



**Geologie  
und Paläontologie  
in Westfalen**

**Heft 9**

**Sporen und Phytoplankton aus den  
Raumländer Schichten (Bl. 4916 Bad Berleburg)**

LOTHAR SCHÖLLMANN

---

**Hydrologische Markierungsversuche in Westfalen:  
Ein historischer Überblick**

DIETER W. ZYGOWSKI





## Hinweise für Autoren

In der Schriftenreihe **Geologie und Paläontologie in Westfalen** werden geowissenschaftliche Beiträge veröffentlicht, die den Raum Westfalen betreffen.

Druckfertige Manuskripte sind an die Schriftleitung zu schicken.

### Aufbau des Manuskriptes

1. Titel kurz und bezeichnend.
2. Klare Gliederung.
3. Zusammenfassung in Deutsch am Anfang der Arbeit.

### Äußere Form

4. Manuskriptblätter einseitig und weitzeitig beschreiben; Maschinenschrift, Verbesserungen in Druckschrift.
5. Unter der Überschrift: Name des Autors (ausgeschrieben), Anzahl der Abbildungen, Tabellen und Tafeln; Anschrift des Autors auf der 1. Seite unten.
6. Literaturzitate im Text werden wie folgt ausgeführt: (AUTOR, Erscheinungsjahr: evtl. Seite) oder AUTOR (Erscheinungsjahr: evtl. Seite). Angeführte Schriften werden am Schluß der Arbeit geschlossen als Literaturverzeichnis nach den Autoren alphabetisch geordnet. Das Literaturverzeichnis ist nach folgendem Muster anzuordnen:

SIEGFRIED, P. (1959): Das Mammut von Ahlen (*Mammonteus primigenius* BLUMENB.). – Paläont. Z. 30, 3: 172 – 184, 3 Abb., 4 Taf.; Stuttgart.

WEGNER, T. (1926): Geologie Westfalens und der angrenzenden Gebiete. 2. Aufl. – 500 S., 1 Taf., 244 Abb.; Paderborn (Schöningh).

7. Schrifttypen im Text:

doppelt unterstrichen = **Fettdruck**.

einfach unterstrichen oder gesperrt = Sperrung.

Gattungs- und Artnamen unterschlingeln = *Kursivdruck*.

Autorennamen durch GROSSBUCHSTABEN wiedergeben.

### Abbildungsvorlagen

8. In den Text eingefügte Bilddarstellungen sind Abbildungen (Abb. 2). Auf den Tafeln stehen Figuren (Taf. 3, Fig.2) oder Profile (Taf. 5, Profil 2).
9. Strichzeichnungen können auf Transparentpapier oder Photohochglanzpapier vorgelegt werden. Photographien müssen auf Hochglanzpapier abgezogen sein.

### Korrekturen

10. Korrekturfahnen werden den Autoren einmalig zugestellt.  
Korrekturen gegen das Manuskript gehen auf Rechnung des Autors.

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich.

Schriftleitung: Dr. Peter Lanser  
Westfälisches Museum für Naturkunde  
Sentruper Straße 285  
4400 Münster

# **Geologie und Paläontologie in Westfalen**

**Heft 9**

Herausgeber:  
Westfälisches Museum für Archäologie  
– Amt für Bodendenkmalpflege –  
und  
Westfälisches Museum für Naturkunde

## **Sporen und Phytoplankton aus den Raumländer Schichten (Bl. 4916 Bad Berleburg)**

LOTHAR SCHÖLLMANN

## **Hydrologische Markierungsversuche in Westfalen: Ein historischer Überblick**

DIETER W. ZYGOWSKI

Geol. Paläont. Westf.	<b>9</b>	68 S.	7 Abb. 6 Tab. 3 Taf.	Münster November 1987
--------------------------	----------	-------	----------------------------	--------------------------

ISSN 0176-148X  
ISBN 3-924590-12-5

© 1987 Landschaftsverband Westfalen-Lippe

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung des LWL reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

## Inhalt

	Seite
SCHÖLLMANN, L.: Sporen und Phytoplankton aus den Raumländer Schichten (Bl. 4916 Bad Berleburg) .....	7
ZYGOWSKI, D. W.: Hydrologische Markierungsversuche in Westfalen: Ein historischer Überblick	39

Handwritten scribbles and marks at the top left of the page.

