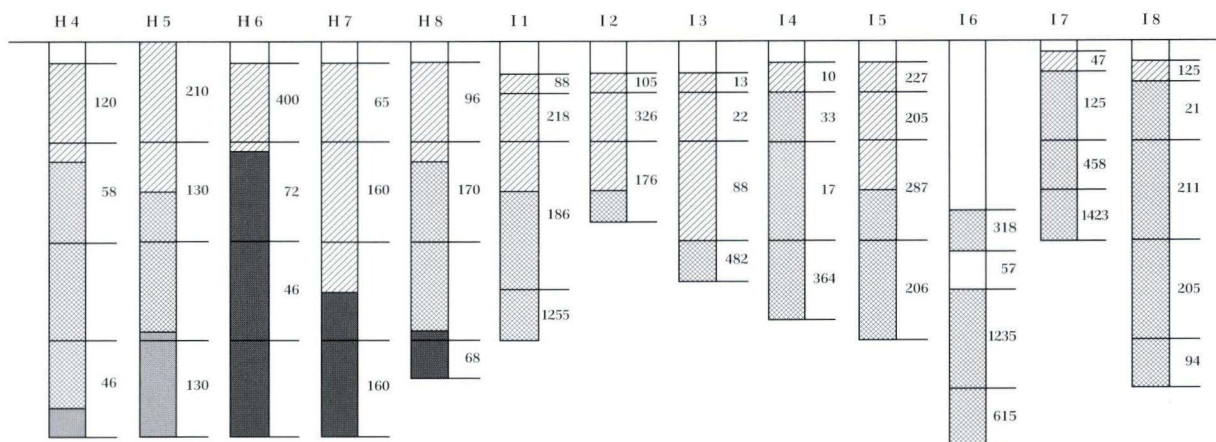
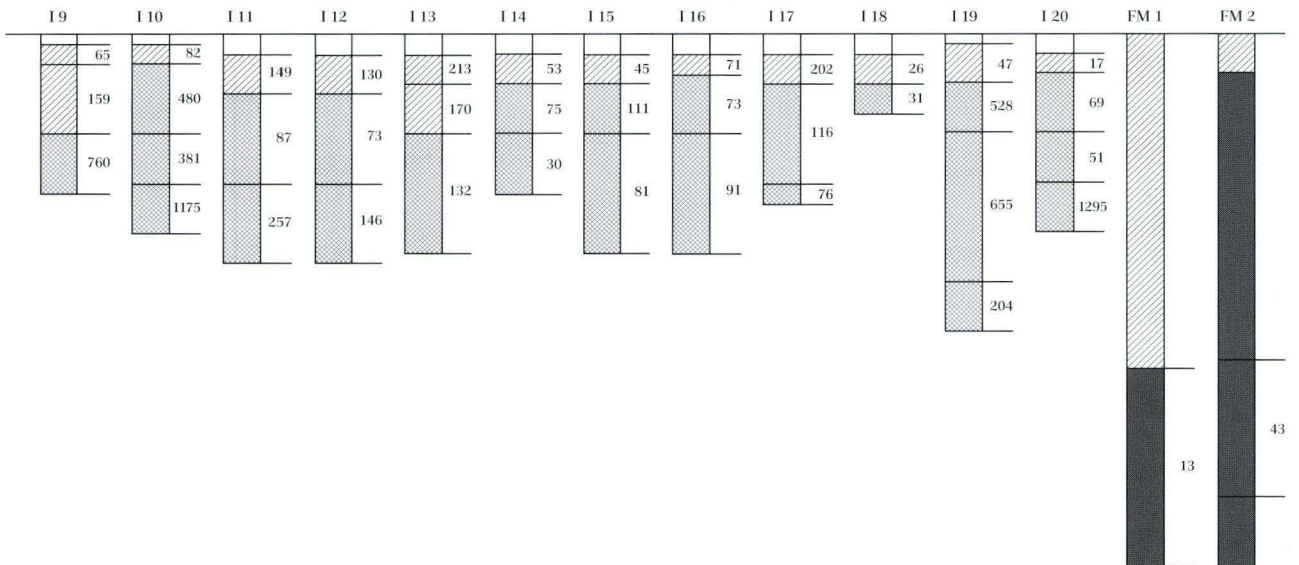
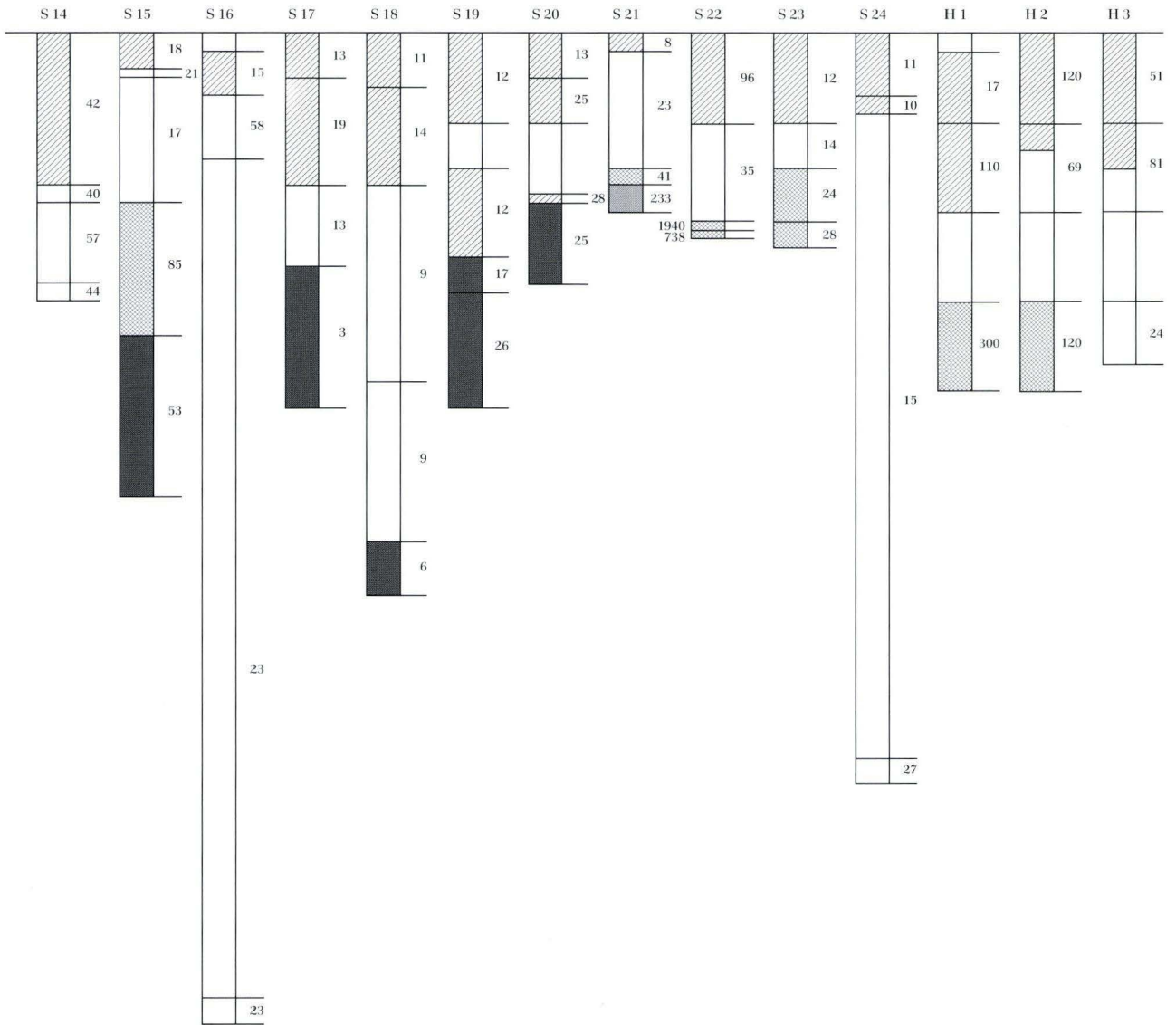


Abb. 3. Schichtenfolge der Sondierbohrungen; Arsengehalte der Proben.

Geogene Arsenanreicherungen im Wiesbadener Bergkirchenviertel



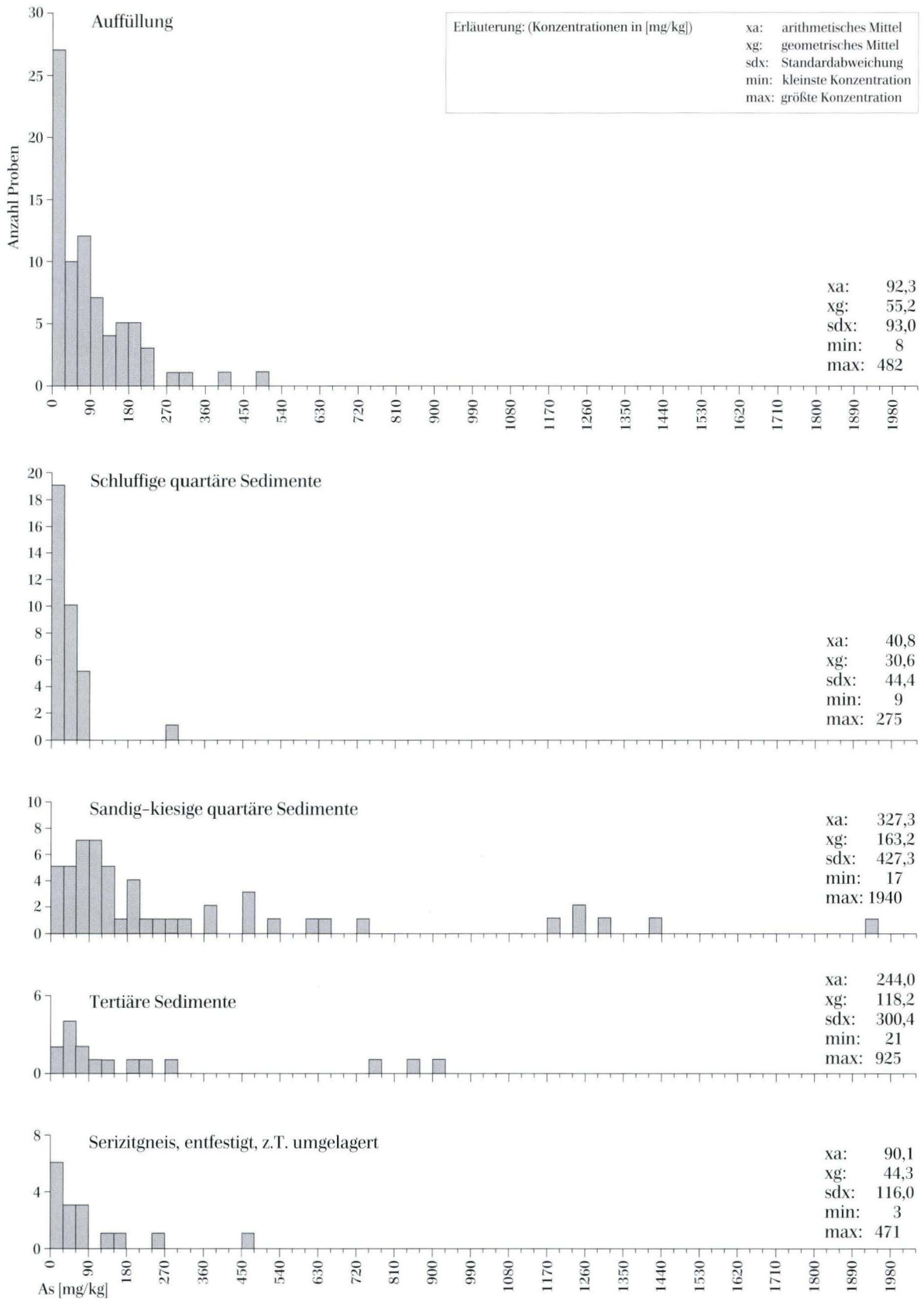


Abb. 4. Arsengehalte der Proben, nach geologischen Einheiten geordnet.

#### 4.4. Schluffreiche quartäre Sedimente

Der **überregionale** Arsen-Grundgehalt hessischer Löss läßt sich mit durchschnittlich 8,4 mg/kg bei einer Streubreite von 5 bis 13 mg/kg beschreiben (Abschn. 3.5.). Die lößlehmominierten Decklagen der **regionalen** Bodenprofile in Tab. 2, 3 und 4 liegen in diesem Streubereich. Die Grunddaten können auf schluffreiche quartäre Sedimente des Bergkirchenviertels übertragen werden, weil es sich vorwiegend um Löß und Lößlehm sowie deren Umlagerungsprodukte handelt. Der am Vergleichsstandort V2 (Tennelberg) erbohrte Löß und Lößlehm liegt mit 13 bzw 18 mg/kg As an der Obergrenze des überregionalen Streubereiches und etwas darüber, was im Falle von Lößlehm auf relative Anreicherung im Zuge der Entkalkung zurückgeführt werden kann.

Die Häufigkeitsverteilung der Arsengehalte schluffreicher quartärer Sedimente im Untersuchungsgebiet zeigt mäßig erhöhte Werte (geometrisches Mittel 30,6 mg/kg; Abb. 4) bei einer im Vergleich mit den übrigen Stoffgruppen auffallend engen Streuung. Ein einziger Ausreißerwert von 275 mg/kg stammt aus Sondierbohrung S9 in der oberen Röderstraße, wo mit Hangschutt verunreinigter, von Ockerflecken durchsetzter Löß beprobt wurde.

#### 4.5. Auffüllung

Im aufgefüllten Material der Vergleichsstandorte V1 und V2 wurden je 13 mg/kg As gemessen. Da es sich bei der Auffüllung im Untersuchungsgebiet vielfach um wiedereingebauten und mit Bauschutt u.ä. durchsetzten lokalen Aushub handelt, streuen die Arsengehalte breit (8–482 mg/kg bei einem geometrischen Mittel von 55 mg/kg; Abb. 4). Die räumliche Verteilung der Konzentrationen im Untersuchungsgebiet ist erwartungsgemäß sehr unregelmäßig. Durchweg kleine Arsengehalte der Auffüllung (11–19 mg/kg) sind in den drei nördlichsten Sondierbohrungen S17–S19 in Weil- und Stiftstraße zu beobachten.

### 5. Diskussion und Schlußfolgerungen

Arsen steht mit der Ordnungszahl 33 in der Stickstoff-Phosphor-Gruppe (V. Hauptgruppe) des Periodensystems der Elemente. Es ist verhältnismäßig leicht oxidierbar und in wäßriger Lösung in Form von Oxoanionen säurebildend.

Nicht vererzte Gesteine führen Arsen als Spurenelement (Abschn. 3); es kommt hier vorwiegend in Pyrit, FeS<sub>2</sub>, und wegen der geochemischen Ähnlichkeit mit

#### 4.6. Sonderproben

Einzelne, nicht den hier unterschiedenen geologischen Einheiten zuzuordnende Proben, die aber zum Verständnis der Arsenproblematik beitragen können und daher mit analysiert wurden, sind im folgenden aufgeführt (siehe auch Tab. 7):

- Probe E7: (Feinkristalline Pyritvererzung aus dem Untergrund des unmittelbaren Thermalquellenbereiches [Bohrkern]). Es wurden 5867 mg/kg As gemessen. Es handelt sich hier um hydrothermale Ausfällungen des Wiesbadener Thermalwassers unter den sulfidfaziellen Gleichgewichtsbedingungen, die vor dem Austritt des Wassers herrschen.
- Probe E5 und E6 (Poröse Karbonatsinter mit Fe-Oxidhydrat-Überzug). Kalkausfällungen vom ehemals natürlichen Quellenaustritt des Kochbrunnens, die durch Druckentlastung (Störung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes) ausgefallen sind. Das braune Fe-Oxidhydrat entspricht dem eisenreichen Sinter der Thermalwässer und ist sicher Träger der Arsengehalte von 280 mg/kg bzw. 313 mg/kg in der Gesamtprobe. Carbonatbereinigt dürften die Konzentrationen um ein Vielfaches höher liegen und sich dem eisenreichen Kochbrunnensinter (17750 mg/kg; FRESSENIUS & SCHNEIDER 1962) annähern.
- Probe E2 (rötlichbraun imprägnierter Sand; mittlere Saalgasse). Der vermutlich anthropogen verbrachte Sand lag wenige cm mächtig in Schründen und Spalten des Serizitgneises unter der in Abschnitt 4.2. erwähnten Steilwand (Grenze Vordevon-Tertiär; Verbraunung der tertiären Sedimente durch Sickerwasser) und könnte von oberhalb heruntergespülter Bausand sein. Die braune Impägnierung ist wahrscheinlich in situ durch Sickerwasser verursacht und steht in ursächlichem Zusammenhang mit der Braunfärbung des Tertiärsandsteins in der Wand oberhalb. In der Sandprobe wurden 1500 mg/kg As bestimmt.

Phosphor auch im Apatit gebunden vor.

In Erzvorkommen tritt Arsen vorwiegend als Arsenopyrit, FeAsS, und in verschiedenen Arseniden und Sulfarseniden, z.T. auch in elementarer Form als "Scherbenkobalt" auf.

In der Oxidationszone, d.h. oberflächennah im Einflußbereich der Verwitterung, ist Arsen vielfach adsorptiv mit Eisen (III)-Oxiden und -Oxidhydraten vergesell-

schaftet. Arsen ist ferner stöchiometrischer Bestandteil des in der Oxidationszone vorkommenden Skorodit,  $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Gelöst liegt Arsen, sofern es sich um sauerstoffhaltiges Wasser handelt, in 5wertiger Form als  $\text{HASO}_4^{2-}$  oder  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  vor. Sehr effektiv werden negativ geladene Ionen, wie die Oxoanionen des Arsens, adsorptiv an positiv geladene aktive Oberflächen, z.B. Fe(III)-Kolloide oder durch Belüftung afoxydierte und frisch gefällte Fe-Oxidhydrate gebunden. Diese natürliche Art der Arsenentfernung aus Wässern ist z.B. vom Wiesbadener Kochbrunnen seit langem bekannt. Der eisenreiche, rostrote Kochbrunnensinter führt nach FRESENIUS & SCHNEIDER (1962) rund 59 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und 2,32 %  $\text{As}_2\text{O}_3$ , entsprechend 17 570 mg/kg As.

Im Bergkirchengebiet sind in den oberflächennahen Schichten erhöhte Arsengehalte verbreitet. Unauffällig sind lediglich die beiden nördlichsten Sondierbohrungen S17 und S18 in der Stiftstraße sowie die außerhalb gelegenen Vergleichssondierungen V1 und V2.

Die flächenhafte Verbreitung erhöhter Arsengehalte weist auf eine geogene Ursache, zumal kein Hinweis auf eine anthropogene Immission vorliegt. Auch Arsenbelastungen der Auffüllung sind ursächlich als geogen anzusehen, da von einer anthropogenen Umlagerung bereits geogen vorbelasteten Materials im Zuge der historischen Stadtentwicklung ausgegangen werden kann. Es ist nicht auszuschließen, daß punktuell sogar Aushub- oder Abtragungsmassen aus dem unmittelbaren Bereich der Quellspalte verbaut wurden, die möglicherweise mit den stark arsenhaltigen Sinterabsätzen des Thermalwassers durchsetzt sind.

Es zeichnen sich im Untersuchungsgebiet zwei Belastungsherde mit z.T. sehr hohen (bis über 1000 mg/kg) Arsengehalten ab (vgl. Abb. 2):

- zwischen Steingasse und Lehrstraße bis zum Hirschgraben und
- Bereich westliche Kastell- und obere Kellerstraße.

Beide Gebiete korrelieren mit dem Vorkommen sandig-kiesiger Sedimente der älteren quartären Talstufe in der geologischen Karte (Abb. 1). Diese sandig-kiesigen Sedimente führen zudem im Mittel die höchsten Arsengehalte der unterschiedenen Einheiten bei gleichzeitig extremer Streuung, so daß sie als vorrangige Träger der erhöhten Arsengehalte angesehen werden. Ältere geologische Einheiten, nämlich Serizitgneis(zersatz) und Tertiär, weisen ausschließlich unter sandig-kiesigem Quartär oder in der nahen Umgebung seines Ausbisses stark erhöhte Arsengehalte auf. Die jüngeren schluffreichen quartären Sedimente, vorwiegend Löß und Lößlehm, sind nur unwesentlich betroffen; die Mittelwerte liegen dennoch spürbar über dem regionalen geogenen Hintergrund.

Hohe Arsengehalte gehen vielfach mit sichtbaren braunen bis gelbbraunen, rostartigen Verfärbungen ein-

her, wenn nicht eine allgemeine intensive Braunfärbung (wie in den sandig-kiesigen Quartärsedimenten) solche Feststellungen ausschließt. Die arsenführenden Sinterabsätze der nahen Thermalquellspalte zeigen ähnliche Braunfärbungen. Schon die unmittelbare Nachbarschaft der rezenten Thermen legt den Analogieschluß nahe, daß sandig-kiesige Sedimente durch Thermalwasser, das unter oxidierenden Bedingungen eisen- und arsenhaltigen Sinter absetzt, imprägniert wurde. Der gleiche Vorgang wäre ebenfalls bei sauerstoffreduziertem stark eisen- und arsenhaltigem Grundwasser zu erwarten. Für eine solche Annahme gibt es aber keine hydrogeologischen Hinweise. In Analogie zum Kochbrunnen ist auch eine primäre Abscheidung arsenhaltigen Pyrites aus Thermalwasser im Porenraum der Gesteine denkbar, welcher dann später zu arsenhaltigem Eisenmulm verwittert ist. Die Vorstellung einer Durchströmung der quartären Sedimente mit Thermalwasser erklärt gleichzeitig die Arsenführung des Serizitgneis(zersatz) und der tertiären Schichten im Bereich der Sand- und Kiesverbreitung, weil sie als weniger durchlässige Gesteine für die gut leitenden Sande und Kiese als Grundwassersohle wirksam waren und oberflächlich selbst imprägniert wurden. Die gemeinsame Arsenbelastung von sandig-kiesigem Quartär und präquartärem Untergrund im direkten Kontakt belegt außerdem, daß die Imprägnierung nach Ab- oder Umlagerung des fluvialen Materials stattgefunden hat.

Im Untersuchungsgebiet ist oberflächennah heute kein Thermalwasser anzutreffen. Die Ansatzpunkte der Sondierbohrungen liegen zwischen ca. 4 m und ca. 48 m über dem Austrittsniveau der Wiesbadener Thermen. Es müssen daher zur Erklärung der Imprägnierung der sandig-kiesigen Quartärsedimente des Bergkirchengebiets mittlerweile versiegt Thermalwasseraustritte auf höherem hydrostatischen Niveau postuliert werden, die zeitlich nach der Ablagerung der Sande und Kiese aktiv gewesen sind. Vorstellbar ist eine Austrittsspalte unbekannter Lage und Ausdehnung unter der noch nicht erodierten Schotterfläche der älteren Talstufe, die diesen Wasserleiter mit Thermalwasser gespeist hat. Die Ausdehnung der anzunehmenden Thermalwasserdurchströmung bzw. der dadurch verursachten Arsenbelastung in sandig-kiesigem Quartär und unterlagernden Einheiten über das Bergkirchengebiet hinaus kann ohne weitere Untersuchungen nicht festgelegt werden. Das Fehlen der erhöhten Arsen-Werte im Norden des Untersuchungsgebietes kann möglicherweise durch Erosion betroffener Schichten während der Eintalung des Schwarzbaches bedingt sein. Es muß nicht bedeuten, daß die anzunehmenden früheren Thermalwässer hier nicht mehr gelangten.

Bei der anhand des Kochbrunnensinters beschriebenen (FRESENIUS & SCHNEIDER 1962) und für das Bergkir-



chenviertel anzunehmenden Bindung des Arsen an oxidische Fe(III)-Verbindungen handelt es sich um adsorptive Mitfällungen im Trägermineral, vermutlich vorwiegend schlecht kristallisierter Goethit (FeOOH). Eine Löslichkeit und damit Umweltverfügbarkeit dieser Verbindungen ist nur in saurer Lösung, in Gegenwart von Komplexbildnern wie etwa Huminstoffen und Oxalaten oder im reduzierenden Milieu gegeben. Während die erstgenannten Möglichkeiten im Bergkirchengebiet kaum eine Rolle spielen, ist eine Arsen-Freisetzung über die Reduktion des dreiwertigen Eisens zum löslichen zweiwertigen Eisen in geringem Maße möglich. Im Gesteinsaufschluß an der mittleren Saalgasse haben wahrscheinlich sauerstoffarme saisonale Sickerwässer den so aus dem durchströmten arsenhaltigen Material aufgenommenen Lösungsinhalt wieder ausgefällt, weil der

Vorgang unter Luftzutritt reversibel ist. Die Arsengehalte der verfärbten Sandsteinbank am gelegentlichen Sickerwasseraustritt (753 mg/kg) und des Sandes am Fuß der Felswand (1500 mg/kg) sind durch diese sekundäre, rezente Arsenmigration entstanden.

**Danksagung:** Frau Dr. BRAUN und Frau FIEDLER, Umweltamt der Stadt Wiesbaden, haben uns Daten und umwelttechnische Gutachten zur Verfügung gestellt. Dr. EBERHARD KÜMMERLE und DOMINIK ULMER, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, halfen bei der stratigraphischen Zuordnung der Sondierproben bzw. der Abfassung der englischsprachigen Kurzfassung. Dem Tiefbauamt Wiesbaden, der Deutschen Telekom und der ESWE Wiesbaden ist für die Überlassung von Leitungs- und Kanalplänen zu danken.

## 6. Schriftenverzeichnis

- ADRIANO, D. C. (1986): Trace Elements in the Terrestrial Environment. – 533 S.; New York–Berlin–Heidelberg–Tokio (Springer).
- Baugrundinstitut Franke-Meissner und Partner GmbH (1994): Umwelttechnische Voruntersuchung. – Unveröff. gutachtliche Stellungnahme vom 23.9.1994; Wiesbaden.
- FRESENIUS, W. & SCHNEIDER, W. (1962): Über die Zusammensetzung des Sinters des Kochbrunnens in Wiesbaden. – Heilbad und Kurort, **9**: 166; Gütersloh.
- Hydrodata GmbH (1994): Bodenuntersuchungen im Gebiet der "Bergkirche" in Wiesbaden. – Unveröff. Untersuchungsbericht vom 29.3.1994; Oberursel.
- Infutec GmbH (1993a): Umwelttechnische Untersuchung Sanierungsgebiet "Bergkirche" – Unveröff. Gutachten vom 4.2.1993; Bingen.
- Infutec GmbH (1993b): Umwelttechnische Untersuchung Sanierungsgebiet "Bergkirche" – Unveröff. Bericht vom 30.3.1993; Bingen.
- Landeshauptstadt Wiesbaden (1993): Umwelttechnische Untersuchung Sanierungsgebiet "Bergkirche". Untersuchungsergebnisse der Rückstellproben auf Arsen. – Unveröff. Bericht vom 28.6.1993; Wiesbaden.
- LEPPLA, A. & STEUER, A. (1971): Erl. Geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl. 5915 Wiesbaden. – 3. Aufl.: 52 S.; Wiesbaden.
- MICHELS, F. (1966): Die Wiesbadener Mineralquellen. – Jb. Nass. Ver. Naturk., **98**: 17–54, Wiesbaden.
- ROSENBERG, F. (1993): Geochemie.. – Erl. Geol. Kt. Hessen 1:25 000, Bl.5818 Frankfurt a.M. Ost:136–149; Wiesbaden.
- SANDBERGER, G. (1861): Wiesbaden und seine Thermen. – 33 S.; Wiesbaden (L. Schellenbergsche Hofbuchhandlung).

Manuskript eingegangen und angenommen am 30. 8. 1996.

KLAUS-MARTIN MOLDENHAUER\*

# Schwermetalle und organische Schadstoffe in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen

## Kurzfassung

Mit dem Ziel, die Belastung hessischer Auenböden mit persistenten Schadstoffen zu erfassen, wurden in den überwiegend landwirtschaftlich genutzten Auen von Rhein, Neckar, Main, Lahn, Fulda, Werra, Weser, Diemel und Eder Bodenproben entnommen und auf Schwermetalle (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn) und organische Schadstoffe (CKW, PAK, PCB, PCDD/-F) untersucht. Zu Vergleichszwecken wurden auch aktuelle Hochflutsedimente vom Februar 1994 in die Untersuchung einbezogen.

Häufige Überschreitungen, die teilweise das Mehrfache der Grenz-

werte betragen, lassen sich für die Elemente Cd, Sb, As, Zn feststellen. Bei den organischen Schadstoffen fallen besonders die PAK durch sehr hohe Konzentrationen auf, ebenso wie die gefundenen PCDD/-F-Werte, die fast alle über dem Grenzwert nach BMNUR (1993) liegen. DDT und HCH kommen hingegen nur in geringen Spuren vor.

Für die meisten Beprobungspunkte läßt sich ein synsedimentärer Schadstoffeintrag belegen. Sekundäre Verlagerungen sind aber insbesondere bei den organischen Schadstoffen nicht auszuschließen. Ein Vergleich der aktuellen Hochflutse-

dimente mit Schadstoffanalysen von Schwebstoffen zeigt, daß der Schadstoffeintrag in die Auen überwiegend aus den Fließgewässern stammt. Daher weisen die Auenböden in den Ballungsräumen an Rhein und Main die höchsten Belastungen auf. Durch verstärkte Gewässerreinigungsmaßnahmen in den letzten Jahrzehnten zeichnet sich bei den meisten Schwermetallen ein Rückgang der aktuellen Einträge ab. Für viele organische Schadstoffe finden sich hingegen die höchsten Konzentrationen in den jüngsten Hochflutsedimenten.

## Abstract

In order to study the contamination of cultivated floodplain-soils in Hessen, soil samples were taken at selected sections of the rivers Rhein, Neckar, Main, Lahn, Fulda, Werra, Weser, Diemel and Eder. Additionally high flood sediment samples were collected immediately after the flood events in February 1994. The samples were analysed for heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn) and some specific organic pollutants (CHX, PAH, PCB, PCDD/-F).

Most of the concentrations found for Cd, Sb, As and Zn exceed the threshold values specified for soils by

the German Sewage Sludge Regulation (AbfklärV 1992) and by EIKMANN & KLOKE (1993). The estimated PAH and PCDD/-F values are also very high, especially the PCDD/-F concentrations exceed the threshold values given by the BMNUR (1993). For DDT and HCH only traces were detected.

For most of the sample-sites a successive sedimentary pollutant deposition can be proven. However, especially in case of the organic pollutants secondary dislocation processes can not be excluded completely. A comparison of the actual high flood sediments with analysis of sus-

ended wash load particles reveals that the pollutant deposition in the floodplain-soils origin mainly from the adjacent rivers. Due to this the floodplain-soils in urban regions at Rhein and Main show the highest pollutant concentrations. By means of strengthened efforts in water abatement for most of the heavy metals a yield decrease becomes significant. In contrast to this, for many organic pollutants the highest concentrations in the actual high flood sediments are found.

\* Dr. K.-M. MOLDENHAUER, Institut für Physische Geographie der Johann Wolfgang Goethe-Universität, Senckenberganlage 36, 60325 Frankfurt am Main.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	192
2. Probennahme	193
3. Analytik	194
4. Ergebnisse	194
4.1. Bodenphysikalische und bodenchemische Kennwerte	194
4.2. Schadstoffgehalte und Schadstoffverteilung in den Auenböden hessischer Flüsse	195
4.2.1. Horizontale und vertikale Variabilität der Schadstoffgehalte	195
4.2.2. Herkunft der Schadstoffe	200
4.2.3. Belastungssituation und Belastungsschwerpunkte	204
5. Zusammenfassende Bewertung	210
6. Schriftenverzeichnis	212

## 1. Einleitung

In Zusammenarbeit mit dem Hessischen Landesamt für Bodenforschung (HLfB) wurden im Frühjahr 1994 an den in Hessen liegenden Flußabschnitten von Rhein, Neckar, Main, Lahn, Fulda, Werra, Weser, Diemel und Eder Bodenproben entnommen und auf Schwermetalle und organische Schadstoffe untersucht. Damit sollte der bisherige Kenntnisstand über die Größenordnung der Schadstoffbelastung in den Böden der flußbegleitenden Auen erweitert werden. Bei den beprobten Böden handelt es sich bodensystematisch um Allochthone Braune Auenböden (Vega), die aus vergleichsweise jungen Sedimentanschwemmungen aufgebaut sind und sich durch periodische bis episodische Überflutungen sowie einen meist geringen Grundwasserflurabstand auszeichnen.



**Abb. 1.** Hochwasserablagerungen in einer Altlaufgrinne am Rhein.

Da es infolge der ausgedehnten Hochwässer vom Dezember 1993 und Januar 1994 praktisch in allen größeren hessischen Flußauen zum Absatz von jungen Hochflutsedimenten kam, konnten diese ergänzend in die Untersuchung einbezogen werden. Wie anhand dieser Ablagerungen nachvollziehbar war, führten die wechselnden Strömungsverhältnisse während der Überflutungsphasen in Verbindung mit dem örtlichen Vegetationsbestand und der Auentopographie zu einem charakteristischen Sedimentationsmuster, das bei der Probenahme berücksichtigt wurde.

Insbesondere an den großen Flüssen, wie Rhein, Main, Neckar und Weser fanden sich im Bereich weitgespannter Gleithangflächen uferparallele Akkumulationen grober Sande, die in Form eines typischen Levees, stellenweise in einer Breite von mehreren Metern abgesetzt wurden. Feinere Sedimente, im wesentlichen Schluffe und Ton, ließen sich dagegen auch an den kleineren Fließgewässern auf der gesamten weiteren Überflutungsfläche beobachten. Die Mächtigkeiten dieser Ablagerungen schwankten von nur mm-dicken Schleiern bis hin zu mehreren Zentimetern. Die höchsten Sedimentationsraten wurden aber meist nicht in unmittelbarer Flußnähe erreicht, sondern in eher uferfernen Geländedepressionen und Altlaufgrinnen (Abb. 1). Vor allem Gehölze und Ruderalvegetation wirkten durch ihren natürlichen Auskämmeffekt als zusätzliche Sedimentfallen, wodurch viele Uferabschnitte mit dichtem Auenwaldbestand oder Brennesselbewuchs eine flächenhafte Schlicküberdeckung aufwiesen.

## 2. Probennahme

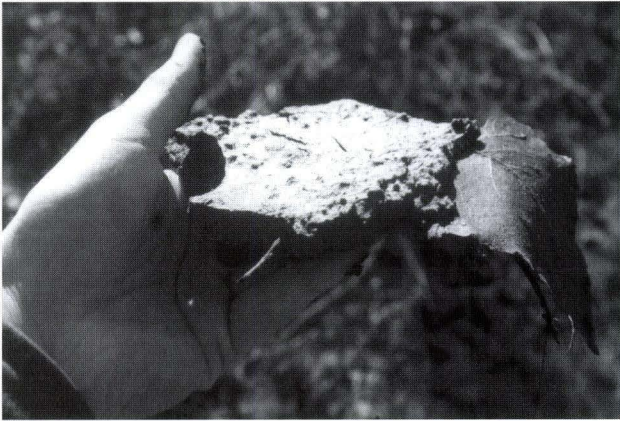
Die Auswahl der beprobten Flußabschnitte erfolgte nicht emittentenbezogen, es wurden jedoch Belastungsschwerpunkte berücksichtigt, die schon bei den von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) in den Jahren 1989 und 1990 durchgeführten Sohl sediment- und Schwebstoffuntersuchungen durch erhöhte Schadstoffgehalte aufgefallen waren. Anhand von geomorphologischen Kriterien wurden die Beprobungspunkte innerhalb der Auen so festgelegt, daß sie jeweils typische Auenbereiche repräsentativ erfassen (Abb. 2). Zum Zeitpunkt der Probennahme wurden rund 75 % der untersuchten Standorte als Acker- oder Grünland genutzt. Auf den übrigen Flächen stockte Auenwald und Ruderalvegetation. Eine vergleichende Beprobung unterschiedlicher Nutzungsformen an den einzelnen Punkten war nicht möglich, da die Probenanzahl limitiert war.

An jedem Standort erfolgte eine bodenkundliche Aufnahme des Auenbodens, der gemäß seiner Profilentwicklung horizontweise beprobt wurde. Das Bodenmaterial wurde mit einem Schuppenböhler auf einer Fläche von ca. 0,5 m<sup>2</sup> bis zu einer Tiefe von maximal einem Meter entnommen und als Mischprobe in Braunglas-Weithalsflaschen (1000 ccm) gefüllt. Mit Hilfe dieser horizontbezogenen Beprobung sollten sich nicht nur pedogenetisch bedingte Verlagerungen bestimmter Stoffe erkennen lassen, sondern auch differenzierte Aussagen zur historischen Entwicklung einer Belastung möglich sein.

Die kaum zersetzte Laubstreu des vergangenen Jahres, die fast überall die Hochwasserabsätze unterlagerte, ermöglichte eine gute Abgrenzung der jüngsten Akkumulationen vom Oberboden, was auch bei geringen Sedimentmächtigkeiten eine einwandfreie Beprobung gewährleisten konnte (Abb. 3). Fehlte eine dichte Laubaufflage, wie z.B. auf frisch bestellten Ackerflächen, wurde auf eine Probennahme verzichtet. In Abhängigkeit von der örtlichen Horizontierung wurden pro Beprobungspunkt 4–5 Proben entnommen, so daß mit den Hochflutsedimenten rund 80 Proben untersucht werden konnten.



Abb. 2. Karte der Beprobungspunkte.



**Abb. 3.** Verfestigtes Hochflutsediment über einer Auflage aus Bestandsabfall.

### 3. Analytik

Die Ermittlung der Schwermetallgehalte sowie der bodenphysikalischen und bodenchemischen Kennwerte erfolgte im Labor des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (HLfB), Wiesbaden. Neben der Korngrößenverteilung wurde an jeder Probe der Carbonat-, Kohlenstoff-, Humusgehalt und der pH-Wert gemäß den DIN-Vorschriften 19683 und 19684 bestimmt.

Aus dem Königswasseraufschluß wurden die Elementgehalte von Arsen (As), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Nickel (Ni), Blei (Pb), Antimon (Sb), Thallium (Tl), Vanadium (V), und Zink (Zn) mittels Atomabsorptions-Spektralphotometer (AAS) gemessen.

Aus Kostengründen konnten lediglich die Hochwassersedimente und die humosen Oberböden auf organische Schadstoffe untersucht werden, weshalb für die grundwassernahen Unterböden lediglich Werte der Schwermetallkonzentrationen vorliegen. Die Analysen für chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), polychlorierte Biphenyle (PCB) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) wurden von der Hessischen

Landwirtschaftlichen Versuchsanstalt (HLVA) in Darmstadt durchgeführt. Dabei wurden folgende Einzelsubstanzen bestimmt:

1. Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW): Hexachlorbenzol (HCB), Hexachlorcyclohexane ( $\alpha$ -HCH und  $\beta$ -HCH) und DDT.
2. Polychlorierte Biphenyle (PCB): Balschmitter-Kongeneren 28, 52, 101, 138, 153, 180.
3. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): Naphthalin, Acenaphten, Acenaphtylen, Flouren, Phenanthren, Anthracen, Flouranthen, Pyren, Chrysen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)flouranthen, Benzo(k)flouranthen, Benzo(g,h,i)perylen, Indenopyren, Dibenz(a,h)anthracen sowie Anthanthren, Triphenylen, 1,2 Benzanthracen, Benzo(e)pyren und Perylen.

Außerdem wurden zehn Proben vom Chemischen Laboratorium Dr. E. Weßling GmbH in Altenberge auf ihren Gehalt an polychlorierten Dioxinen (PCDD) und Furanen (PCDF) untersucht.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Bodenphysikalische und bodenchemische Kennwerte

Bei den untersuchten Proben handelt es sich durchweg um mäßig sortiertes, überwiegend feinkörniges Material mit einem Korngrößenmaximum in der Schluff- oder Feinsandfraktion. Die daraus resultierenden Bodenarten bewegen sich gemäß AG BODEN (1982) zwischen schluffig-lehmigem Sand und sandig-tonigem Schluff. Der Anteil der Kornfraktionen, die das größte Sorptionspotential für Schadstoffe aufweisen ( $\Sigma < 63 \mu\text{m}$ )

(MÜLLER 1981), macht bei rund der Hälfte aller Proben mehr als 60 % des gesamten Probenvolumens aus. Lediglich dort, wo in der Umgebung des Beprobungspunktes Buntsandstein ansteht, wie an Neckar, Werra und Weser, weisen einige Unterbodenhorizonte eine deutlich sandigere Fazies auf. Hingegen sind die jüngsten Hochwasserabsätze i.d.R. sehr feinkörnig und gleichförmig ausgebildet, denn zum Zeitpunkt der Probenahme

hatte noch keinerlei Vermischung durch Bioturbation oder Pflugbearbeitung mit den Oberböden stattgefunden. Da das aus der Bodenart abgeleitete Buchstabenkürzel ein entsprechendes Dreikornmisch nur semiquantitativ beschreibt, ist es für Berechnungen, die sich auf den Parameter Korngröße stützen, nur bedingt geeignet. Zur Beurteilung der Grob- oder Feinkörnigkeit einer Probe wird daher im folgenden der  $d_{50}$  als numerischer Kennwert verwendet. Er wird aus der Kornsummenkurve ermittelt und ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Kurve mit einer der im Korngrößendiagramm waagrecht verlaufenden %-Linien als korrespondierende Korngröße auf der Abszisse (ZANKE 1982).

Die in den Auenböden ermittelten Gehalte an organischem Kohlenstoff ( $C_{\text{Org}}$ ) bewegen sich im Mittel um 3,5 %. Selbst viele Unterbodenhorizonte sind daher noch als humos bis stark humos einzustufen. In den jüngsten Hochwasserabsätzen liegt der  $C_{\text{Org}}$ -Gehalt naturgemäß noch höher. Im Durchschnitt werden 5 % erreicht, am Rhein ermittelte Höchstwerte liegen bei 10 %. Infolge der stark strömungsabhängigen Dispersion der feinen Humuspartikel steigen hier die Gehalte mit zunehmender Distanz zum Fluß regelhaft an, so daß sich ein statistisch gesicherter Zusammenhang zwischen der Entfernung vom Rhein und dem  $C_{\text{Org}}$ -Gehalt der Sedimente angeben läßt (Abb. 4). Hingegen können die  $\text{CaCO}_3$ -Gehalte je nach petrographischer Ausstattung des Einzugsgebietes und der stratigraphischen Position des beprobten Horizonts stark variieren. Karbonatreiche Sedimente mit  $\text{CaCO}_3$ -Gehalten von 10–20 % finden sich nur am Rhein und Neckar. In den Auen der anderen Flüsse werden maximal 8 % erreicht. Die pH-Werte schwanken daher nur wenig um den Neutralpunkt und liegen auch in den Auen kleinerer Flüsse selten unter pH 6.

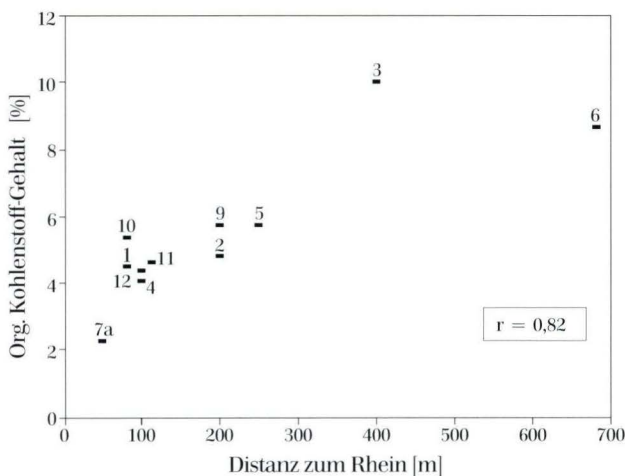


Abb. 4. Zusammenhang zwischen der Distanz zum Rhein und dem Kohlenstoffgehalt der Hochwassersedimente von 1994.