Geol. Paläont. Westf.	9	31 S.	6 Abb. 1 Tab. 3 Taf.	Münster November 1987
--------------------------	---	-------	----------------------------	--------------------------

## Sporen und Phytoplanton aus den Raumländer Schichten (Bl. 4916 Bad Berleburg)

LOTHAR SCHÖLLMANN\*

### Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	8
2. Lage der Profile .....	8
3. Petrographie der untersuchten Gesteine .....	8
4. Arbeitsmethodik .....	8
4.1 Probennahme .....	8
4.2 Aufbereitung und Präparation .....	9
5. Verbreitung und Erhaltung der Palynomorphen .....	10
6. Systematische Palynologie .....	11
6.1 Anteturma Sporites H. POTONIÉ 1893 .....	11
6.1.1 Subturma Azonotriletes LUBER 1935 emend. DETTMANN 1963 .....	12
6.1.1.1 Infraturma Laevigati BENNIE & KIDSTONE 1886 emend. POTONIÉ 1956 ....	12
6.1.1.2 Infraturma Apiculati BENNIE & KIDSTONE 1886 emend. POTONIÉ 1956 ....	14
6.1.1.3 Infraturma Murornati POTONIÉ & KREMP 1954 .....	15
6.1.2 Subturma Zonotriletes WALTZ 1935 .....	19
6.1.2.1 Infraturma Cingulati POTONIÉ & KLAUS 1954 emend. DETTMANN 1963 ....	19
6.1.2.2 Infraturma Zonati POTONIÉ & KREMP 1954 .....	20
6.1.3 Incertae sedis. ....	21
6.2 Acritarcha .....	21
7. Deutung der Ergebnisse .....	24
7.1 Sporen .....	24
7.2 Acritarchen .....	25
8. Literaturverzeichnis .....	26

---

\* Anschrift des Verfassers: Lothar Schöllmann  
Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität,  
Corrensstraße 24  
D-4400 Münster

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. F. STRAUCH, der die Anregung zur Veröffentlichung gab und das Manuskript kritisch durchsah. Herrn Dr. G. SCHULTZ (Köln), der mir viele Ratschläge zur Aufbereitung gab, und der sich einige Problematika ansah, möchte ich ebenfalls danken.

## Zusammenfassung:

Aus den Schwarzschieferzwischenlagen der Quarzite der Raumländer Schichten (Eifel-Stufe; Bl. 4916 Bad Berleburg) konnte eine Sporen- und Acritarchenassoziation isoliert werden. Die Sporen sind in Bezug auf ihre Größe atypisch für das Mitteldevon. Das Vorkommen bestimmter Acritarchengroßgruppen stellte sich als faziesabhängig heraus.

Die Grenze Eifel-/Givet Stufe, die in der Wittgensteiner Mulde noch nicht fixiert ist, konnte auch mit Hilfe der Palynomorphen nicht festgelegt werden.

## 1.0 Einleitung

Auf Anregung von Herrn Prof. Dr. F. STRAUCH wurde ein Teil der mitteldevonischen Schwarzschiefer, die bisher nur eine sehr schlecht erhaltene Makrofauna geliefert haben, auf Palynomorpha hin untersucht.

## 2.0 Lage der Profile

Die untersuchten Schichten befinden sich am Nordflügel der Wittgensteiner Mulde (SW' Teil des Bl. 4916 Bad Berleburg). Die für die palynologischen Untersuchungen ausgesuchten Profile befinden sich im Stbr. Hillerberg (s. Abb. 1) und am Westhang des Burgberges. Im Stbr. Hillerberg stand ein nahezu vollständiges Profil des Unteren Quarzits zur Verfügung (zur Auswahl der lithologischen Einheiten s. Kap. 3), welches detailliert aufgenommen wurde, um die genauen Entnahmepunkte der Proben (s. Tab. 1) festzuhalten. Da am Westhang des Burgberges kein durchgehendes Profil vorliegt, unterließ der Bearbeiter hier eine genaue Profilaufnahme.

## 3.0 Petrographie der untersuchten Gesteine

Bei den für die Mikroflorenanalyse herangezogenen Gesteinen (Zwischenlagen des Unteren- und Oberen Quarzits der Raumländer Schichten (de), vgl. Abb. 2 u. 3) handelt es sich um dickschieferige, z.T. auch scherbzig zerfallende, dunkelgraue bis schwarze Tonschiefer, die schwach sandig oder sandstreifig ausgebildet sein können. Die Tonsteine zeigen eine feine Schichtung im Bereich von 1-5 mm, die durch den Wechsel von schwarzen und grauen Lagen zustande kommt. Der Farbunterschied wird durch unterschiedliche Gehalte an Pyrit und organischem Material verursacht. Sehr selten sind dünne, schwarze Kalkschichten vorhanden (vgl. Kap. 4.2). Die Schwarzschiefer verwittern mit grauen Farben.