## 4.2. Schadstoffgehalte und Schadstoffverteilung in den Auenböden hessischer Flüsse

### 4.2.1. Horizontale und vertikale Variabilität der Schadstoffgehalte

In vielen Fällen ist es möglich anhand des additiven Aufbaus von Auenböden Rückschlüsse auf die zeitliche Entwicklung einer Belastung zu ziehen. Unter günstigen Umständen kann daraus die aktuelle Belastungstendenz abgeschätzt werden, die durch geringere Schadstoffkonzentrationen in den jüngsten Ablagerungen rückläufig, oder aber durch zunehmend höhere Gehalte in den obersten Bodenhorizonten im Ansteigen begriffen sein kann. Da im Rahmen dieser Untersuchung keine Datierungen vorgenommen wurden, kann die zeitliche Einstufung der Ablagerungen – mit Ausnahme der jüngsten Hochwassersedimente – nur stratigraphisch erfolgen.

An den Beprobungspunkten ließen sich im wesentlichen zwei immer wiederkehrende vertikale Verteilungsmuster feststellen, wobei entweder mit der Tiefe zunehmende oder mit der Tiefe abnehmende Gradienten der Schadstoffkonzentration erkennbar sind. Läßt sich letztere Tiefenverteilung noch recht zwanglos mit einer sukzessiven Ablagerung zunehmend höher belasteter Sedimentstraten erklären, könnten im umgekehrten Fall auch pedogene Mobilisierungsprozesse eine Verlagerung von Schadstoffen in tiefere und somit ältere Bodenbereiche bewirkt haben. Es würde sich dann folglich nicht um eine synsedimentäre Bildung, sondern um eine sekundäre Anreicherung handeln.

Beim Vorliegen solcher Verteilungen wurde deshalb geprüft, ob die potentiellen Einflußgrößen der Bodenmatrix, wie  $C_{\text{Org}}$ -Gehalt, pH-Wert und Feinkornanteil mit den ermittelten Schadstoffkonzentrationen korrelieren. Über den Vergleich der Tiefengradienten von relativ mobilen mit verlagerungsstabilen Schwermetallen lassen sich weitere Rückschlüsse ziehen, denn bei konformer Verteilung der Schwermetalle sind in Verbindung mit pH-Werten um 7 vertikale Verlagerungsprozesse weitgehend auszuschließen (DVWK 1988, HORNBERG & BRÜMMER 1989).

Für die Mehrzahl der untersuchten Profile läßt sich so eine synsedimentär entstandene Schadstoffbelastung nachweisen. Am Beispiel des Beprobungspunktes Eddersheim am Main (Punkt 17), der durch extrem hohe Elementgehalte in den Unterbodenhorizonten auffällt, läßt sich dies verdeutlichen. Da hier die pH-Werte über das gesamte Profil nur geringfügig zwischen 7,1 und 7,5 schwanken, ist durch die optimale Pufferung eine Mobilisierung der Schwermetalle und eine damit verbundene Tiefenverlagerung kaum zu erwarten. Zudem zeigt das hoch mobile Schwermetall Cadmium die gleiche

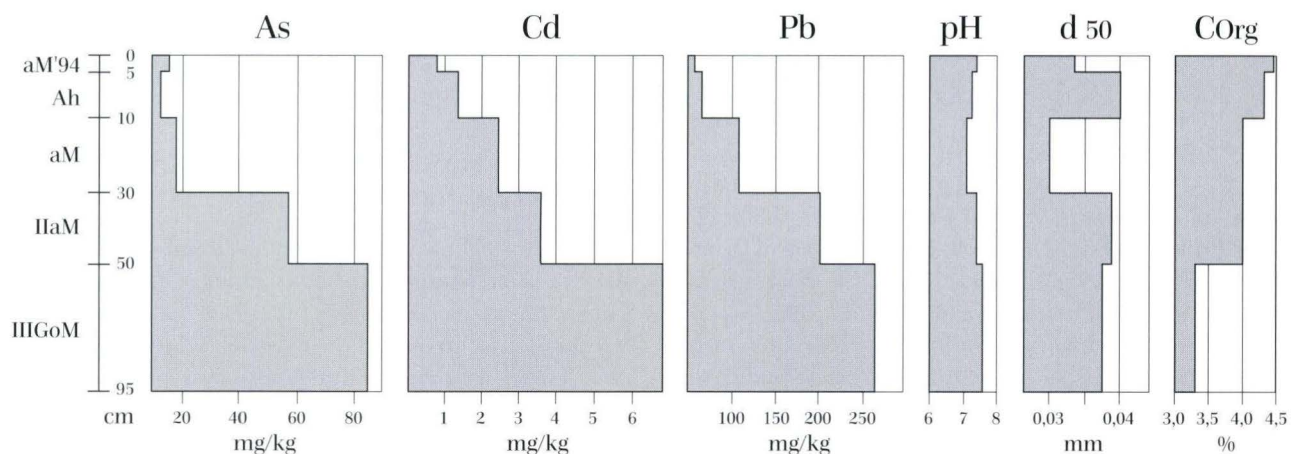


Abb. 5. Tiefenfunktion der Schwermetallgehalte und Bodenparameter am Beprobungspunkt Eddersheim am Main (Nr. 17).

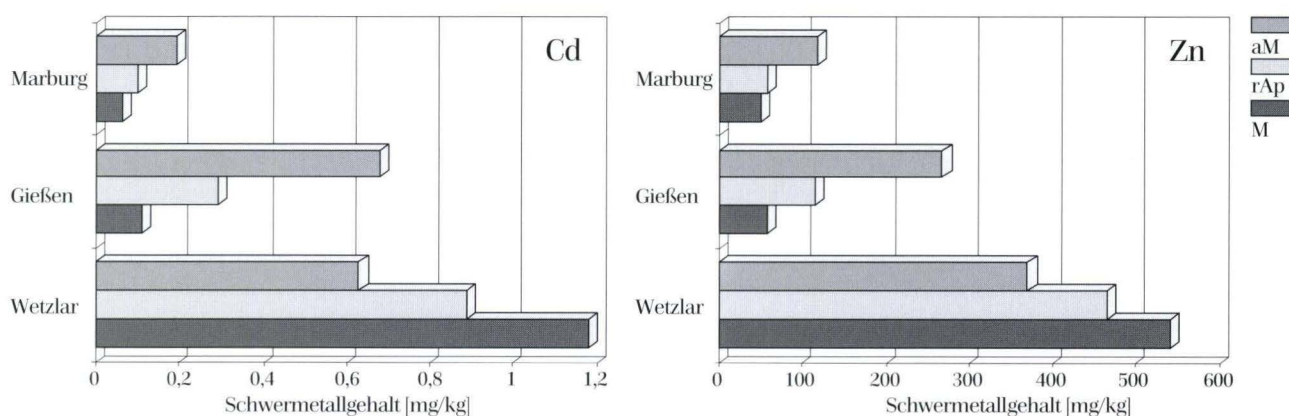


Abb. 6. Tiefenfunktion der Cadmium- und Zink-Gehalte in drei Bodenprofilen der Lahnaue

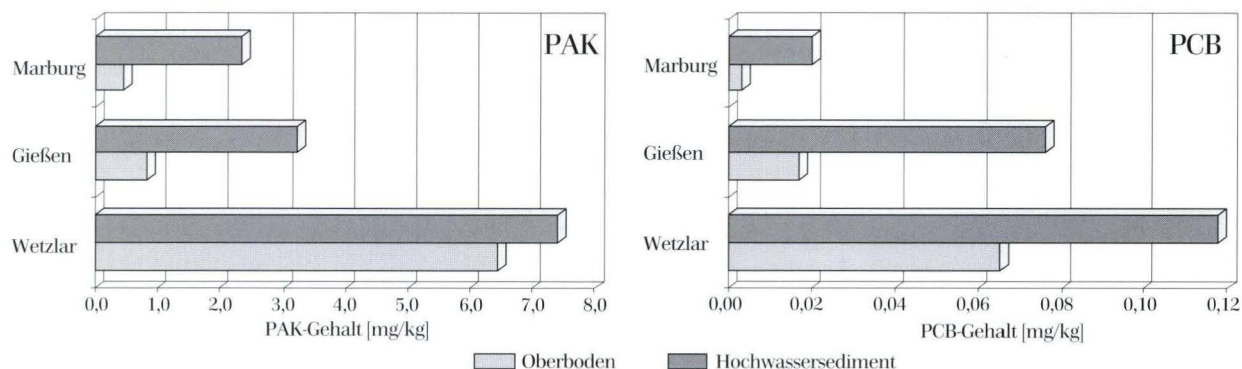


Abb. 7. PCB- und PAK-Gehalte in Hochflutsedimenten und Oberböden der Lahnaue.

Tiefenverteilung wie das relativ immobile Blei. Auch die Ton- und Schluffgehalte (niedrige d50-Werte) der einzelnen Horizonte zeigen keine signifikanten Änderungen, die sich schlüssig mit den auffälligen Schwermetallgradienten in Verbindung bringen ließen.

So kann hier davon ausgegangen werden, daß die ermittelte Schwermetallverteilung synsedimentär entstanden ist und keine wesentlichen sekundären Stoff-

umverteilungen innerhalb des Bodenprofils stattgefunden haben (Abb. 5).

Betrachtet man die räumliche Variabilität der Schadstoffgehalte, lassen sich ebenfalls zwei charakteristische Muster feststellen. Bei der am Flußlängsprofil orientierten Probennahme zeigt sich, daß die Schadstoffkonzentrationen in den Auen kleinerer Flüsse vor allem mit der Lauflänge variieren, während in den weitgespannten

Auen großer Flüsse, wie am Rhein, die Differenzierungen der Schadstoffgehalte innerhalb des Auenquerschnitts sehr viel ausgeprägter sind, als in flußparalleler Richtung. Die Ursache liegt darin, daß bei kleineren Fließgewässern die Aue meist schmaler ausgebildet ist als bei großen Flüssen, wo während Hochwasserlagen ein weitflächiges Ausuferndes des Gewässers möglich ist.

So finden sich am untersuchten Lahnabschnitt die niedrigsten Schadstoffgehalte unterhalb von Marburg (Punkt 18), wo sich indes eine regelhafte Zunahme der Konzentrationen vom Unterboden über den Oberboden bis in die jüngsten Hochwasserablagerungen beobachten läßt. Ähnlich niedrige Unterbodengehalte zeigt auch die Probenentnahmestelle westlich von Gießen (Punkt 19). Wegen des stärkeren Anstiegs der Belastung in den oberen Profilabschnitten, liegt das Konzentrationsniveau aber deutlich über demjenigen von Marburg. Mit

den extrem hohen Werten, die schließlich bei Wetzlar (Punkt 20) ermittelt wurden, ergibt sich das Bild einer stetigen Zunahme der Schadstoffbelastung entlang des beprobten Flußabschnitts (Abb. 6 und 7), was in ursächlichem Zusammenhang mit der Konzentration kommunaler und gewerblicher Einleiter im Großraum Gießen-Wetzlar zu sehen ist.

Im Unterschied zu Marburg und Gießen, weist das Profil bei Wetzlar allerdings eine abweichende Tiefenverteilung bei den Schwermetallen auf. Höchste Schwermetallgehalte finden sich im Unterboden, während im Oberboden und Hochwassersediment relativ geringere Konzentrationen vorliegen. Daß die Tiefengradienten der Schwermetallgehalte hier auf synsedimentäre Prozesse zurückzuführen sind, läßt sich analog zum Profil 17 am Main mit Hilfe der Bodenparameter belegen (Tab. 1).

Tab. 1. Schwermetalle in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen (zur Lage vgl. Abb. 2)

Nr.	Fluss	Rechts-Wert	Hoch-Wert	Entn. tiefe cm	Boden-horizont	Boden-art	C-org %	CaCO <sub>3</sub> %	pH-	Schwermetalle [mg/kg]										
										As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
1	Rhein	3453590	5532460	0-3	*M	Us	4,5	4,1	7,6	14	0,9	73	41	0,2	36	52	0,5	0,1	61	175
2	Rhein	3453370	5533920	0-1	*M	Ul2	4,8	13,6	7,5	15	0,9	74	42	0,2	40	57	0,5	0,1	73	174
3	Rhein	3454220	5531260	0-1	*M	Ut4	10,0	9,5	7,3	17	1,3	58	31	0,2	38	106	0,7	0,1	63	293
4	Rhein	3453140	5527170	0-6	*M	Us	4,1	18,3	7,6	14	0,6	61	35	0,3	34	46	0,5	0,1	58	148
5	Rhein	3453280	5527130	0-1	*M	Ul3	5,7	14,1	7,5	16	1,0	78	36	0,2	37	57	0,4	0,1	61	170
6	Rhein	3456870	5520180	0-1	*M	Ul2	8,6	11,7	7,4	14	1,5	73	42	0,3	36	56	0,8	0,1	57	222
7	Rhein	3458310	5515320	0-1	*M	Sl3	5,2	20,4	7,4	11	1,1	51	47	-	37	56	0,3	-	40	214
	Rhein	3458310	5515320	0-2	*M	Ul3	2,3	15,8	7,7	9	0,4	45	18	0,2	24	35	0,3	0,1	34	98
	Rhein	3458310	5515320	2-5	Ah	Us	5,4	15,1	7,5	12	1,9	75	54	-	40	68	0,3	-	49	258
8	Rhein	3452710	5536580	0-2	*M	Us	5,1	17,1	7,6	15	1,1	79	51	0,5	42	57	0,6	0,1	64	247
9	Rhein	3455710	5521000	0-2	*M	Ul3	5,8	13,9	7,6	15	1,0	80	44	0,3	41	54	0,4	0,1	70	191
10	Rhein	3460330	5510450	0-2	*M	Ul2	5,4	12,5	7,6	15	1,0	80	46	0,2	43	56	0,5	0,1	67	199
11	Rhein	3454200	5503660	0-1	*M	Us	4,6	13,2	7,6	13	0,9	67	38	0,2	35	51	0,6	0,1	59	162
12	Rhein	3457880	5495790	0-5	*M	Us	4,4	15,9	7,6	12	1,0	65	36	0,2	32	49	0,5	0,1	53	160
13	Neckar	3493530	5477950	0-2	*M	Slu	3,7	13,8	7,4	11	1,0	57	32	0,1	25	45	0,8	0,1	61	141
	Neckar	3493530	5477950	2-12	IIM	Slu	4,4	12,0	7,2	10	1,7	79	41	0,2	26	72	1,0	0,1	65	173
	Neckar	3493530	5477950	12-50	IIM	Sl3	2,5	10,6	7,4	10	1,9	81	34	0,2	20	70	0,7	0,1	50	165
	Neckar	3493530	5477950	50-95	III Go	Su3	0,9	11,7	7,5	6	0,3	30	9	0,0	13	28	0,3	0,1	35	97
14	Neckar	3492440	5476960	0-20	AhM	Ls2	3,0	14,6	7,4	8	2,7	100	45	0,5	36	82	0,9	0,1	71	216
	Neckar	3492440	5476960	20-70	GoM	Slu	1,9	13,9	7,5	8	1,1	73	38	0,5	27	76	0,9	0,1	61	183
15	Main	3487740	5554960	0-3	*M	Uls	4,8	6,2	7,4	13	0,8	76	55	-	54	55	1,0	-	87	284
	Main	3487740	5554960	3-12	Ah	Slu	3,9	3,1	7,4	14	0,9	108	54	-	47	54	1,1	-	76	249
	Main	3487740	5554960	12-35	AhM	Uls	2,3	4,0	7,4	15	0,6	68	37	-	36	51	0,9	-	59	163
	Main	3487740	5554960	35-60	IIM	Su4	1,3	4,7	7,7	12	0,2	40	18	-	21	32	0,7	-	49	96
16	Main	3483370	5552580	0-3	*M	Uls	4,4	6,8	7,3	11	0,6	64	42	-	36	42	0,8	-	79	212
	Main	3483370	5552580	3-10	Ah	Ls2	5,3	4,0	7,3	15	0,7	67	40	-	35	95	1,3	-	81	236
	Main	3483370	5552580	10-40	IIM	Su3	3,2	3,2	7,7	18	0,7	56	37	-	29	223	1,2	-	65	217
	Main	3483370	5552580	40-60	Gor	Sl4	3,1	4,4	7,8	25	0,7	61	44	-	30	482	1,4	-	66	272
17	Main	3461990	5543990	0-5	*M	Ut4	4,5	8,2	7,3	15	0,7	73	48	-	44	49	0,9	-	84	255
	Main	3461990	5543990	5-12	Ah	Uls	4,3	4,8	7,2	13	1,3	65	41	-	41	58	1,2	-	71	291
	Main	3461990	5543990	12-30	M	Ut4	4,0	4,6	7,1	18	2,4	134	88	-	54	103	1,9	-	74	565



Fortsetzung Tab. 1.

Nr.	Fluss	Rechts- Wert	Hoch- Wert	Entn. tiefe cm	Boden- hori- zont	Boden- art	C-org %	CaCo <sub>3</sub> %	pH-	Schwermetalle [mg/kg]										
										As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Tl	V	Zn
17	Main	3461990	5543990	30-50	IIM	Ls2	4,0	4,7	7,4	58	3,6	146	89	-	43	199	2,4	-	79	573
	Main	3461990	5543990	50-90	III Go	Sl3	3,3	6,8	7,5	85	6,9	197	91	-	42	265	3,2	-	84	682
18	Lahn	3481030	5626370	0-2	*M	Su3	2,2	0,0	6,8	5	0,2	51	18	0,1	39	30	0,7	0,1	50	118
	Lahn	3481030	5626370	2-20	rAp	Sl3	2,7	0,0	5,6	5	0,1	50	12	0,1	23	32	0,7	0,1	76	57
	Lahn	3481030	5626370	20-45	M	Su3	1,7	0,0	5,5	5	0,1	46	12	0,1	22	30	0,7	0,1	64	50
	Lahn	3481030	5626370	45-70	IIM	Su3	1,0	0,0	5,4	4	0,1	36	10	0,1	19	21	0,5	0,1	44	39
19	Lahn	3469550	5604050	0-1	*M	Slu	3,8	0,0	6,4	7	0,7	64	35	0,2	46	48	1,0	0,1	68	268
	Lahn	3469550	5604050	1-20	rAp	Ul3	3,6	0,0	6,1	7	0,3	58	20	0,2	34	43	0,9	0,1	92	116
	Lahn	3469550	5604050	20-60	M	Ul3	1,3	0,0	5,9	5	0,1	51	12	0,1	29	22	0,5	0,1	66	58
20	Lahn	3461530	5601880	0-3	*M	Su4	4,4	0,2	7,1	7	0,6	100	54	0,4	97	78	2,5	0,1	95	370
	Lahn	3461530	5601880	3-20	M	Su4	5,1	0,1	6,9	8	0,9	136	85	0,5	111	96	3,7	0,1	94	465
	Lahn	3461530	5601880	20-45	IIM	Su4	4,5	0,0	6,6	9	1,2	143	108	0,7	122	111	4,4	0,1	92	540
21	Fulda	3545700	5605780	1-2	*M	Slu	3,3	0,0	6,7	8	0,3	52	26	0,3	26	37	1,7	0,1	53	136
	Fulda	3545700	5605780	0-20	rAp	Lu	5,2	0,0	6,2	10	0,6	69	38	0,5	34	62	4,7	0,1	69	228
	Fulda	3545700	5605780	20-45	M	Slu	2,5	0,0	6,0	9	0,4	68	41	0,8	27	48	10,7	0,1	61	149
	Fulda	3545700	5605780	45-70	IIM	Sl4	2,4	0,0	5,8	9	0,6	82	67	1,3	29	60	10,1	0,1	56	189
22	Fulda	3552530	5640420	1-2	*M	Slu	4,4	0,2	6,8	7	0,3	44	21	0,2	22	28	1,1	0,1	51	126
	Fulda	3552530	5640420	2-20	Ah	Ut3	5,0	0,0	6,4	9	0,5	51	23	0,3	26	36	1,8	0,1	59	160
	Fulda	3552530	5640420	20-40	M	Slu	3,3	0,0	5,1	11	0,3	54	26	0,4	24	40	3,3	0,1	56	127
	Fulda	3552530	5640420	40-65	IIM	Sl3	2,1	0,0	4,7	10	0,1	44	15	0,3	16	31	1,1	0,1	40	85
23	Fulda	3533330	5674780	0-2	*M	Su4	2,9	0,0	6,7	8	0,4	46	29	-	24	32	1,5	-	54	155
	Fulda	3533330	5674780	2-10	Ah	Su4	3,0	0,0	6,4	4	0,2	29	14	-	15	19	1,2	-	36	94
	Fulda	3533330	5674780	10-30	AhM	Su4	2,5	0,0	6,5	8	0,4	45	25	-	22	31	2,1	-	51	143
	Fulda	3533330	5674780	30-50	IIM	Uls	2,2	0,0	6,6	10	0,4	48	26	-	24	33	2,1	-	51	147
	Fulda	3533330	5674780	50-70	IIIM	Slu	1,9	0,0	6,5	11	0,2	45	16	-	21	32	1,1	-	44	113
24	Werra	3567790	5636900	1-2	*M	Sl3	6,5	0,9	7,2	12	6,0	89	72	-	44	48	1,3	-	49	293
	Werra	3567790	5636900	2-12	Ah	Sl2	5,5	0,0	7,1	7	3,3	52	28	-	24	34	0,9	-	39	125
	Werra	3567790	5636900	12-50	M	Su2	3,3	0,0	6,9	6	1,8	43	22	-	19	24	0,6	-	38	95
	Werra	3567790	5636900	50-80	IIM	Su2	1,6	0,0	7,2	6	0,2	26	15	-	14	21	0,4	-	27	47
25	Werra	3581660	5673810	1-2	*M	Us	6,4	4,2	7,2	13	3,3	74	73	-	40	49	1,0	-	53	292
	Werra	3570860	5675640	2-10	Ah	Su3	3,8	3,7	7,5	7	1,7	43	30	-	23	31	0,6	-	32	134
	Werra	3570860	5675640	10-20	M	Su3	2,9	3,6	7,5	7	1,5	43	30	-	23	31	0,6	-	50	125
	Werra	3570860	5675640	20-50	IIM	Su3	1,3	3,0	7,6	6	0,2	29	14	-	15	20	0,5	-	49	55
26	Weser	3537250	5722290	0-3	*M	Us	4,9	2,2	7,2	10	1,9	60	44	2,1	35	42	1,3	-	65	233
	Weser	3537250	5722290	3-10	Ah	Su3	3,0	1,2	7,1	6	1,5	40	27	1,4	23	27	0,9	-	39	147
	Weser	3537250	5722290	10-30	M	Su2	2,8	1,6	7,2	6	2,0	40	28	1,4	23	28	0,7	-	38	147
	Weser	3537250	5722290	30-60	M	Su2	2,2	3,0	7,2	6	2,9	45	32	1,6	24	32	0,9	-	39	163
27	Diemel	3528920	5716090	0-5	*M	Ul2	4,1	2,9	7,3	6	0,5	42	43	-	25	50	0,6	-	65	150
	Diemel	3528920	5716090	5-15	Ap	Us	4,1	3,0	7,2	6	0,5	41	44	-	24	52	0,5	-	65	160
	Diemel	3528920	5716090	15-30	ApM	Us	3,4	2,7	7,2	5	0,5	42	42	-	23	53	0,5	-	59	152
	Diemel	3528920	5716090	30-50	M	Us	3,0	2,6	7,3	6	0,5	51	51	-	23	62	0,6	-	58	161
	Diemel	3528920	5716090	50-70	IIM	Us	2,6	2,6	7,3	6	0,6	54	54	-	23	74	0,5	-	62	169
28	Eder	3530700	5667000	0-2	*M	Uls	4,8	0,9	6,9	8	0,3	44	21	-	32	25	0,6	-	56	114
	Eder	3530700	5667000	2-12	Ah	Slu	3,8	0,0	6,8	7	0,3	44	21	-	32	27	0,6	-	42	122
	Eder	3530700	5667000	12-20	Ah	Su4	3,1	0,0	6,9	7	0,3	42	19	-	32	27	0,5	-	38	117
	Eder	3530700	5667000	20-50	AhM	Su4	2,4	0,0	6,7	7	0,2	42	18	-	30	28	0,6	-	26	107

Nutzung: A= Acker, G= Grünland, R= Ruderalvegetation, W= Auenwald \*M-Horizonte = Hochflutablagerungen vom Frühjahr 1994

Damit spiegelt sich in den Gradienten der Schwermetallverteilung die chronologische Entwicklung der Schadstoffbelastung wider, deren Tendenz zumindest bei den Schwermetallen zur Zeit offenbar rückläufig ist. Als vergleichsweise gering belastet kann dabei aber lediglich der Raum um Marburg gelten. Hingegen ergeben sich für die organischen Schadstoffe bei allen Beprobungspunkten Hinweise für eine Zunahme der Schadstoffeinträge in jüngster Zeit, wie an der Tiefenverteilung der PAK- und PCB-Gehalte zu erkennen ist (Abb. 7).

Gänzlich anders sind die Verhältnisse in der Rheinaue. Die in den Hochwassersedimenten von 1994 ermittelten Schadstoffkonzentrationen sind in dem mehr als 50 Flußkilometer umfassenden Beprobungsabschnitt erstaunlich konstant, so daß ein parallel zum Fluß verlaufender Gradient nicht erkennbar ist. In Abb. 8 ist dies am Beispiel der Schwermetalle Pb, Cd und Zn dargestellt.

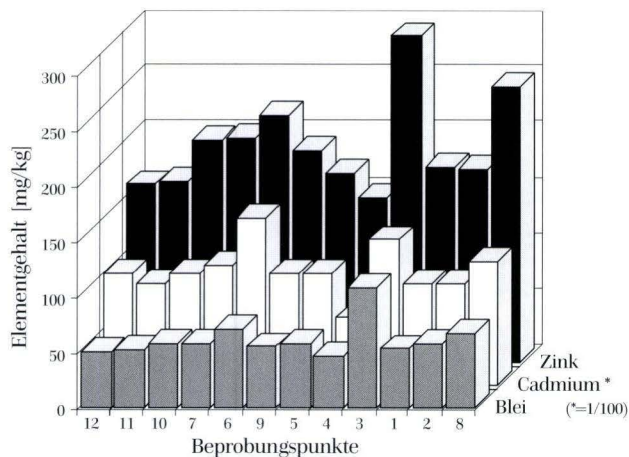


Abb. 8. Schwermetallgehalte in Hochflutsedimenten der Rheinaue.

Wie schon THIEMEYER (1989) und DEHNER (1994) anhand von quer zur Aue gelegten Transekten zeigen konnten, treten die höchsten Schwermetallgehalte in den Böden des unmittelbaren Rheinuferbereichs auf, was auf die interne Reliefdifferenzierung der Aue und die damit verbundene größere Überflutungshäufigkeit zurückgeführt wird.

Die hier vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, daß diese Differenzierung nicht nur bei den Schwermetallen, sondern auch bei den organischen Schadstoffen zu finden ist. Mit Hilfe der gezielt beprobten Hochwasserablagerungen ist es darüber hinaus möglich, die Mechanismen, die zu einer verstärkten Schadstoffbelastung der Auen führen, genauer zu fassen.

Höhere Gehalte lassen sich bei fast allen Schadstoffen für die Beprobungspunkte 3, 6 und 8 feststellen. Die ab-

weichenden Verhältnisse am Punkt 8 sind zweifellos auf die höheren Einträge aus dem Einzugsgebiet des Schwarzbaches zurückzuführen. Dagegen liegen die Punkte 3 und 6 in sehr viel größerer Entfernung zum Rhein als die übrigen. Ebenso wie die Ton- und  $C_{org}$ -Gehalte in den Sedimenten mit wachsender Flußferne zunehmen (4.1.), steigen auch die Schwermetallgehalte mit der Distanz zum Fluß an. Offenbar werden die Schwermetalle, die ja überwiegend an die Tonpartikel und die organische Substanz gebunden sind, mit diesen weit verfrachtet und bei geringen Fließgeschwindigkeiten in den Stillwasserbereichen der Aue sedimentiert. Dieser Zusammenhang wurde für alle Beprobungspunkte statistisch überprüft. Ähnlich wie bei den von MEISSNER et al. (1994) durchgeführten Untersuchungen an der Elbe, ergibt sich für die Elemente Cd und Zn mit Korrelationskoeffizienten von  $r > 0,8$  ein sehr hohes Signifikanzniveau. Daraus folgt, daß mit wachsender Entfernung zum Fluß zwar die Sedimentmächtigkeiten abnehmen, dabei aber die Konzentration der Schwermetalle in den Sedimenten ansteigt. Die Auswirkungen dieser Konzentrationszunahme lassen sich verdeutlichen, wenn die Meßwerte rechnerisch auf die Überflutungsfläche extrapoliert werden. Mit ZANKE (1982) kann für schluffreiche Feinsedimente eine mittlere natürliche Lagerungsdichte von  $1,7 \text{ g/cm}^3$  angenommen werden (s. a. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1982). Geht man bei der Berechnung von gleichen Sedimentmächtigkeiten im ufernahen sowie uferfernen Bereich aus, so steigt bei Zn die Belastung in einer Entfernung von einem Kilometer zum Rhein um das 2,5-fache, bei Cd sogar um das 4-fache des Wertes, der bei unveränderter Schwermetallkonzentration hier erreicht werden würde. Wie diese beiden Beispiele zeigen, können also auch von geringmächtigen, uferfernen Ablagerungen hohe Bodenbelastungen ausgehen.

Auch bei den organischen Schadstoffen wurden im rezenten Überflutungsbereich die höchsten Konzentrationen ermittelt. Die PAK-Gehalte (Summe gemäß EPA-Liste) weisen mit 6 bis 10 mg/kg ein extrem hohes Wertniveau auf und übersteigen alle den Orientierungswert, der nach dem Erlaß für unbelastete Böden in Hessen gilt (HMUEB 1993) (Tab. 2). Der hohe PAK-Gehalt vom Beprobungspunkt 12 (Bonaue) könnte mit der Nähe zu den stromaufwärts gelegenen Industrieanlagen im Raum Mannheim-Ludwigshafen zusammenhängen. Da ein Vergleich der PAK-Summen mit Ergebnissen, die vom HLFB im Rahmen des "Biomonitorings Biebesheim" ermittelt wurden, aufgrund des abweichenden Berechnungsmodus nicht möglich ist, sollen die unterschiedlichen Belastungsniveaus am Beispiel der Einzelsubstanz Benzo(a)pyren verdeutlicht werden. Gegenüber unbelasteten Standorten, für die KAMPE et al. (1987) nur 0,001 bis 0,1 mg/kg Benzo(a)pyren ermittelten, fin-

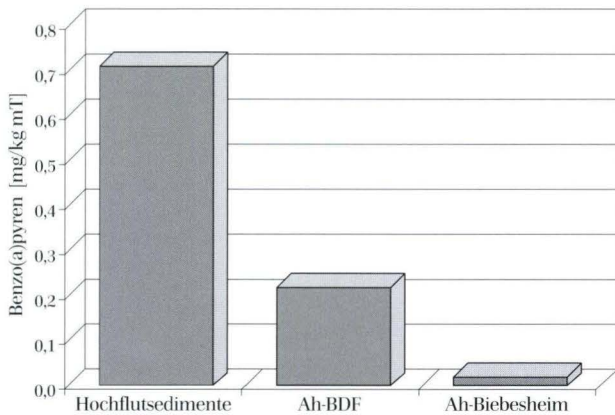


Abb. 9. Mittlere Benzo(a)pyren-Gehalte in verschiedenen Bereichen der Rheinaue.

den sich in den Oberböden im Raum Biebesheim erhöhte Durchschnittsgehalte von 0,02 mg/kg. An der Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) des HLFB ist dieser Wert mit 0,22 mg/kg schon um den Faktor 10 größer. In den aktuellen Hochwassersedimenten werden mit 0,59 bis 1,05 mg/kg sogar 50 bis 100 mal höhere Werte erreicht, womit stellenweise der Prüfwert BW II (1,0 mg/kg) nach EIKMANN & KLOKE (1993) überschritten wird (Abb. 9).

Die höhere Belastung der ufernahen Bereiche des Rheins gegenüber nicht mehr überfluteten Kontrollflächen kommt auch in einer neueren Untersuchung aus Rheinland-Pfalz zum Ausdruck (MfU 1993). Jedoch liegt hier das Wertenniveau der Schadstoffkonzentrationen insgesamt sehr viel niedriger als in Hessen. Vergleicht man etwa den Beprobungspunkt "Eich" auf linksrheinischer Seite mit dem rechtsrheinisch gegenüberliegenden Beprobungspunkt 7 (= BDF), so wird deutlich, daß die am hessischen Rheinufer ermittelten Werte für das gesamte Schwermetallspektrum um den Faktor 2–3 größer sind, und zwar sowohl im aktuellen Überflutungsraum als auch in den hochwasserfreien Kontrollbereichen. Auch die PCB-Gehalte sind bei "Eich" nur etwa halb so hoch, wie die auf der hessischen Seite.

Als Ursache für diese sehr auffälligen Differenzen könnten die spezifischen Strömungsverhältnisse im Rhein in Frage kommen. Denn durch die große Breite und die stellenweise geringen Fließgeschwindigkeiten im Gebiet der Oberrheinebene ist der Strömungszustand über weite Strecken laminar ausgebildet, so daß Abwasserfahnen aus punktuellen Einleitungen häufig erst nach mehreren Zehnerkilometern Fließstrecke vollständig in das Gewässer eingemischt sind (MALLE 1994). Deshalb und wegen der zahlreichen Einleitungen ist entlang der Rheinstrecke stets mit deutlichen Wasserqualitätsunterschieden innerhalb des Flußquerschnitts zu rechnen (HABERER 1991). Darüber hinaus steuert natürlich auch hier die kleinräumig wechselnde Auen-

morphologie die Überflutung und damit die Sedimentationsbedingungen. Welcher dieser Faktoren für das unterschiedliche Belastungsniveau verantwortlich ist, kann an dieser Stelle nicht eindeutig beantwortet werden. Deutlich wird jedoch, daß die Variabilität der Schadstoffkonzentrationen offenbar auch lokal recht groß sein kann, wodurch die Übertragbarkeit punktueller Untersuchungsergebnisse selbst auf kleinem Raum eingeschränkt ist.

#### 4.2.2. Herkunft der Schadstoffe

Beim fluvialen Schadstoffeintrag durch Hochwässer sind für gelöste wie auch partikelgebundene Substanzen zwei verschiedene Quellen denkbar. Die Schadstoffe können sowohl direkt aus aufgewirbelten Sedimenten der Fließgewässersohle freigesetzt werden als auch aus bereits vorbelastetem Bodenmaterial der Aue stammen, das durch das Hochwasser remobilisiert und innerhalb des Überschwemmungsbereichs verlagert wird (HERAVI 1984, KETTERER 1991, MÜLLER 1981).

Selbstverständlich kann für die untersuchten Flußauen keine der beiden Möglichkeiten generell ausgeschlossen werden, aber insbesondere anhand der organischen Schadstoffe lassen sich deutliche Belege dafür finden, daß der Schadstoffeintrag in die Auenböden doch überwiegend durch abgelagerte Sohlsedimente erfolgt. Als hilfreich erweisen sich hierbei Analysedaten von Sohlsediment- und Schwebstoffproben, die von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLfU) regelmäßig aus hessischen Flüssen entnommen und für die vorliegende Untersuchung dankenswerterweise zu Verfügung gestellt wurden.

Schon die PCB- und PAK-Konzentrationen liefern erste Anhaltspunkte, denn vergleicht man die Gesamtgehalte von Schwebstoffproben, die unmittelbar aus den Fließgewässern stammen, mit denjenigen, die in den Hochwasserablagerungen der Auen ermittelt wurden, so zeigt sich, daß die Werte innerhalb einzelner Einzugsgebiete jeweils auf dem gleichen Niveau liegen.

Aus der chemischen Vielgestaltigkeit der organischen Schadstoffe lassen sich aber noch genauere Hinweise über die Herkunft und den Weg des Schadstoffeintrags ableiten. In Abhängigkeit von den industriellen Produktionsverfahren und Prozeßabläufen werden die Einzelsubstanzen, die einer bestimmten Stoffgruppe angehören, in unterschiedlichen Anteilen frei. Das dabei entstehende Kongenerenmuster ist zunächst einmal typisch für den Emittenten. Durch die spezifischen physikochemischen Rahmenbedingungen, die bei der Dispersion und während des Transfers im Medium Luft oder Wasser herrschen, kann das Kongenerenmuster weitere charakteristische Veränderungen erfahren, so daß unter Umständen auch Rückschlüsse auf den Verbrei-

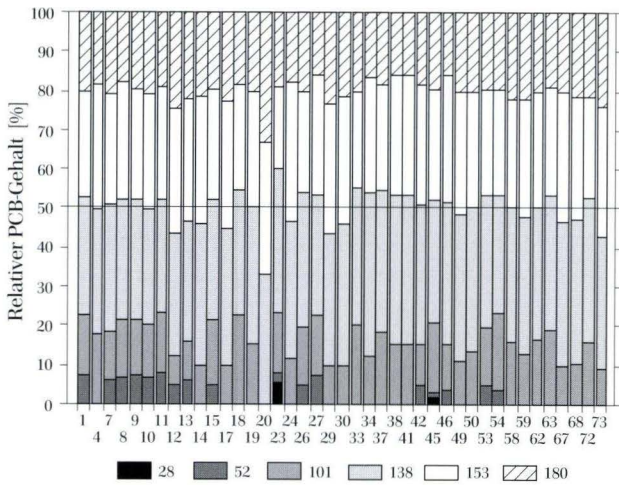


Abb. 10. PCB-Kongeneren-Muster von Böden und Hochflutsedimenten hessischer Auen.

tungsweg möglich sind (TEBAAY et al. 1993, MAHRO & KÄSTNER 1993).

So ist das PCB-Muster, das sich aus den relativen Anteilen der sechs Balschmitter-Kongeneren errechnen läßt, trotz des relativ großen Untersuchungsraumes für fast alle Proben identisch, und zwar unabhängig davon, ob es sich um Bodenproben oder Proben der aktuellen Hochflutsedimente handelt (Abb. 10). Bis auf zwei Ausnahmen fehlt das Kongener 28 völlig und auch Kongener 52 kommt meist nur in sehr geringen Konzentration vor. Höchste Anteile finden sich regelmäßig bei den Kongeneren 138 und 153.

Vergleicht man nun die Proben aus den Auen mit den aus der fließenden Welle gezogenen Schwebstoffproben der HLFU, so ist festzustellen, daß die Schwebstoffe ein etwas anderes Kongeneren-Muster aufweisen (Abb. 11). Die Kongener 28 und 52 kommen hier immer vor. Ihr Anteil am Gesamtgehalt kann bis zu 30 % betragen. Dominant ist aber ebenso wie bei den Bodenproben Kongener 138. Ursache für diese Verschiebung im Kongenerenmuster sind möglicherweise Metabolisierungsprozesse, die im Anschluß an die Sedimentation stattfinden, denn gerade bei den niederchlorierten PCB-Kongeneren sind aufgrund des niedrigeren Molekulargewichtes die Löslichkeit sowie die mikrobiellen und photochemischen Abbauraten größer als bei höherchlorierten (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1982).

Auch das PAK-Muster, das sich in Anlehnung an TEBAAY et al. (1993) als relativer Anteil von sechs ausgewählten PAK-Einzelsubstanzen ergibt, zeigt für alle in den Auen entnommenen Proben ein ähnliches Bild. Mit 30 bis 40 % ist immer der Anteil von Flouranthen dominant, gefolgt von Benzo(a)pyren und Benzo(b)flouranthen. Im Gegensatz zu den PCB, findet sich bei den PAK auch in Schwebstoffproben aus verschiedenen hessischen Flüssen und in Sohlsedimentproben aus dem

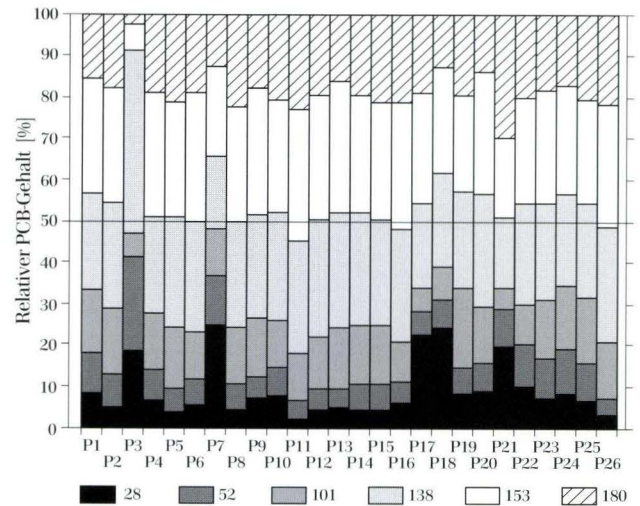


Abb. 11. PCB-Kongeneren-Muster von Schwebstoffen aus hessischen Flüssen.

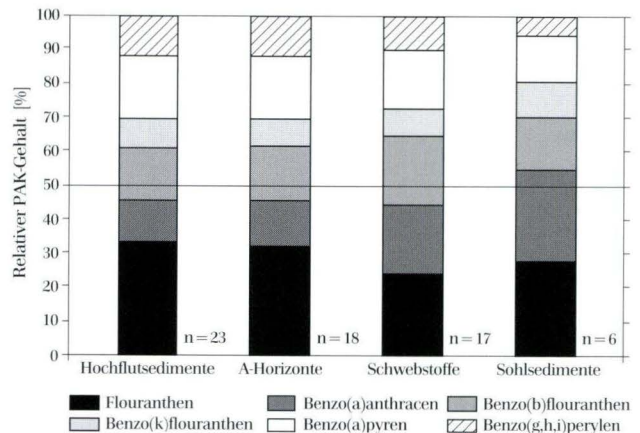


Abb. 12. PAK-Muster von Böden und Sedimenten aus hessischen Auen und Flüssen.

Main ein fast identisches Substanzenmuster wieder. Lediglich die relativen Flouranthen-Anteile sind rund 10 % niedriger, während Benzo(a)anthracen etwa um diesen Betrag höher liegt. Die Abweichungen innerhalb der Probenkollektive sind aber so gering, daß die Muster in Abb. 12 als Mittelwerte dargestellt werden können. Die große Ähnlichkeit zwischen den PAK-Mustern muß als Indiz dafür gewertet werden, daß die PAK-Belastung der Auenböden durch synsedimentäre Einträge belasteter Schwebstoffe verursacht wird.