## 4.0 Arbeitsmethodik

### 4.1 Probennahme

Die in der Wittgensteiner Mulde weit verbreiteten Tonsteine sind meist stark geschiefert, so daß sie für eine palynologische Untersuchung nicht in Betracht kommen (Berleburger Schichten, Dachschieferfolge, Schwarzschiefer des Givet und Adorf; vgl. jeweils mit Kap. 3 im Teil 1 der Arbeit).

Deshalb fanden die Tonschiefer-Zwischenlagen der Quarzite der Raumländer Schichten, die nur zum Teil stark geschiefert sind, Verwendung.

In dem Säulenprofil der Tab. 1 sind die lithologischen Einheiten des Unt. Quarzits wiedergegeben. Eine regelmäßige Probenentnahme (z.B. alle 10 cm) war nicht durchführbar, da zum einen die Tonschiefer mit Sandsteinen und quarzitischen Sandsteinen wechsellagern und zum anderen die Schwarzschiefer stel-

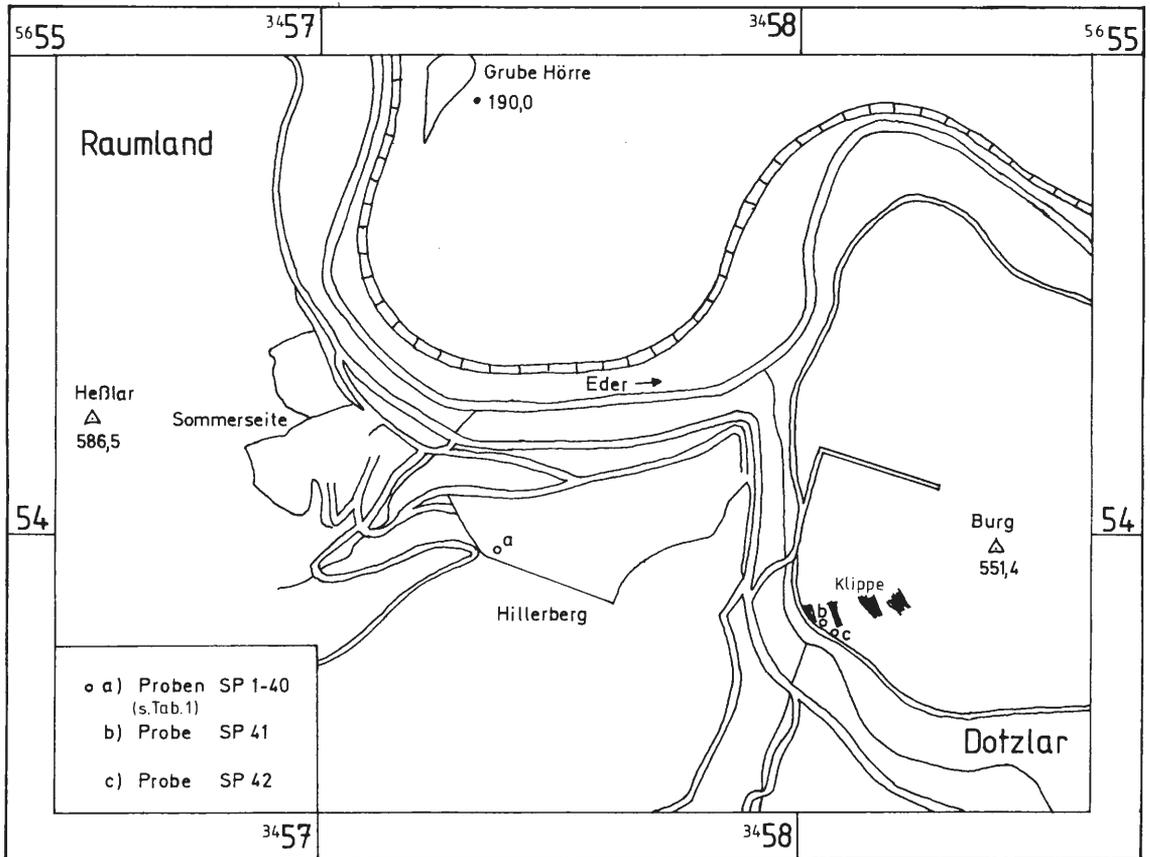


Abb. 1: Lage der Profile

lenweise stark geschiefert sind. Die Beprobung mußte sich also nach den jeweiligen Gegebenheiten richten.