Die vergleichbaren Gehalte der Einzelsubstanz Benzo(a)pyren, die sich in Schwebstoff-, Hochflutsediment- und Bodenproben der einzelnen Einzugsgebiete finden, stützen diese Vorstellung. Zudem zeigt sich bei einer Gegenüberstellung von Benzo(a)pyren-Gehalten und PAK-Summenwerten, daß die Korrelation für alle aus hessischen Auen entnommenen Proben, also Hochflutsediment und Oberböden, hochsignifikant ist ( $r = 0,99$ , Abb. 13). Der Anteil von Benzo(a)pyren macht an der PAK-

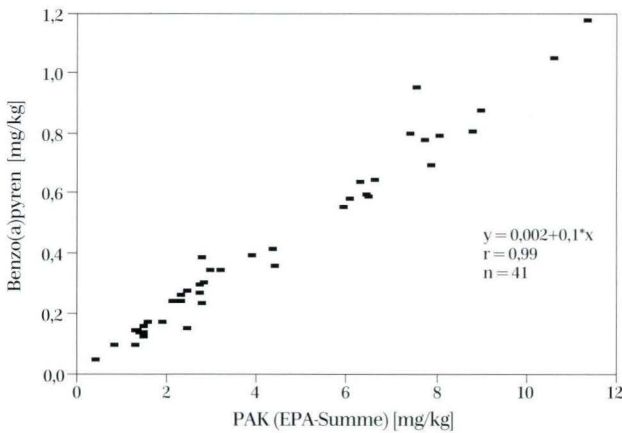


Abb. 13. Zusammenhang von Benzo(a)pyren und PAK-Gehalt.

Summe gleichmäßig 10 % aus, was sich mit Ergebnissen von TEBAAY et al. (1993) deckt.

Noch deutlicher als bei den PAK, geben die Kongenerenmuster der Dioxine Aufschluß über den Weg des Schadstoffeintrags. Die relative Zusammensetzung der 2,3,7,8-Kongenere ist in allen untersuchten Boden- und Hochflutsedimentproben sehr ähnlich und gleicht der typischen Kongenereverteilung, die sich in ungeklärtem Abwasser und Klärschlamm findet. Auch die relative Zusammensetzung der TCDD/F und OCDD/F Summen zeigt für Boden- Sediment- und Schwebstoffproben

ein vergleichbares Bild, bei dem sich mit Anteilen von 70 bis 90 % eine deutliche Dioxin-Dominanz ausmachen läßt (Abb. 14 und 15). Oktachlordibenzo-Dioxin stellt dabei immer den Hauptanteil, was für diffuse Einträge aus unspezifischen Quellen spricht. Zunehmende Furan-Anteile sind hingegen charakteristisch für überwiegend industriell geprägte Immissionen.

Besonders eindrucksvoll zeigt sich der Einfluß industrieller Emissionsquellen bei gewässerparalleler Probennahme. So steigt der relative Furan-Anteil in Schwebstoffproben aus dem Main innerhalb des Ballungsraums Frankfurt-Hanau stark an und liegt nahe der Mündung bei Birschofsheim 20 bis 25 % höher als bei Seligenstadt. Gleiches gilt für die Boden- und Sedimentproben. Das bei Eddersheim beprobte Bodenprofil (Nr. 17) weist etwa doppelt so hohe Furan-Anteile auf wie die Hochwasserablagerungen bei Mühlheim (Nr. 15)(Abb. 14). Im Raum Gießen-Wetzlar ist der industrielle Einfluß ebenfalls über die Homologenverteilung in den Schwebstoffproben nachzuweisen. Zwischen den weit auseinanderliegenden Beprobungspunkten Dorlar und Staffel an der Lahn verdoppeln sich die Furan-Anteile (Abb. 15). Beim direkten Vergleich einzelner Beprobungspunkte ergibt sich oft eine sehr gute Übereinstimmung der Homologenverteilung, beispielsweise für die Schwebstoffproben, die unmittelbar aus dem Rhein stammen und die Hochwasserablagerungen, die in der angrenzenden Rhein-Aue entnommen wurden.

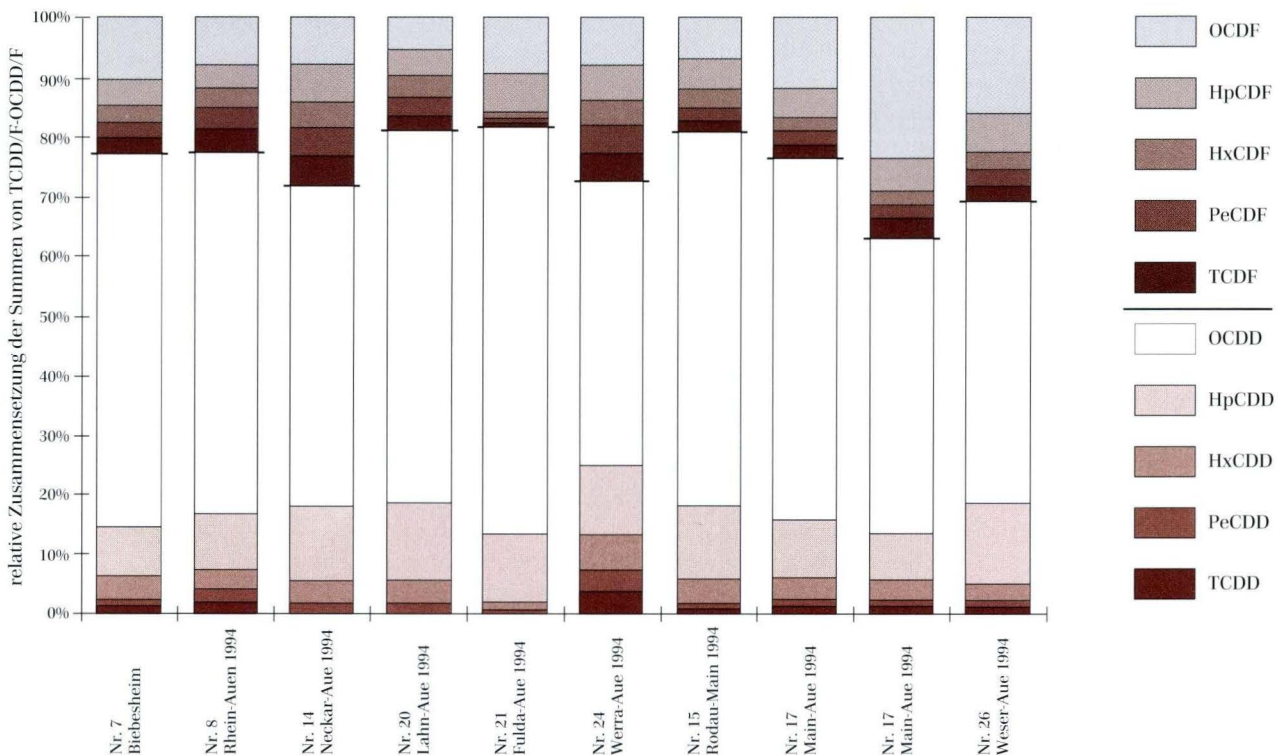


Abb. 14. Relative Zusammensetzung der TCDD/F und OCDD/F von Boden- und Sedimentproben aus hessischen Auen.

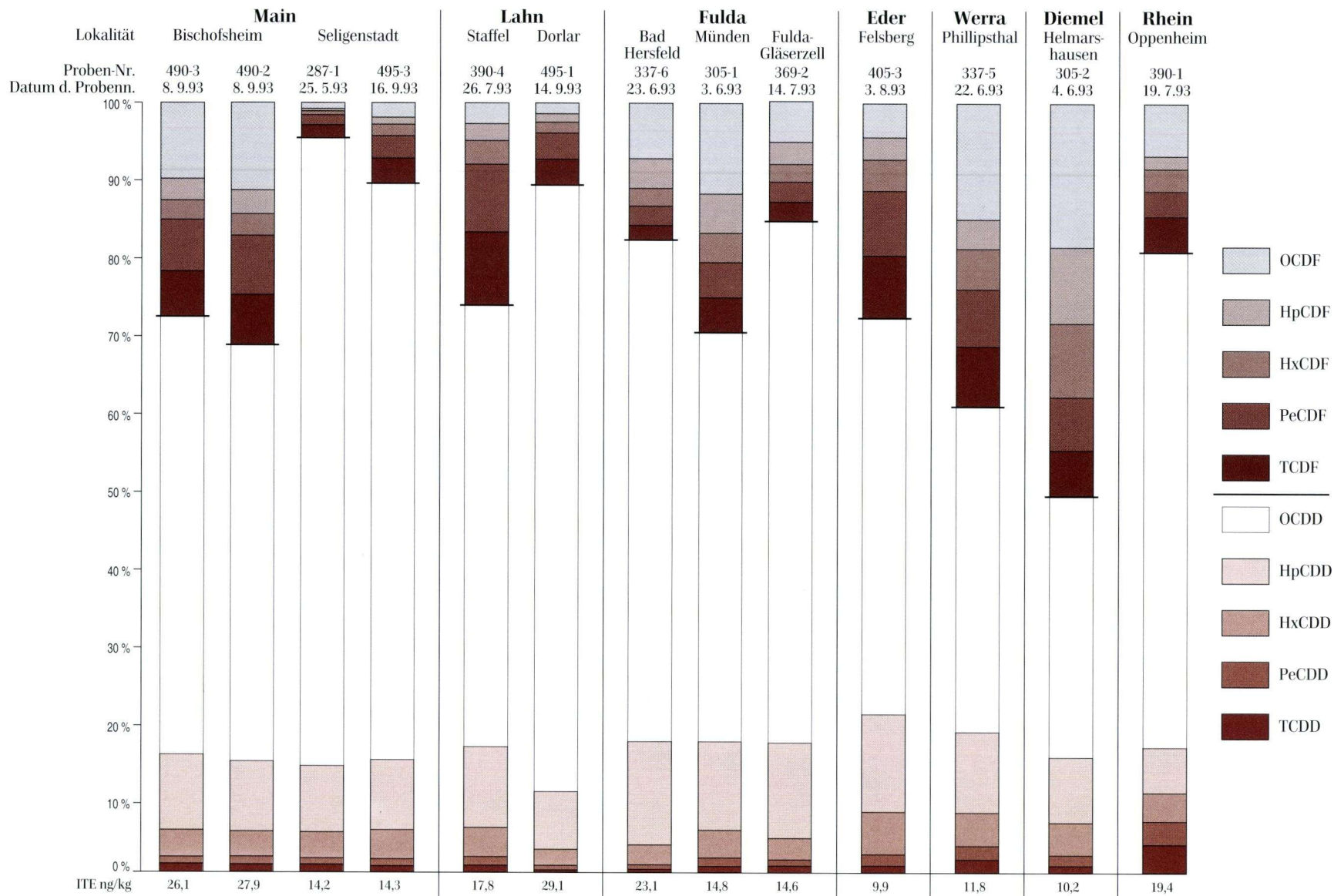


Abb. 15. Relative Zusammensetzung der TCDD/F und OCDD/F von Schwebstoffproben aus hessischen Flüssen (HLFU).

Auch diese Befunde legen den Schluß nahe, daß die Schadstoffeinträge in die Böden der Auen vor allem während der Überflutungsphasen erfolgen, was im Einklang mit Untersuchungsergebnissen über die Bodenbelastung mit PCDD/-F in Überschwemmungsbereichen der Elbe in Niedersachsen steht (NMELF 1993).

#### 4.2.3. Belastungssituation und Belastungsschwerpunkte

Zur Beurteilung der Belastung mit Schwermetallen wird für die Elemente Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Pb und Hg im folgenden die "Klärschlammverordnung" (AbfKlärV 1992) herangezogen. Eine qualitative Einstufung des Belastungsniveaus läßt sich in Anlehnung an den "Bericht zur Schwermetallsituation landwirtschaftlich genutzter Böden in Hessen" (HMLF 1986) vornehmen. Schwermetallgehalte, die weniger als 25 % des Grenzwertes erreichen, werden hierin als "niedrig" belastet, bei 25–50 % als "mittel" und bei 50–75 % als "hoch" belastet eingestuft. Gehalte, die zwischen 75 und 100 % des Grenzwertes liegen, werden schon als "sehr hoch" klassifiziert, bei Gehalten größer 100 % gilt das Belastungsniveau als "überhöht". Die Elemente V, As und Tl sind in der Klärschlammverordnung nicht berücksichtigt, weshalb hier die von EIKMANN & KLOKE (1993) vorgeschlagenen Richt- und Orientierungswerte zur Anwendung kommen.

Da für viele organische Schadstoffe die Grenzwertdiskussion noch nicht abgeschlossen ist und deshalb keine verbindlichen Richtlinien vorliegen, wird die Bewertung von Bodenbelastungen in der einschlägigen Literatur recht uneinheitlich gehandhabt. Auch wenn die Vergleichbarkeit mit anderen Erhebungen nicht in jedem Fall gegeben ist, erfolgt die Bewertung der organischen Schadstoffbelastung hier anhand der Richt- und Orientierungswerte nach EIKMANN & KLOKE (1993) und nach dem hessischen Erlaß zur "Entsorgung von belasteten Böden" (HMUEB 1993). Die in diesem Erlaß festgeschriebenen Orientierungswerte liefern für eine nutzungsbezogene Beurteilung jedoch nur Anhaltspunkte, da sie zur Regelung des zulässigen Schadstoffgehaltes von Bodenaushub aufgestellt wurden. Die Abschätzung der Bodenbelastung durch polychlorierte Dioxine und Furane folgt den Empfehlungen der "Bund-Länder Arbeitsgemeinschaft Dioxine" (BMUNR 1993).

Alle zugrunde gelegten Grenzwerte dienen der Kennzeichnung von Schadstoffbelastungen, die im Sinne der Vorsorge als kritisch zu bewerten sind und langfristige Schädigungen des Bodens und seiner multifunktionalen Nutzungsmöglichkeiten erwarten lassen. Aus geowissenschaftlicher Sicht ist hierbei zu bedenken, daß, im Gegensatz zu den meist anthropogen erzeugten organischen Schadstoffen, Schwermetalle Bestandteil gesteinsbildender Minerale sind. Daher weisen die Böden

jedes Fließgewässerabschnittes eine natürliche Schwermetallverteilung auf, die maßgeblich durch die geochemische Zusammensetzung der im Einzugsgebiet anstehenden Gesteine bestimmt wird (REICHERT & DE HAAR 1982). Durch den sedimentär bedingten, additiven Aufbau der Auenböden kann es in Verbindung mit lokal wie zeitlich stark schwankenden anthropogenen Einträgen zu einer Überlagerung der geogenen Grundgehalte kommen, wodurch ein Vergleich von Schadstoffgehalten, die in Auenböden verschiedener Flußgebiete ermittelt wurden, nicht ganz unproblematisch ist.

Dennoch wird hier der Versuch unternommen, die wenigen Daten, die aus dem relativ großen und naturräumlich vielgestaltigen Untersuchungsgebiet vorliegen, vergleichend gegenüberzustellen und so einige wesentliche Zusammenhänge bezüglich der unterschiedlichen Schadstoffbelastung aufzuzeigen. Bei den in Abb. 16 und 17 dargestellten Mittelwerten ist aber zu beachten, daß die Probenzahl "n" nicht in jedem Fall eine befriedigende Größe erreicht und damit streng statistischen Anforderungen nicht genügt. Die nachfolgenden Ausführungen geben somit nur einen ersten Überblick und sind nicht als generalisierende Beurteilung der Schadstoffbelastung hessischer Auenböden zu verstehen. Die exakten Einzelwerte der Analysen sind in Tab. 1 und 2 aufgeführt.

Die statistische Auswertung der Daten ließ für keine der untersuchten Substanzen eine Normalverteilung erkennen, was besonders bei den Schwermetallen auf anthropogene Einflüsse hinweist (HINDEL & FLEIGE 1991). Auch befriedigende Korrelationen zwischen verschiedenen Schwermetallen finden sich immer nur für einzelne Flußabschnitte. Überregional liegen die Signifikanzniveaus generell sehr niedrig. Verursacht wird dies nur z. T. durch unterschiedliche geogene Hintergrundwerte. Sehr viel stärker wirken sich die spezifischen anthropogenen Zusatzbelastungen aus, die lokal wie stratigraphisch durch jeweils typische Elementkonstellationen auffallen.

##### • Arsen (As)

Die Arsen-Gehalte bewegen sich zwischen 4 mg/kg und maximal 85 mg/kg ( $\bar{x}$  = 11,6 mg/kg). Etwa 95 % des Probenkollektivs bleiben unterhalb des Bodenwerts I (20 mg/kg) nach EIKMANN & KLOKE (1993), bzw. unterhalb des Orientierungswertes für unbelastete Böden gemäß HMUEB (1993; < 30 mg/kg). Extremwerte kommen vergleichsweise selten vor und finden sich nur in den Unterböden bei Eddersheim am **Main**. Auch die Böden im Überflutungsbereich der **Rhein-Aue** weisen im Vergleich zu den übrigen hessischen Flüssen erhöhte Arsen-Gehalte auf (Abb. 16).

##### • Cadmium (Cd)

Die Cadmium-Gehalte umspannen Werte von 0,1–6,9

Schwermetalle und organische Schadstoffe in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen

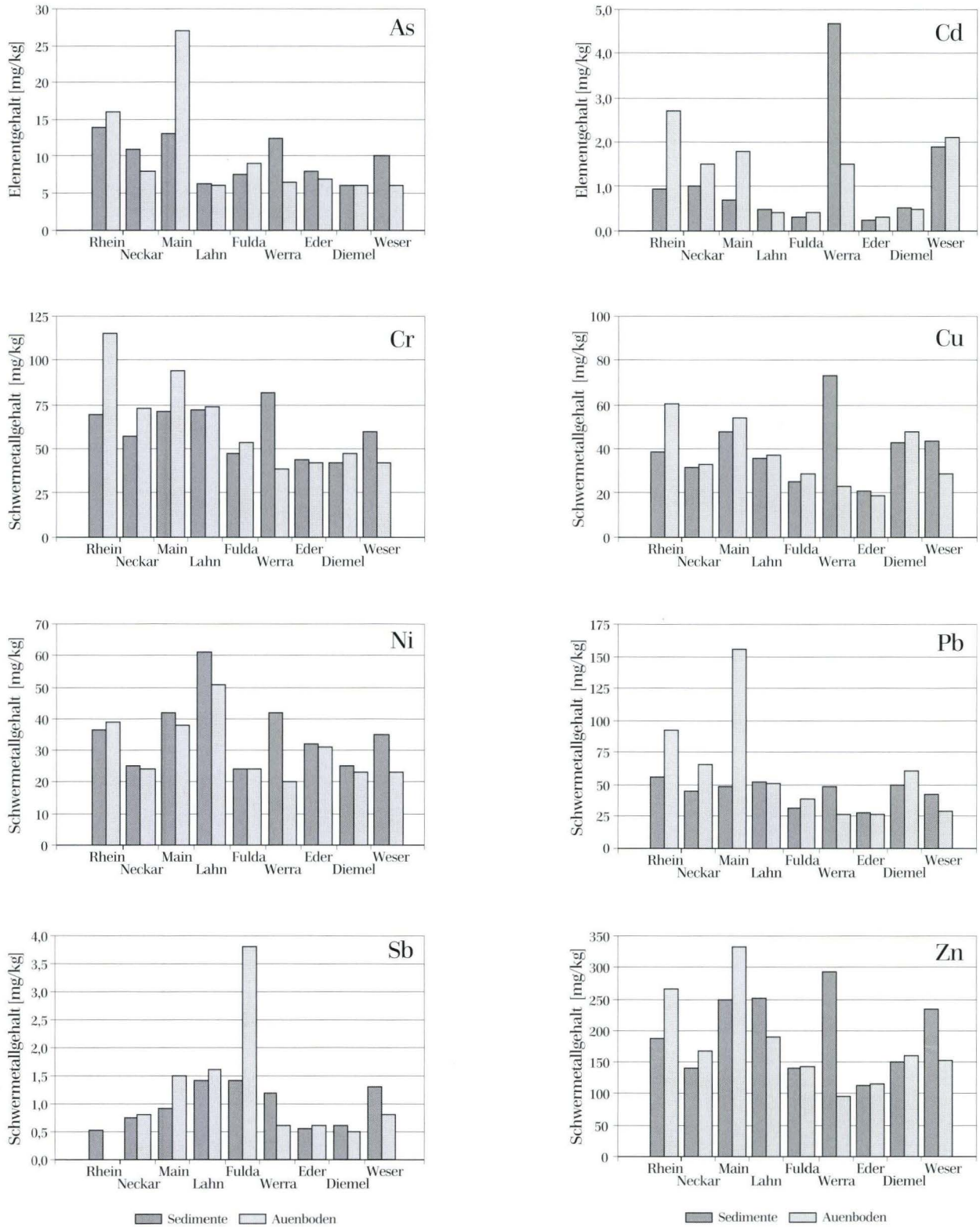


Abb. 16. Mittlere Schwermetallgehalte in Böden und Sedimenten hessischer Auen.



mg/kg ( $x = 1,2 \text{ mg/kg}$ ). Bei 25 % aller untersuchten Proben liegen die Cadmium-Gehalte über dem Grenzwert von  $1,5 \text{ mg/kg}$  nach AbfklärV (1992). Vor allem in den Ober- und Unterbodenhorizonten von **Rhein**, **Neckar** und **Main** sind Überschreitungen häufiger festzustellen. Geringere Gehalte in den aktuellen Hochwassersedimenten könnten hier auf einen Rückgang der gegenwärtigen Cadmium-Einträge hindeuten (MÜLLER et al. 1987). Hingegen zeigen die höheren Mittelwerte, die sich für die jüngsten Hochflutsedimente von **Werra** und **We-**

**ser** errechnen, daß hier die aktuellen Cadmium-Einträge offenbar nicht rückläufig sind (Abb. 16). Für die Cadmium-Belastung hessischer Flußauen ergibt sich damit ein differenziertes Bild. Neben gering belasteten Auenabschnitten, die kaum mehr als die mittlerweile ubiquitären Hintergrundgehalte aufweisen, zeichnen sich einzelne Belastungsschwerpunkte ab, die auf spezifische Emissionen im Einzugsgebiet zurückgeführt werden müssen (FAUTH & SIEVERS 1985, SCHULHEISS & GOOS 1993). So wird auf den flußnahen Ackerflächen bei Philippsthal an der **Werra** der Interventionswert BW III ( $5 \text{ mg/kg}$ ) nach EIKMANN & KLOKE (1993) überschritten.