## 4.2 Aufbereitung und Präparation

Die Aufbereitung erfolgte nach KUMMEL & RAUP (1955), wobei jedoch einige an das Material angepaßte Modifikationen vorgenommen werden mußten. Aus diesem Grund und weil die o.g. Arbeitsvorschrift sehr knapp gehalten ist, wird die Aufbereitung etwas ausführlicher abgehandelt.

Die mit Wasser gereinigten und anschließend getrockneten Proben wurden in einem Backenbrecher auf mm-Körnung zerkleinert und die Fraktion  $> 1$  mm durch Sieben abgetrennt. Von der Fraktion  $< 1$  mm wurden ca. 50 g mit konz. Salzsäure entkarbonatisiert. Dies sollte eine Fluoritbildung bei der Flußsäurebehandlung verhindern, die sich bei den Siebvorgängen sehr störend bemerkbar machen würde. Die Proben zeigten bei der Salzsäurebehandlung in den meisten Fälle keine Reaktion. Nach 12 Stunden konnte die Säure dekantiert werden. Das Probenmaterial mußte nun, um die Salzsäurereste zu entfernen, dreimal mit Aqua dest. gespült werden, wobei nach jedem Spülvorgang zentrifugiert wurde.

Das mit Wasser benetzte entkarbonatisierte Material kam mit 38-40-%iger technischer Flußsäure in Polyäthylenflaschen, die mehrmals täglich zu schütteln waren, um ein schnelles und gleichmäßiges Auflösen der Silikate zu gewährleisten. Nach anfänglichen exothermen Reaktionen verblieb das Material noch 10 Tage in den Flaschen. Die Flußsäure wurde durch dreimaliges Spülen mit Aqua dest. und jeweiligem anschließendem Zentrifugieren ausgewaschen. Mit konz. Salzsäure wurden anschließend die Fluoride beseitigt.



Abb. 2: Ausschnitt des Profils im Unteren Quarzit (deRa,q1): Die Schwarzschieferlagen zwischen den quarzitischen Sandsteinen und Sandsteinen, die für die Untersuchungen herangezogen wurden, lassen sich auf dem Bild gut erkennen. Die Schichten werden durch eine kleine Störung gegeneinander versetzt (vergl. Tab. 1), deren Versatzbetrag nicht ermittelt werden konnte.

Der Rückstand konnte nun durch ein 0,025 mm Sieb gezogen werden, um eine Anreicherung des Probenmaterials zu erzielen. Die hoch inkohlten und deshalb völlig opaken Palynomorphen kamen nun mit Kaliumchlorat und konz. Salpetersäure (Schultzsches Gemisch) im Verhältnis 1:1:3 (nach KUMMEL & RAUP 1955:558-559) in ein kleines Becherglas, das in ein halb mit Wasser gefülltes großes Becherglas gestellt wurde (Verfahren nach einer mündlichen Mitteilung von G. SCHULTZ).

So vorbereitet wurden die Probenrückstände 3-7 Stunden gekocht, wobei nach 3 Std. alle 10 Minuten der Oxydationsgrad kontrolliert werden mußte. Waren die Palynomorphen ausreichend aufgehellt, konnte das Schultzsche Gemisch abzentrifugiert und nach dem Dekantieren der Rückstand mit Aqua dest. gespült werden. Um das Oxydationsmittel gründlich auszuwaschen, wurde das angereicherte Palynomorphenmaterial noch einmal mit reichlich Wasser durch ein Sieb der Maschenweite 0,025 mm gezogen. Das verbleibende Material konnte nun, mit Glycerin und etwas Phenol (gegen Schimmelbildung) versetzt, in Glasröhrchen aufbewahrt werden.

Die Herstellung der Einzelkornpräparate erfolgte nach der von SCHULTZ (1968:8) ausführlich beschriebenen Honigtropfenmethode. In erster Linie wurden jedoch Streupräparate hergestellt.

## 5.0 Verbreitung und Erhaltung der Palynomorphen

Von den 42 untersuchten Proben erwiesen sich 19 als palynomorphenführend, aber nur 10 enthielten bestimmbare Exemplare. Ein Großteil der Sporen und Acritarchen ist durch Pyritkristalle (vgl. Kap. 7) bis zur Unkenntlichkeit zerstört worden (s. Abb. 4). Zahlreiche Fragmente in den Probenextrakten bezeugen eine ehemals reichere Sporenssoziation (vgl. Kap. 7).



Abb. 3: Kleiner Aufschluß im Oberen Quarzit (deRa,q2): Die steil stehenden Schichten des Oberen Quarzits sind geringmächtig (ca. 5 cm). Die Schwarzschieferzwischenlagen sind z. T. sehr stark geschiefert, so daß nur zwei verwendbare Proben genommen werden konnten. Der Stift markiert den Entnahmepunkt der Probe SP 41.