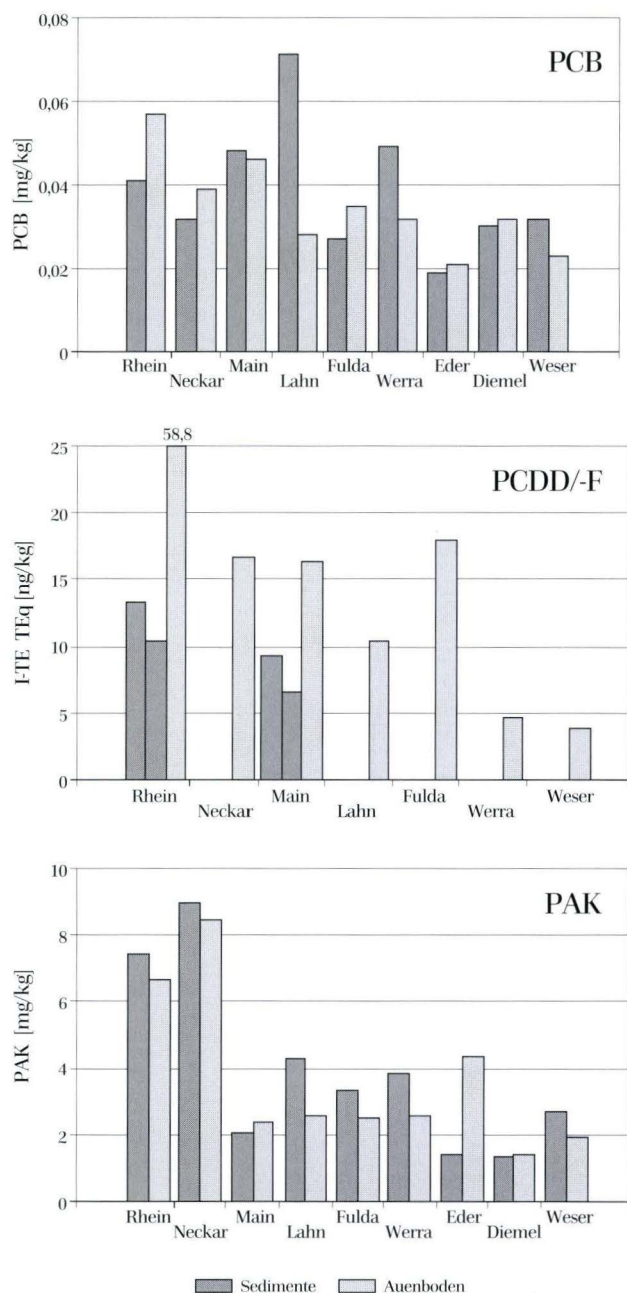


Abb. 17. Mittlere Gehalte organischer Schadstoffe in Böden und Sedimenten hessischer Auen.

• **Chrom (Cr)**

Die Chrom-Gehalte bewegen sich zwischen 26 und 203 mg/kg ( $x = 69,1 \text{ mg/kg}$ ), wobei der Grenzwert von  $100 \text{ mg/kg}$  gemäß AbfklärV (1992) von 85 % der Proben nicht erreicht wird. Deutlich erhöhte Chrom-Gehalte und Überschreitungen des Grenzwertes finden sich in den Auenböden von **Rhein**, **Neckar**, **Main** und **Lahn**. Die geringeren Gehalte in den aktuellen Hochflutsedimenten könnten hier aber auf zurückgehende Einträge hindeuten. Bei insgesamt niedrigerem Belastungs-niveau, sind an **Werra** und **Weser** inverse Verhältnisse erkennbar. Hier sind die Chrom-Konzentrationen in den Hochwasserablagerungen höher als in den Böden, die Belastungstendenz also offenbar im Anstieg begriffen (Abb. 16). Auffällig ist außerdem, daß sowohl die Sediment- als auch die Bodengehalte in der Main-Aue sehr viel höher sind als die im "Luftreinhalteplan Untermain" für Böden aus Hochflut- und Auenlehmen mitgeteilten Durchschnittswerte, die nur bei  $20 \text{ mg/kg}$  liegen (HMUR 1988).

• **Kupfer (Cu)**

Die niedrigste Kupfer-Konzentration fand sich mit  $9 \text{ mg/kg}$  in einem sandigen II Go-Horizont am Neckar, die höchste mit  $108 \text{ mg/kg}$  in einem II M-Horizont an der Lahn bei Wetzlar. Die meisten Proben weisen Werte zwischen 20 und  $60 \text{ mg/kg}$  auf ( $x = 39,7 \text{ mg/kg}$ ). Zwar liegen so 86 % der untersuchten Proben unterhalb des Grenzwertes von  $60 \text{ mg/kg}$  nach AbfklärV (1992), aber viele nur knapp darunter. Grenzwertüberschreitungen finden sich an **Rhein** und **Main**, bleiben hier aber auf die Unterböden beschränkt. Hingegen sind an der **Werra** die aktuellen Hochflutsedimente stark belastet, während die Horizonte der Auenböden deutlich niedrigere Gehalte aufweisen. Dies deutet darauf hin, daß die aktuellen Kupfer-Einträge hier nicht wie in allen anderen untersuchten Flußauen rückläufig sind. Ähnlich ist die Situation an der **Weser**, allerdings ist hier das Belastungs-niveau insgesamt niedriger (Abb. 16). Erhöhte Kupfer-Werte, die sich an der Diemel finden, wurden schon 1976 von SCHNEIDER für den Raum Warburg beschrieben und

**Tab. 2.** Organische Schadstoffe in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen (zur Lage vgl. Abb. 2)

Nr.	Fluss	Entn- tiefe [cm]	Horiz- ont	HCB mg/kg	$\alpha$ -HCH mg/kg	$\beta$ -HCH mg/kg	DDT mg/kg	PCB mg/kg	PAK mg/kg	Benzo-a- mg/kg	PCDD/F ITE ng/kg	Nr.	Fluss	Entn- tiefe [cm]	Horiz- ont	HCB mg/kg	$\alpha$ -HCH mg/kg	$\beta$ -HCH mg/kg	DDT mg/kg	PCB mg/kg	PAK mg/kg	Benzo-a- mg/kg	PCDD/F ITE ng/kg
1	Rhein	0-3	*M	0,111	0,000	0,025	0,026	0,040	8,068	0,790	-	19	Lahn	20-60	M	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Rhein	0-1	*M	-	-	-	-	-	-	-	-		Lahn	0-3	*M	0,003	0,000	0,000	0,000	0,118	7,395	0,797	-
3	Rhein	0-1	*M	-	-	-	-	-	-	-	-	20	Lahn	3-20	M	0,001	0,000	0,000	0,000	0,065	6,431	0,597	10,5
4	Rhein	0-6	*M	0,012	0,007	0,012	0,004	0,028	6,466	0,588	-		Lahn	20-45	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Rhein	0-1	*M	-	-	-	-	-	-	-	-												
6	Rhein	0-1	*M	-	-	-	-	-	-	-	-												
	Rhein	0-1	*M	0,022	0,005	0,020	0,018	0,049	6,608	0,644	13,3	21	Fulda	1-2	*M	0,002	0,000	0,000	0,005	0,030	4,342	0,412	-
7	Rhein	0-2	*M	-	-	-	-	-	-	-	-		Fulda	0-20	rAp	0,004	0,000	0,000	0,012	0,061	3,891	0,397	18,0
	Rhein	2-5	Ah	0,040	0,000	0,010	0,020	0,060	6,690	-	58,8		Fulda	20-45	M	-	-	-	-	-	-	-	-
													Fulda	45-70	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Rhein	0-2	*M	0,101	0,000	0,000	0,007	0,046	7,862	0,694	10,5	22	Fulda	1-2	*M	0,002	0,000	0,000	0,004	0,020	2,990	0,342	-
9	Rhein	0-2	*M	0,025	0,000	0,000	0,025	0,042	6,063	0,578	-		Fulda	2-20	Ah	0,004	0,000	0,000	0,006	0,024	2,307	0,241	-
10	Rhein	0-2	*M	0,004	0,000	0,000	0,022	0,044	5,920	0,554	-		Fulda	20-40	M	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Rhein	0-1	*M	0,021	0,000	0,000	0,013	0,038	7,762	0,776	-		Fulda	40-65	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Rhein	0-5	*M	0,003	0,000	0,000	0,005	0,041	10,588	1,048	-												
	Neckar	0-2	*M	0,000	0,000	0,000	0,017	0,032	8,960	0,872	-	23	Fulda	0-2	*M	0,004	-	-	0,009	0,030	2,741	0,300	-
	Neckar	2-12	IIM	0,002	0,000	0,000	0,005	0,052	11,316	1,176	-		Fulda	2-10	Ah	0,002	-	-	0,004	0,019	1,319	0,144	-
13	Neckar	12-50	IIM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	7,554	0,950	-		Fulda	10-30	AhM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Neckar	50-95	III Go	-	-	-	-	-	0,000	-	-		Fulda	30-50	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-
													Fulda	50-70	IIIM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Neckar	0-20	AhM	0,000	0,000	0,000	0,004	0,040	6,289	0,640	-	24	Werra	1-2	*M	0,000	-	-	0,019	0,011	2,470	0,149	-
14	Neckar	20-70	GoM	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	8,790	0,808	16,7		Werra	2-12	Ah	0,002	-	-	0,015	0,013	1,486	0,120	4,7
	Main	0-3	*M	0,000	-	-	0,014	0,067	2,472	0,273	-		Werra	12-50	M	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Main	3-12	Ah	0,000	-	-	0,009	0,052	1,478	0,159	6,5		Werra	50-80	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Main	12-35	AhM	-	-	-	-	-	-	-	-	25	Werra	1-2	*M	0,000	-	-	0,025	0,013	2,784	0,234	-
	Main	35-60	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-		Werra	2-10	Ah	0,000	-	-	0,023	0,039	1,481	0,139	-
													Werra	10-20	M	-	-	-	-	-	-	-	-
													Werra	20-50	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Main	0-3	*M	0,000	-	-	0,003	0,035	1,583	0,167	-	26	Weser	0-3	*M	0,003	-	-	0,015	0,032	2,719	0,268	-
16	Main	3-10	Ah	0,000	-	-	0,000	0,030	2,825	0,305	-		Weser	3-10	Ah	0,000	-	-	0,007	0,023	1,913	0,167	3,9
	Main	10-40	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-		Weser	10-30	M	-	-	-	-	-	-	-	-
	Main	40-60	Gor	-	-	-	-	-	-	-	-		Weser	30-60	M	-	-	-	-	-	-	-	-
	Main	0-5	*M	0,024	-	-	0,003	0,041	2,151	0,242	9,3	27	Diemel	0-5	*M	0,005	-	-	0,008	0,030	1,314	0,097	-
17	Main	5-12	Ah	0,027	-	-	0,012	0,056	2,724	0,385	16,3		Diemel	5-15	Ap	0,002	-	-	0,004	0,032	1,378	0,145	-
	Main	12-30	M	-	-	-	-	-	-	-	-		Diemel	15-30	ApM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Main	30-50	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-		Diemel	30-50	M	-	-	-	-	-	-	-	-
	Main	50-90	III Go	-	-	-	-	-	-	-	-		Diemel	50-70	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lahn	0-2	*M	0,000	0,000	0,000	0,002	0,020	2,333	0,261	-	28	Eder	0-2	*M	0,000	-	-	0,005	0,019	1,399	0,137	-
18	Lahn	2-20	rAp	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,423	0,045	-		Eder	2-12	Ah	0,000	-	-	0,007	0,021	4,389	0,360	-
	Lahn	20-45	M	-	-	-	-	-	-	-	-		Eder	12-20	Ah	-	-	-	-	-	-	-	-
	Lahn	45-70	IIM	-	-	-	-	-	-	-	-		Eder	20-50	AhM	-	-	-	-	-	-	-	-
19	Lahn	0-1	*M	0,002	0,000	0,000	0,020	0,076	3,204	0,342	-												
	Lahn	1-20	rAp	0,001	0,000	0,000	0,001	0,017	0,816	0,094	-												

Schwermetalle und organische Schadstoffe in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen

dort auf industrielle Einleitungen zurückgeführt. Ebenso wie bei Chrom, sind auch die im Rahmen dieser Untersuchung für die Main-Aue ermittelten Kupfer-Gehalte sehr viel höher als die im "Luftreinhalteplan Untermain" für Böden aus Hochflut- und Auenlehmen mitgeteilten Durchschnittswerte. Mit durchschnittlich 53 mg/kg, gegenüber 19 mg/kg, liegen sie etwa dreimal so hoch (HMUR 1988).

#### • Quecksilber (Hg)

Die Quecksilber-Konzentration wurde nicht in allen Proben bestimmt. Die ermittelten Gehalte bewegen sich zwischen 0,1 mg/kg und maximal 2,1 mg/kg ( $x = 0,5$  mg/kg). Von 40 Werten liegen fünf über dem zulässigen Grenzwert von 1,0 mg/kg gemäß AbfklärV (1992). Davon entfallen allein vier auf den Beprobungspunkt an der **Weser**, womit das gesamte Bodenprofil dort überhöhte Quecksilber-Gehalte aufweist. In allen anderen untersuchten Flußauen sind die ermittelten Gehalte dagegen relativ niedrig, so daß ihre Belastung mit Quecksilber als gering eingestuft werden kann.

#### • Nickel (Ni)

Die Nickel-Gehalte liegen zwischen 13 und 122 mg/kg ( $x = 33,8$  mg/kg). 95 % der Proben liegen unterhalb des Grenzwertes von 50 mg/kg nach AbfklärV (1992). Wie Abbildung 16 zeigt, finden sich deutlich höhere Gehalte nur an der **Lahn**, was mit einem geogenen Einfluß durch die bei Wetzlar einmündende Dill zusammenhängen kann. Die Gehaltsdifferenzen zwischen den aktuellen Hochflutsedimenten und den Böden sind bei fast allen beprobten Flußabschnitten vergleichsweise gering. Abweichende Verhältnisse lassen sich aber wieder für die Werra- und die Weser-Aue feststellen. Möglicherweise findet im Einzugsgebiet beider Gewässer in jüngerer Zeit ein verstärkter Eintrag industriell genutzten Nickels statt, wodurch die höhere Belastung der aktuellen Sedimente verursacht wird. Mit Ausnahme des Beprobungspunktes bei Wetzlar an der Lahn, ist die Nickel-Belastung der hessischen Auen insgesamt nur als mittel zu bewerten.

#### • Blei (Pb)

Die Blei-Gehalte umfassen mit 19–482 mg/kg eine breite Wertespanne ( $x = 63,6$  mg/kg). Die meisten Proben weisen Gehalte zwischen 20 und 60 mg/kg auf, so daß rund 88 % des Probenkollektivs den Grenzwert von 100 mg/kg nach AbfklärV (1992) unterschreiten. Sieht man von Einzelfällen ab, so finden sich häufige Grenzwertüberschreitungen nur in den Auen von **Rhein** und **Main** (Abb. 16), wobei besonders der Beprobungspunkt 17 bei Eddersheim am Main durch extrem hohe Werte in den tieferen Bodenbereichen auffällt. Die sehr viel geringeren Werte, die sich für die jüngsten Hochwasserab-

lagerungen ergeben, lassen sich dahingehend interpretieren, daß in neuerer Zeit die Blei-Immissionen offenbar auch in den urban-industriellen Ballungsgebieten zurückgehen. Jedoch weist das fast identische Wertenniveau, das sich für die Hochwassersedimente in allen untersuchten Flußauen feststellen läßt, auf die mittlerweile ubiquitäre Verbreitung des Bleis hin (BLUME 1990). Sieht man von den hohen Bodengehalten an Rhein und Main einmal ab, so ist die Belastung der übrigen hessischen Auenböden mit Blei als gering bis mittel einzustufen.

#### • Antimon (Sb)

Auch die Antimon-Gehalte umspannen mit Werten von 0,3–10,7 mg/kg einen relativ weiten Bereich ( $x = 1,4$  mg/kg). 35 % der untersuchten Proben überschreiten den Bodenwert I (1,0 mg/kg) nach EIKMANN & KLOKE (1993). Auffällig hohe Antimon-Gehalte finden sich vor allem an der **Fulda**, untergeordnet aber auch an **Lahn** und **Main** (Abb. 16). In den Unterböden des bei Fulda beprobten Profils (21) liegt der Antimon-Gehalt um das 2-fache über dem Bodenwert II (5,0 mg/kg), der nach EIKMANN & KLOKE (1993) für landwirtschaftliche Nutzflächen noch als tolerierbar gilt. Bei Lahn und Main beeinflussen insbesondere die an den Lokalisationen Wetzlar und Eddersheim entnommenen Proben den Mittelwert. Auch an Werra und Weser finden sich erhöhte Werte, hier allerdings in den aktuellen Hochwassersedimenten. Damit stellt sich die Situation ähnlich differenziert dar, wie bei Cadmium. Neben sehr gering belasteten Auenabschnitten zeichnen sich Belastungsschwerpunkte ab, bei denen für die hohen Antimon-Gehalte eigentlich nur Verursacher im kommunalen oder industriellen Bereich in Frage kommen (Abb. 16).

#### • Thallium (Tl)

Etwa die Hälfte aller Proben wurde auf Thallium untersucht, kein Wert lag über 0,1 mg/kg. Für die Schwermetallbelastung hessischer Auenböden spielt das Element Thallium nach bisherigem Kenntnisstand keine Rolle.

#### • Vanadium (V)

Die gemessenen Vanadium-Gehalte bewegen sich im Bereich von 26–95 mg/kg ( $x = 57,7$  mg/kg). Zwei Drittel aller untersuchten Proben weisen Vanadium-Gehalte auf, die den Bodenwert I (50 mg/kg), der nach EIKMANN & KLOKE (1993) noch multifunktionale Nutzungsmöglichkeiten gestattet, überschreiten. Nach FAUTH & SIEVERS (1985) liegt die geogene Vanadium-Konzentration in fluvialen Sedimenten zwischen 40 und 100 mg/kg, so daß die relativ hohen Werte in den hessischen Auenböden nicht unbedingt auf anthropogene Einträge zurückzuführen sind. Auffällig ist aber, daß die aktuellen Hochwasserablage-

rungen regelhaft höhere Vanadium-Gehalte aufweisen als die unterlagernden Bodenhorizonte (Tab. 1). Sedimentgehalte, die um das 1,5- bis 2-fache über den in den Böden ermittelten Werten liegen, wie an **Rhein**, **Eder** und **Weser**, machen einen anthropogenen Einfluß doch wahrscheinlich. Betrachtet man die Tiefenfunktion in den Einzelprofilen, so zeigt sich für die Mehrzahl der untersuchten Standorte eine schrittweise Zunahme der Vanadium-Gehalte von den tiefsten Bodenbereichen bis in die jüngsten Hochwassersedimente. Daraus kann geschlossen werden, daß das bereits in geringem Überschuß für Tiere toxische Vanadium (BLUME 1990) in stärkerem Umfang freigesetzt wird als früher.

#### • Zink (Zn)

Die Zink-Gehalte weisen mit 39–682 mg/kg eine breite Wertespanne auf ( $x = 198,5$  mg/kg). Die meisten Proben haben Gehalte zwischen 100 und 300 mg/kg, womit knapp 50 % des untersuchten Probenkollektivs den Grenzwert von 200 mg/kg nach AbfklärV (1992) überschreiten. Dies schlägt sich in einer Vielzahl von Belastungsschwerpunkten nieder, wie bei Eddersheim am Main, wo die Bodengehalte bis zum 3-fachen über dem zulässigen Grenzwert liegen. Von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind aber praktisch alle Auenböden entlang der großen Flüsse, wie **Rhein**, **Neckar** und **Main**. Niedrigere Gehalte in den Hochflutsedimenten könnten hier ein Indiz für einen Rückgang der aktuellen Zink-Einträge sein. An **Lahn**, **Weser** und besonders an der **Werra** weisen hingegen die jüngsten Ablagerungen sehr viel höhere Gehalte auf als die Böden, woraus sich für diese Gewässer eine zunehmende Belastungstendenz ableiten läßt (Abb. 16). Lediglich an Fulda, Eder und Diemel wird der Grenzwert in fast allen Proben unterschritten. Damit ist insbesondere für die Auen in den urban-industriell geprägten Räumen die Bodenbelastung mit Zink als sehr hoch bis überhöht einzustufen.

#### • Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)

Die Gehalte der chlororganischen Pestizide  $\alpha$ -**HCH** und  $\beta$ -**HCH** liegen bei über 90 % der Proben unterhalb der Nachweisgrenze. Nur in einigen Hochwassersedimenten am Rhein fanden sich geringe Spuren, die zwischen der Nachweisgrenze und maximal 0,025 mg/kg mT lagen.

Obwohl seit 1977 ein Anwendungsverbot existiert, läßt sich wegen der großen Persistenz in vielen Proben noch immer **DDT** nachweisen. Dabei finden sich in den Hochflutsedimenten i. d. R. etwas höhere Gehalte als im Boden, was auf einen Schadstoffabbau oder Umbau zu DDE im Bodenbereich hindeutet (BLUME 1990). Allerdings sind die gemessenen Konzentrationen mit maximal 0,026 mg/kg mT relativ gering. Auch das arithmetische Mittel aus 41 Proben errechnet sich nur zu 0,009

mg/kg. Damit decken sich die Befunde von den Hochflutsedimenten aus Hessen recht gut mit den Ergebnissen von SEIBOLD et al. (1986), die an Sohlsedimenten des Neckars im Raum Stuttgart–Heilbronn DDT-Gehalte von 0,012–0,025 mg/kg mT ermittelten.

Die Gehalte des Fungizids Hexachlorbenzol (**HCB**) schwanken zwischen 0,0 und 0,11 mg/kg mT ( $x = 0,009$ ). Die Ursache für diese große Spanne liegt darin, daß an einigen Flüssen extrem hohe Werte in den Auenböden vorkommen, während sich an anderen Uferabschnitten nur geringe Spuren feststellen lassen. So finden sich die höchsten HCB-Gehalte im Bereich der **Rhein**-Aue, wobei sowohl in den Böden als auch in den aktuellen Hochwasserablagerungen mehrfach Maximalwerte um 0,1 mg/kg mT ermittelt wurden. Die HCB-Gehalte in der Rhein-Aue liegen damit teilweise um das 10-fache über den Werten für wenig belastete Böden, die von KETTERER (1991) mit durchschnittlich 0,01 mg/kg angegeben werden. Leicht erhöhte Werte finden sich außerdem mit 0,024–0,027 mg/kg am Main bei Eddersheim. In den Auen der anderen untersuchten Flüsse liegen die HCB-Gehalte mit Maximalwerten von 0,005 mg/kg mT hingegen sehr viel niedriger, so daß die Böden hier als gering belastet eingestuft werden können. Auch SEIBOLD et al. (1986) fanden in Sohlsedimenten des Neckars mit 0,003–0,004 mg/kg mT HCB-Gehalte in vergleichbarer Größenordnung.

#### • Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die PCB-Gehalte (Summe der Balschmitter-Kongenerne), die an 41 Proben ermittelt wurden, liegen zwischen 0,003 und 0,118 mg/kg mT ( $x = 0,037$ ). Da die PCB-Produktion in der Bundesrepublik erst 1983 eingestellt wurde und die technische Anwendungspalette sehr breit gefächert ist, wird zur Zeit noch immer PCB in die Umwelt freigesetzt und über Luft und Wasser verbreitet (BLUME 1990). Dadurch finden sich in Hochwassersedimenten teilweise deutlich höhere Gehalte als in den unterlagernden Böden. Der Spitzenwert von 0,118 mg/kg wurde in einer Hochflutsedimentprobe gemessen, die aus der **Lahn**-Aue unterhalb von Wetzlar stammt. Hingegen weisen am **Rhein** die Unterböden höchste Gehalte auf. An der Bodendauerbeobachtungsfläche (BDF) bei Biebesheim hat das HLFB Bodengehalte von bis zu 0,16 mg PCB/kg ermittelt. Die Durchschnittswerte, die Abb. 17 zugrunde liegen, geben daher die differenzierte Belastungssituation in den Auenböden nur unzureichend wieder. Neben gering belasteten Standorten, bei denen die PCB-Konzentrationen im Bereich für wenig belastete Böden liegen, den KETTERER (1991) mit 0,02–0,1 mg/kg angibt, ist lokal mit Gehalten zu rechnen, die doppelt so hoch sein können wie der maximale Wert, der für Böden städtischer Regionen in Nordrhein-Westfalen als Hintergrundbelastung gilt (MURL 1994). Der Boden-

wert I (0,2 mg/kg), der nach EIKMANN & KLOKE (1993) noch multifunktionale Nutzungsmöglichkeiten gestattet, wird aber in keiner Probe überschritten.

#### • Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Die PAK-Gehalte, als Summe aus 16 Einzelsubstanzen gemäß EPA-Liste bestimmt, streuen mit Werten zwischen 0,4–11,3 mg/kg mT sehr stark und weisen mit einem arithmetischen Mittel von 4,27 mg/kg auch insgesamt ein sehr hohes Niveau auf. Die höchsten Gehalte finden sich in den Auen von **Rhein, Neckar** und an der **Lahn** bei Wetzlar, wo der Orientierungswert von 5,0 mg/kg, der für unbelastete Böden in Hessen gilt (HMUEB 1993), in allen Proben deutlich überschritten wird. Die übrigen Proben weisen zwar Gehalte auf, die unterhalb dieses Wertes liegen, aber im Vergleich zu Hintergrundwerten für Ackerböden, die nach BLUME (1990) und KAMPE et al. (1987) etwa 0,5–1,0 mg/kg betragen, werden selbst in den geringer belasteten Auenböden Hessens vier bis acht mal höhere PAK-Gehalte erreicht (Abb. 17). Mit Ausnahme von Eder und Main, finden sich immer im Hochflutsediment höhere PAK-Gehalte als in den Oberböden. Dies dürfte damit zusammenhängen, daß die Sorption vorwiegend an Huminstoffen erfolgt, während Tongehalt und pH-Wert keinen signifikanten Einfluß auf die Bindung der PAK besitzen (BLUME 1990). Die sehr hohen Gehalte an der Eder bei Felsberg, könnten allerdings durch eine stärkere Vorbelastung verursacht sein.

#### • Dioxine und Furane (PCDD/-F)

In den analysierten Sediment- und Oberbodenproben liegen die Gehalte an PCDD/-F zwischen 4 und 17 ng TEq/kg (I-TE). An der Bodendauerbeobachtungsfläche des HlFB bei Biebesheim am Rhein wurden in den Unterböden mit Gehalten bis zu 59 ng TEq/kg (I-TE) aber ungleich höhere PCDD/-F-Werte gefunden. Da auch in den Schwebstoffproben, die von der HLFU in den Jahren 1993 und 1994 aus hessischen Fließgewässern entnommen wurden, z. T. Gehalte von mehr als 30 ng TEq/kg (I-TE) festgestellt wurden, geben die wenigen Proben, die aus den Auen bislang vorliegen sicher nicht die gesamte zu erwartende Wertespanne wieder (Abb. 17).

Die Gehalte in den Proben von **Rhein, Neckar, Main, Lahn** und **Fulda** liegen alle über dem Bodenwert I (10 ng/kg) der nach EIKMANN & KLOKE (1993) noch multifunktionale Nutzungsmöglichkeiten gestattet. Aber nach dem 2. Bericht der BLAG-Dioxine (BMNUR 1993) ergeben sich bereits bei Gehalten von 5–40 ng TEq/kg Prüfaufträge und Handlungsempfehlungen für die landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung. Lediglich an Werra und Weser wurden geringere Toxizitätsäquivalente gefunden, die mit rund 4 ng TEq/kg (I-TE) den von der BLAG-Dioxine vorgeschlagenen Grenzwert nur knapp unterschreiten. Die Gehalte, die das HlFB in den Unterböden der Rhein-Aue ermittelt hat, überschreiten hingegen auch den Prüfwert BW II (30 ng/kg) nach EIKMANN & KLOKE (1993).

## 5. Zusammenfassende Bewertung

Obwohl dieser Untersuchung nur punktuelle Daten zugrunde liegen, zeigt sich, daß die Böden in den überwiegend landwirtschaftlich genutzten Überschwemmungsbereichen hessischer Flüsse z. T. sehr hohe Schadstoffbelastungen aufweisen können. Dies ist neben den diffusen atmosphärischen Immissionen vor allem auf die fluvialen Einträge während der Überflutungsphasen zurückzuführen (RIESS & SCHOLL 1990). Gestützt auf die sedimentologischen und pedologischen Befunde, läßt sich anhand der Tiefenverteilung der Schwermetallgehalte für die meisten Beprobungspunkte ein syndimentärer Eintrag der Schadstoffe belegen. Zudem zeigt ein Vergleich mit Analysen von Schwebstoffproben, die von der Hessischen Landesanstalt für Umwelt aus der fließenden Welle gezogen wurden, daß sich in den Böden nicht nur die gleichen Schadstoffgruppen wiederfinden, sondern diese auch in jeweils ähnlichen Konzentrationen vorliegen. Das Schadstoffspektrum und die Höhe der Schadstoffkonzentrationen in den Auenböden sind also überwiegend vom Gewässer

und seinem Einzugsgebiet sowie von der Überschwemmungsdauer und -häufigkeit abhängig.

Zwar ist die Interpretation der Befunde und ihre Übertragbarkeit auf größere Räume mit Einschränkungen behaftet, aber Überschreitungen, die teilweise das Mehrfache der Grenzwerte betragen, lassen sich immer wieder für die Elemente Cadmium, Antimon, Arsen und Zink feststellen. So liegt der Antimon-Gehalt in den Unterböden des bei Fulda-Gläserzell beprobten Profils um das 2-fache über dem Bodenwert II, der nach EIKMANN & KLOKE (1993) für landwirtschaftliche Nutzflächen noch als tolerierbar gilt. Auf den flußnahen Ackerflächen bei Philipsthal an der Werra wird durch die sehr hohen Cadmium-Gehalte sogar der Interventionswert BW III nach EIKMANN & KLOKE (1993) überschritten. Deutliche Überschreitungen des Interventionswertes finden sich auch in den Unterböden des Beprobungspunktes Eddersheim am Main. Sie werden hier aber durch Arsen verursacht, dessen Konzentrationen auch über dem Orientierungswert, der gemäß HMUEB (1993) für unbelastete

te Böden gilt, liegen. Zudem lassen sich in den Auen aller größeren hessischen Flüsse Zink-Gehalte finden, die den Grenzwert nach AbfklärV (1992) überschreiten. Die Schwermetalle Quecksilber und Thallium kommen hingegen nur in geringen Konzentrationen vor, weshalb sie für die allgemeine Belastungssituation der Auenböden ohne Bedeutung sind.

Bei den organischen Schadstoffen fallen insbesondere die PAK in allen beprobten Flußauen durch sehr hohe Konzentrationen auf. An Rhein, Neckar und Lahn wird örtlich der Orientierungswert nach HMu (1993) überschritten. Für HCB und PCDD/-F finden sich nur in den Böden der Rhein-Aue ungewöhnlich hohe Werte. Aber auch in den übrigen untersuchten Flußauen liegen die Dioxin-Gehalte meist über den von der BLAG-Dioxine (BMNUR 1993) vorgeschlagenen Grenzwerten, aus denen sich Prüfaufträge und Handlungsempfehlungen für die landwirtschaftliche und gärtnerische Nutzung ergeben. DDT und HCH sind dagegen fast überall nur in geringen Spuren nachweisbar.

Ogleich sich damit für die landesweite Belastungssituation zunächst ein äußerst komplexes Bild ergibt, lassen sich aus dem vorliegenden Datenmaterial doch einige grundlegende Zusammenhänge ableiten. Gerade an den ausgesprochenen Belastungsschwerpunkten in den urban-industriellen Ballungsgebieten, bei denen sich regelmäßig hohe Gehalte für das gesamte untersuchte Schadstoffspektrum feststellen lassen, weisen vor allem die Unterböden eine hohe Vorbelastung auf. Anhand der niedrigeren Schadstoffgehalte in den aktuellen Hochwassersedimenten kann hier auf einen Rückgang der Immissionen geschlossen werden. Im überwiegend ländlich geprägten Raum zeichnet sich eine gegenläufige Entwicklung ab: Die Unterböden weisen hier zwar eine vergleichsweise geringe Vorbelastung auf, aber die sehr viel höheren Schadstoffgehalte, die sich in den Hochflutsedimenten finden, deuten auf eine in jüngster Zeit zunehmende Belastungstendenz hin. Dieser Anstieg der Schadstoffbelastung, der sich besonders in den Auen kleinerer Flüsse beobachten läßt, dürfte auf die fortschreitende Ausweitung von Wohngebieten und Gewerbeflächen sowie auf die Verlagerung industrieller Ansiedlungen zurückgehen. Verbesserte Reinhaltungsmaßnahmen im Bereich traditioneller Industriestandorte bewirken hingegen eine Verminderung der aktuellen Einträge, so daß sich die Belastung im dortigen Umfeld gegenwärtig auf einem hohen Niveau zu stabilisieren scheint. Zur Bestätigung dieser Trends müßten allerdings regelmäßige Nachuntersuchungen an Hochwasserablagerungen erfolgen.

Die ermittelten Bodenaciditätswerte lassen die Möglichkeit einer Verlagerung von Schwermetallen in den Unterboden zunächst gering erscheinen, da ihre Mobilität erst unterhalb pH 6 deutlich ansteigt (DVWK 1988,

HORNBERG & BRÜMMER 1989). Aber in den tieferen Bodenhorizonten, die im Oszillationsbereich des Grundwassers liegen (Go- und Gr-Horizonte), kann es durch die mit einem Hochwasserereignis einhergehenden Aufspiegelung des Grundwasserkörpers, trotz hoher pH-Werte, zu einer Mobilisierung der Schwermetalle kommen (BRAND 1989). Da vielerorts besonders die grundwasser-nahen Unterböden extrem hoch mit Schwermetallen belastet sind, kann die Möglichkeit eines Eingangs ins Grundwasser nicht generell ausgeschlossen werden.

Unter dem Begriff organische Schadstoffe wird eine ganze Reihe von Substanzen zusammengefaßt, die in ihrer chemischen Grundstruktur zwar ähnlich aufgebaut sind, deren Verhalten in aquatischen und terrestrischen Systemen jedoch sehr verschieden ist. Auf die Adsorption einiger organischer Schadstoffe können sich Boden-pH-Werte, die im Bereich des Neutralpunktes liegen eher hemmend auswirken, während hohe  $C_{org}$ -Gehalte die Sorption begünstigen (GERTH et al. 1991, KETTERER 1991). Von Bedeutung ist dabei auch ob die Schadstoffe in gelöster oder adsorbierter Form eingetragen werden. Die Art der Festlegung im Boden bestimmt letztlich aber die Mobilität der Stoffe. Da solchen speziellen Fragestellungen im Rahmen dieser Untersuchung nicht nachgegangen werden konnte, und bis auf einige Ausnahmen auch keine Informationen über organische Schadstoffgehalte in den Unterböden der Auen vorliegen, sind definitive Aussagen zur Schadstoffverlagerung nicht möglich. Obwohl sich bei einigen Substanzen Hinweise auf Abbauprozesse finden, bleibt eine Einschätzung des Risikopotentials, daß von den stellenweise sehr hohen Schadstoffgehalten ausgehen kann, doch mit großen Unsicherheiten behaftet.

Außer Frage steht hingegen, daß die mit der Ablagerung der Hochwassersedimente verbundene Belastung auf die gesamte Überflutungsfläche wirkt. Der naheliegende Schluß, daß mit verringerter Sedimentmächtigkeit auch die Belastung abnimmt, greift zu kurz. Denn mit wachsender Entfernung zum Fluß nehmen die Sedimentmächtigkeiten zwar ab, da aber gleichzeitig die Konzentration der Schadstoffe in den Sedimenten ansteigt, können auch von geringmächtigen, uferfernen Ablagerungen hohe Belastungen ausgehen. Dieser Sachverhalt ist bei vorliegender Untersuchung zwar nur anhand der Schwermetalle belegt, da aber bei organischen Schadstoffen davon auszugehen ist, daß die Kausalzusammenhänge, die die Sedimentation, Fixierung und Mobilisierung bestimmen, ähnlich strukturiert sind, wie bei den Schwermetallen (HERRMANN et al. 1984, MÜLLER 1979), dürften die oben beschriebenen Verhältnisse auch für organische Schadstoffe zutreffen. Ähnliche Ergebnisse, die TEBAAAY et al. (1993) bei Untersuchungen an Auenböden der Sieg und MEISSNER et al. (1994) in der Elbe-Aue gewannen, stützen diese Auffassung.

**Danksagung:** Der Autor bedankt sich beim Hessischen Ministerium des Innern und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, Referat für Bodenschutz für die Finanzierung des Projektes, bei Herrn P. SEEL (Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden) für die Überlassung unveröffentlichter Untersuchungsergebnisse, bei Herrn E. WEIDNER (Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden) für die Unterstützung bei der Beprobung und Interpretation der Labordaten sowie bei Herrn Dr. STEINWANDER (Hessische Landwirtschaftliche Versuchsanstalt, Darmstadt) für die Analyse der organischen Schadstoffe.

## 7. Schriftenverzeichnis

- AG BODEN, Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 3. Aufl.: 331 S., 19 Abb., 89 Tab.; Hannover.
- AG BODEN, Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 4. Aufl.: 392 S., 33 Abb., 91 Tab.; Hannover.
- AbfklärV (1992): Klärschlammverordnung, Novelle vom 15. 4. 1992, Bundesgesetzblatt, Jg. 1992, I: 912.
- BLUME, H.-P. (1990): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. - 686 S.; Landsberg/Lech (ecomod).
- BRAND, K. (1989): Untersuchungen über die Festlegung und Remobilisierung der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer und Zink bei der Uferfiltration. - Schr. Angew. Geol. Karlsruhe, 6: 1-243; Karlsruhe.
- BMNUR, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1993): 2. Bericht der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft (BLAG) Dioxine - 33 S.; Bonn.
- DEHNER, U. (1994): Das Verteilungsmuster von Schwermetallen in der Rheinaue des Hessischen Rieds. - Geol. Jb. Hessen, 122: 159-171, Wiesbaden..
- DVWK, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (1988): Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil 1: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. - DVWK-Merkbl. z. Wasserwirtschaft., 212: 1-8; Hamburg-Berlin (Parey).
- EIKMANN, TH. & KLOKE, A (1993): Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswert für (Schad-)Stoffe in Böden. - In: ROSENKRANZ, D.; EINSELE, G. & HARRES, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz - ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Berlin.
- EPA, Environmental Protection Agency of the United States of America (1984): Methode 610 - Part VIII, Vol. 49, No. 209.
- FAUTH, H., HINDEL, R., SIEVERS, U. & ZINNER, J. (1985): Geochemischer Atlas für die Bundesrepublik Deutschland. - 79 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GERTH, J., BÖDDEKER, C. & FÖRSTNER, U. (1991): Wechselwirkungen organischer Spurenstoffe mit Bodenkomponenten im System Boden / Wasser und Boden / Öl. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., 63: 107-110; Göttingen.
- HABERER, K. (1991): Die Belastung des Rheins mit Schadstoffen. - GR 43, 6: 334-341; Braunschweig (Westermann).
- HERAVI, F. (1984): Schwermetalle in Flußsedimenten in Abhängigkeit von Sedimentparametern. - Diss. Univ. Erlangen, 130 S.; Erlangen.
- HERRMANN, R., THOMAS, W. & HÜBNER, D. (1984): Verhalten organischer Umweltchemikalien (PCA, PCB und HCH) und eines fäkalen Sterols in der Husumer Aue und auf angrenzenden Watten - Nordfriesland. - Dt. gewässerkdl. Mitt., 28 (4): 101-106; Koblenz.
- HLfB, Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1992): Gutachten über die Schwermetallbelastung der Böden in der Umgebung der Sonderabfall-Verbrennungsanlage Biebesheim, Landkreis Groß-Gerau. - Unveröffentl.; Wiesbaden.
- HLfU, Hessische Landesanstalt für Umwelt (1989): Ergebnisse der Messungen organischer Einzelkomponenten und verschiedener Summenparameter im "Mainmonitoringprogramm" von 1984-87. - Schr. R. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, 108; Wiesbaden.
- HLfU, Hessische Landesanstalt für Umwelt (1994): - Analyseergebnisse zu organischen Schadstoffen aus dem Hessischen Gewässergüte Meßprogramm. - Unveröffentl., Wiesbaden.
- HMLF, Hessisches Ministerium für Landwirtschaft und Forsten (1986): Bericht zur Schwermetall-Situation landwirtschaftlich genutzter Böden in Hessen - Schwermetallbericht; Wiesbaden.
- HMUR, Hessisches Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit (1988): Luftreinhalteplan Untermain. Bericht über die Erhebung der Emissionen, Immissionen und Wirkungen sowie Maßnahmen zum Luftreinhalteplan. - 535 S.; Wiesbaden.
- HMUEB, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten (1993): Entsorgung von belasteten Böden. - StAnz. für das Land Hessen, 5/1993: 331, 1 Anl.; Wiesbaden.
- HINDEL, R. & FLEIGE, H. (1991): Schwermetalle in Böden der Bundesrepublik Deutschland - geogene und anthropogene Anteile. - UBA-Texte, 13, FB 91-020: 137 S.; Berlin.
- HORNBERG, V. & BRÜMMER, G. (1989): Untersuchungen zur Mobilität und Verfügbarkeit von Schwermetallen in Böden. - Mitt. dt. Bodenkdl. Ges. 59/II: 727-737; Göttingen.
- KAMPE, W., ZÜRCHER, C. & JOBST, H. (1987): Potentielle organische Schadstoffe in Böden und Pflanzen nach intensiver Klärschlammmanwendung. - VDLUFA-Schr. R. 23, Kongr.-Bd. 1987: 507-532; Darmstadt.
- KETTERER, S. (1991): Polychlorierte Biphenyle und ausgewählte chlororganische Pestizide in Böden. - Heidelberger geowiss. Abh., 42: 1-149; Heidelberg.
- LENAARS, H. (1989): The dispersal of metal mining wastes in the catchment of the river geul (Belgium - The Netherlands). - Nederlandse Geograf. Stud., 102: 1-200; Utrecht.
- MAHRO, B. & KÄSTNER, M. (1993): PAK-Altlasten - Bewertung der mikrobiellen Sanierung. - Spektrum d. Wissenschaft, 10: 97-100; Heidelberg.
- MALLE, K.-G. (1994): Verschmutzung des Rheins durch Unfälle. - Spektrum d. Wissenschaft., 2: 40-47; Heidelberg.
- MEISSNER, R., GUHR, H., RUPP, H., SEEGER, J. & SPOTT, D. (1994): Heavy metal content of soils and sediments of the river Elbe in selected parts of Germany. - Z. f. Kulturtechnik u. Landentwicklung, 35: 1-9; Berlin-Hamburg (Parey).
- MfU, Ministerium für Umwelt Rheinland-Pfalz (1993): Schadstoffbelastung in Böden und Hochwasserüberflutungsf lächen des Rheins. Kurzfassung. - 32 S.; Mainz.
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins. - Umschau, 79 (24): 778-783; Frankfurt a. M.
- MÜLLER, G. (1981): Sedimente als Kriterien der Wassergüte. Die Schwermetallbelastung des Neckars und seiner Nebenflüsse. - Umschau, 81 (15): 455-458; Frankfurt a. M.
- MÜLLER, G., HAAMANN, R., KUBAT, R. & NOE, K. (1987): Schwermetalle und Nährstoffe in den Böden des Rhein-Neckar-Raumes: Ergebnisse flächendeckender Untersuchungen. - Heidelberger geowiss. Abh., 13: 1-268; Heidelberg.

- MURL, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (1994): Großbrand eines Kunststofflagers in Lengerich. - Dokumentation: 161 S.; Düsseldorf.
- NMELE, Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1993): Niedersächsischer Untersuchungsbericht zur Bodenbelastung durch Dioxine im Überschwemmungsbereich der Elbe, Teil I. - 34 S.; Hannover.
- REICHERT, J. & DE HAAR, U. (1982): Schadstoffe im Wasser. Band I - Metalle. - Forschungsbericht der Deutschen Forschungsgemeinschaft: 446 S.; Boppard.
- RIESS P. & SCHOLL, W. (1990): Schwermetallbelastungen von Böden aus dem Rheinland und aus Baden-Württemberg und deren Bewertung. - VDLUFA-Schr. R. 30, Kongr.-Bd. 1990: 549-556; Darmstadt.
- SCHEFFER, P. & SCHACHTSCHABEL, P. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. - 11. Aufl.: 442 S.; Stuttgart (Enke).
- SCHNEIDER, W. (1976): Geochemie und Hydrochemie des Flußgebietes der Diemel unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle Kupfer, Zink und Blei. - Diss. Univ. Bochum: 114 S.; Bochum.
- SCHULTHEISS S. & GOOS, W. (1993): Altlasten. Eine Einführung für Naturwissenschaftler, Ingenieure und Planer. - 1. Aufl.: 136 S.; Köln.
- SEIBOLD, R., ARNOLD, W. & SCHMIDT, R. (1986): Persistente Chlorkohlenwasserstoffe in Böden, Klärschlämmen und Flußsedimenten. - Bodenschutztagung über Umweltforschung an der Universität Hohenheim. - Hohenheimer Arb.: 77-96; Stuttgart.
- TEBAAY, R., WELP, G. & BRÜMMER, G.-W. (1993): Gehalte an Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren Verteilungsmuster in unterschiedlich belasteten Böden. - Z. Pflanzenähr. Bodenk., 156: 1-10; Weinheim.
- THIEMEYER, H. (1989): Schwermetallgehalte von typischen Böden einer Toposequenz im Hessischen Ried. - Geoökodynamik, 10: 47-63; Bensheim.
- ZANKE, U. (1982): Grundlagen der Sedimentbewegung. - 1. Aufl.: 402 S. Berlin-New York.

Manuskript eingegangen am 4. 6. 1996, angenommen am 9. 7. 1996.



RAINER BLUM\*

# Das internationale geomagnetische Referenzfeld (IGRF 1995) in Hessen für 1998.0 und 1999.0 in 300 m ü. NN

## Kurzfassung

Das geomagnetische Normalfeld für Hessen wird mit den Kugelfunktionskoeffizienten des IGRF 1995 bis zu Grad und Ordnung 10 für die Periode 1998.0 in einer Höhe von 300 m ü. NN berechnet. Die zeitlichen Änderungen der magnetischen Elemente werden angegeben.

## Abstract

The spherical harmonic coefficients till order 10 and degree 10 of the IGRF 1995 are used to compute a magnetic normal field for Hessen in 1998.0, valid for 300 m above m.s.l. Additionally, variations of the magnetic elements with time are given.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	215
2. Die magnetischen Elemente	218
2.1 Das Totalfeld (T)	218
2.2 Das Vertikalfeld (Z)	218
2.3 Die Deklination (D)	218
2.4 Die Inklination (I)	218
3. Schriftenverzeichnis	218

## 1. Einleitung

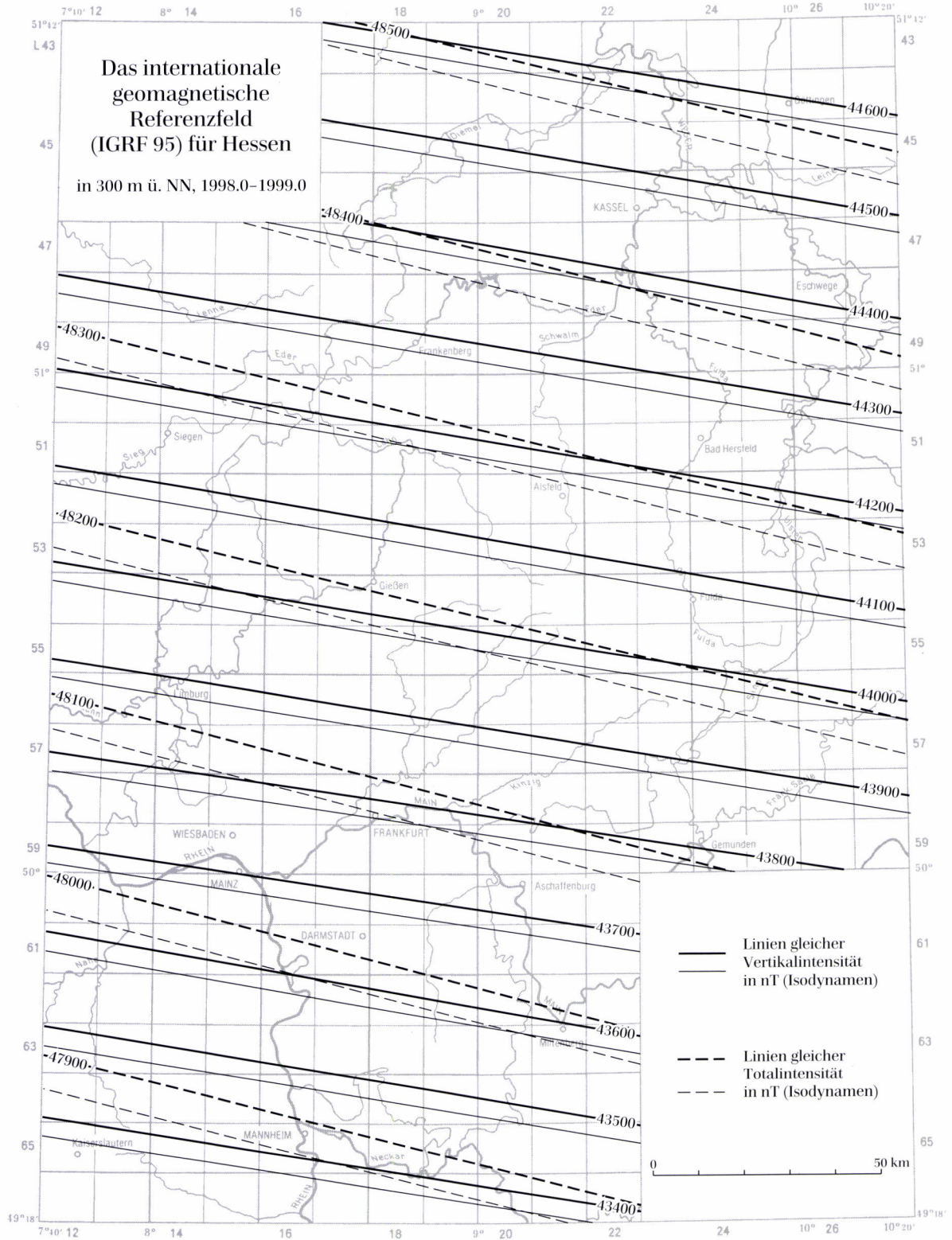
Im Juli 1995 hat die „Internationale Vereinigung für Geomagnetismus und Aeronomie“ (International Association of Geomagnetism and Aeronomy, IAGA) eine Revision des internationalen geomagnetischen Referenzfeldes (IGRF) angenommen. Dabei wurde für 1995 ein endgültiges Feld (DGRF) durch die zugehörigen Koeffizienten der Kugelfunktionsentwicklung definiert; für die Epoche bis zum Jahr 2000 wurden zusätzlich die jährlichen Änderungen dieser Koeffizienten aus der bisherigen Feldentwicklung extrapoliert. Die Koeffizienten und ihre jährlichen Variationen sind unter anderem durch die IAGA (1996) veröffentlicht und erlauben eine Neuberechnung des Normalfeldes für Hessen. Die Methode ist bereits früher beschrieben worden (BLUM 1989).

Wie bei den vorhergehenden Normalfeldern (BLUM 1989, 1993) wurden die Elemente T (Totalfeld), D (Deklination) und I (Inklination), die das Feld vollständig bestimmen, für eine Höhe von 300 m ü. NN berechnet. Zusätzlich wurde nun auch die Vertikalkomponente Z bestimmt, da Anomalien dieser Größe häufiger untersucht werden und auch hierfür ein exaktes Referenzfeld, ohne nötige Umrechnungen, zur Verfügung stehen soll.

Die Darstellung der magnetischen Elemente ist auf 2 Tafeln verteilt, um die Übersichtlichkeit zu erhöhen. Dabei bedeuten die kräftig gezeichneten Linien jeweils den Stand von 1998.0 (= 1.1.1998), die schwächer gezeichneten markieren den Stand von 1999.0 (= 1.1.1999).

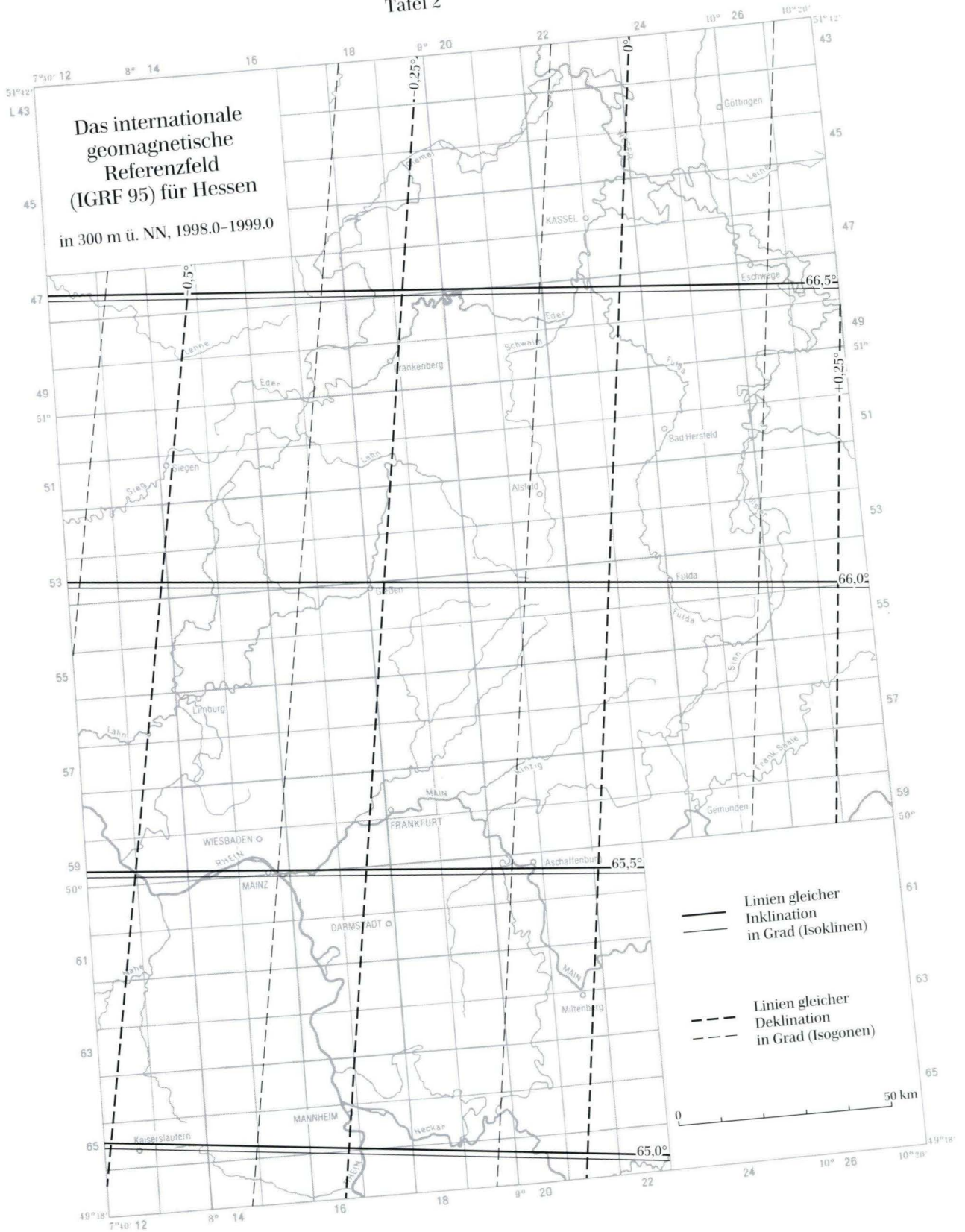
\* Dr. R. BLUM, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Leberberg 9, 65193 Wiesbaden

Tafel 1



Das internationale geomagnetische Referenzfeld (IGRF 1995) in Hessen für 1998.0 und 1999.0 in 300 m ü. NN

Tafel 2



## 2. Die magnetischen Elemente

Die Orts- und Zeitabhängigkeit der magnetischen Elemente ist prinzipiell aus den Tafeln 1 und 2 ersichtlich. Als zusätzliche Hilfe zur Interpolation der Feldelemente für beliebige Orte in Hessen werden im folgenden exakte Gradienten jeweils für einen Ort in Zentralhessen (50,5° N, 8,5° E) angegeben, die Werte in Klammern entsprechen Punkten in Süd- bzw. Nordhessen, 50° N 8° E und 51,3 N 10° E. Bei diesen Ortsgradienten bedeutet  $\partial/\partial x$  die Änderung in Nordrichtung,  $\partial/\partial y$  nach Osten und  $\partial/\partial h$  in der Vertikalen, entgegen der allgemeinen Konvention positiv nach oben.

### 2.1. Das Totalfeld (T)

Während der Epoche von 1990–1995 stieg die Totalintensität (Taf. 1) mit 90 bis 98 nT um 4–5 nT/Jahr weniger stark an, als im IGRF 1990 vorausgesagt worden war. Sie liegt 1998.0 zwischen 47 900 nT im Süden und 48 500 nT im Norden. Horizontal ändert sich das Totalfeld demnach mit  $\partial T/\partial x = 2,41$  nT/km (S: 2,46 nT/km, N: 2,34 nT/km) und  $\partial T/\partial y = 0,648$  nT/km (S: 0,614 nT/km, N: 0,688 nT/km). Der Höhengradient  $\partial T/\partial h$  beträgt im gesamten Kartengebiet -0,022 nT/m, d.h. bei 100 m Höhenzunahme nimmt die Totalintensität um 2,2 nT ab.

Zeitlich wächst die Totalintensität im Mittel um 18,1 nT/Jahr, am schwächsten mit 17,6 nT im NW, am stärksten mit 18,5 nT im SE.

## 4. Die Inklination (I)

Die Inklination stieg von 1990–1995 um 0,02° weniger an als vorhergesagt und liegt 1998.0 (Taf. 2) zwischen 65° im Süden und 66,6° im Norden. Die Horizontalgradienten sind für das Kartengebiet konstant mit  $\partial I/\partial x = 7 \cdot 10^{-3}$  °/km und  $\partial I/\partial y = 10^{-3}$  °/km anzusetzen. Die Abnahme mit

### 2.2. Die Vertikalkomponente (Z)

Sie steigt von 43 500 nT im Süden auf 44 600 nT im Norden (s. Taf. 1) an. Dem entsprechen die horizontalen Gradienten  $\partial Z/\partial x = 4,69$  nT/km (S: 4,82 nT/km, N: 4,51 nT/km) und  $\partial Z/\partial y = 0,82$  nT/km (S: 0,78 nT/km, N: 0,83 nT/km). Der Höhengradient beträgt im gesamten Kartengebiet -0,0204 nT/m, d.h. die Vertikalkomponente nimmt bei einem Höhenzuwachs von 100 m um 2,04 nT ab.

Zeitlich wächst die Vertikalintensität im Mittel um 18,1 nT/Jahr, am langsamsten im SW mit 17 nT, am raschesten im NE mit 19 nT.

### 2.3. Die Deklination (D)

Die Deklination ist von 1990 bis 1995 geringfügig stärker angestiegen als im IGRF 1990 prognostiziert war, die Differenz zwischen tatsächlicher und vorhergesagter Änderung beträgt maximal 0,03°. Die Deklination liegt nun 1998.0 (Taf. 2) zwischen -0,5° (= 0,5° W) und 0,25° (= 0,25° E). Die zugehörigen Horizontalgradienten können für das gesamte Kartengebiet als konstant betrachtet werden, nämlich mit  $\partial D/\partial x = 0,7 \cdot 10^{-3}$  °/km und  $\partial D/\partial y = 0,5 \cdot 10^{-3}$  °/km. Der Höhengradient  $\partial D/\partial h$  beträgt  $10^{-5}$  °/m.

Zeitlich wächst die Deklination im Mittel pro Jahr um 0,091°, am stärksten im NW mit 0,096°, am schwächsten im Osten mit 0,086°.

der Höhe erreicht im gesamten Kartengebiet maximal  $10^{-5}$  °/m.

Die Inklination wächst im gesamten Kartengebiet pro Jahr um  $6 \cdot 10^{-3}$  °.

## 3. Schriftenverzeichnis

BLUM, R. (1989): Das internationale geomagnetische Referenzfeld (IGRF 85) für Hessen in 300 m ü. NN. – Geol. Jb. Hessen, **117**: 251–253, 1 Taf.; Wiesbaden.

BLUM, R. (1993): Das internationale geomagnetische Referenzfeld (IGRF 1990) in Hessen für 1993.0. – Geol. Jb. Hessen, **121**, 187–189, 1 Taf.; Wiesbaden.

IAGA Division V Working Group 8 (1996): Revision of International Geomagnetic Reference Field Released, EOS, 77, no. **16**: 153; Washington.

Manuskript eingegangen und angenommen am 14. 8. 1996

## **Inhalt Teil 2**

### **Seite 123**

S. DREHER:

Magmatismus, Bruchstrukturen und Schollenbau im Vorderen Vogelsberg: Eine Interpretation geomagnetischer Daten

### **Seite 137**

F. LEMMER & D. RAMBOW:

Abgedeckte geologische Karte, Höhenlage der Quartärbasis und Mächtigkeitverteilung von pleistozäner Terrassenkiesen im Raum Kassel (Nordhessen), insbesondere im Gebiet östlich der Fulda (Bettenhausen und Waldau)

### **Seite 149**

A. HOPPE, A. KÖTT, G.

MITTELBACH & D. ULMER:

Ein Raumbild quartärer Grundwasserleiter und Grundwassernichtleiter im nördlichen Oberrheingraben

### **Seite 159**

H. IVEN:

Grundwasseranreicherung im Hessischen Ried

### **Seite 175**

F. ROSENBERG & G. MITTELBACH:

Geogene Arsenanreicherungen im Wiesbadener Bergkirchenviertel

### **Seite 191**

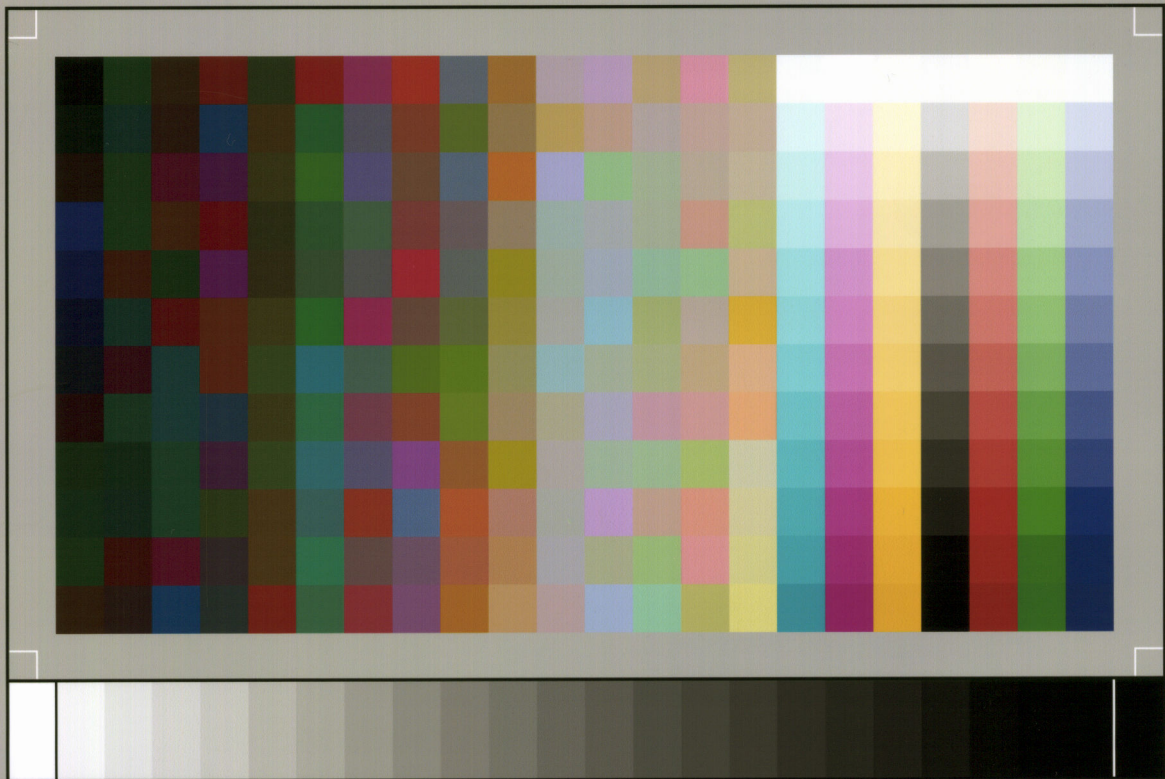
K.-M. MOLDENHAUER:

Schwermetalle und organische Schadstoffe in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen

### **Seite 215**

R. BLUM:

Das Internationale geomagnetische Referenzfeld (IGRF 1995) in Hessen für 1998.0 und 1999.0 in 300 m ü. NN



SP050509001

ScanPrint® *autopilot* Scan Target v2.0