## 6.0 Systematische Palynologie

### 6.1 Anteturma Sporites H. POTONIÉ 1893

Das Sporenmaterial ist nach dem morphographischen System von POTONIÉ & KREMP (1956, 1958, 1960, 1966, 1970) geordnet worden.

Da die Gattungsdiagnosen von den jeweiligen Autoren unterschiedlich gefaßt werden, wurde jeweils eine kurze Beschreibung der Gattungen durchgeführt. Um auch die Artbestimmungen nachvollziehbar zu

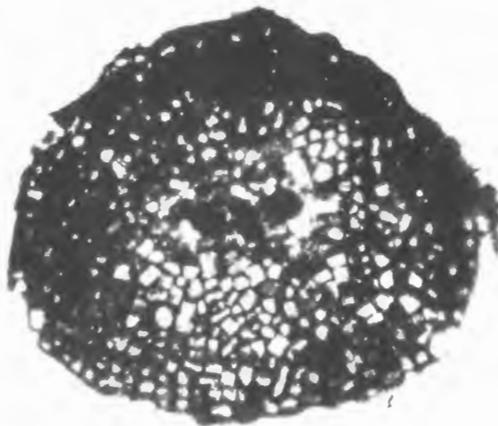


Abb. 4: Durch Pyritkristalle völlig zerstörte Exine: Die eingelagerten Pyrite haben die Spore unbestimmbar gemacht.

gestalten, sind die Beschreibungen mit kurzen Diagnosen versehen worden. Hierbei hat sich der Verfasser bemüht, nach Möglichkeit die Originalbeschreibung heranzuziehen.

### 6.1.1 Subturma Azonotriletes LUBER 1935 emend. DETTMANN 1963

#### 6.1.1.1 Infraturma Laevigati BENNIE & KIDSTON 1886 emend. POTONIÉ 1956

Diagnose: Die Exine ist glatt.

Genus *Leiotriletes* NAUMOVA 1937 emend. POTONIÉ & KREMP 1954

Diagnose: Die Umrißlinie der glatten Exine ist triangulär, wobei die Interradialia konkav oder konvex ausgebildet sein können. Die Sporen können chagrinata, infrapunctata, infragranulate oder infrareticulate Strukturen besitzen. Die Strahlen der Y-Marke erreichen eine Länge von  $> 1/2 r$  ( $r =$  Sporenradius).

*Leiotriletes adnatoides* POTONIÉ & KREMP 1955

Taf. 1, Fig. 1

\*1955 *Leiotriletes adnatoides* – POT. & KR.: S. 38, Taf. 11, Fig. 112-115

1974 *Leiotriletes adnatoides* – EDALAT: S. 14, Taf. 1, Fig. 6

1974 *Leiotriletes cf. adnatoides* – POPAL: S. 171, Taf. 3, Fig. 1

1984 *Leiotriletes adnatoides* – VOLKMER: S. 11, Taf. 2, Fig. 2-5

Diagnose: Die Sporen verfügen über eine proximale pyramidenförmige Apexverstärkung.

Beschreibung: Die azonotrileten Sporen (Durchmesser 0,042 mm) besitzen einen triangulären glatten Äquatorumriß. Der Apex ist pyramidenartig verstärkt. Die Strahlen der einfachen, oft weit geöffneten Y-Marke erreichen ca.  $3/4 r$ . Die Interradialia wölben sich nur schwach nach außen.

*Leiotriletes atavus* NAUMOVA 1953

Taf. 1, Fig. 2

1974 *Leiotriletes atavus* – EDALAT: S. 12, Taf. 1, Fig. 1

1974 *Leiotriletes atavus* – HAMID: S. 171, Taf. 3, Fig. 2

1984 *Leiotriletes atavus* – VOLKMER: S. 12, Taf. 2, Fig. 9, 10

Diagnose: Die kurzen Y-Strahlen (ca.  $1/2 r$ ) befinden sich in einem dunklen Apikalfeld, das scharf begrenzt sein kann.

Beschreibung: Die azonotrileten, 0,052 bis 0,06 mm großen Exinen zeigen einen triangulären Umriß. Die kurzen Strahlen der einfachen Dehiszenzmarke erreichen  $1/3-1/2 r$  und befinden sich in einem dunklen (verstärkten!) Apikalfeld, welches sich prägnant absetzt.

*Leiotriletes dissimilis* MCGREGOR 1960

Taf. 1, Abb. 3

\*1960 *Leiotriletes dissimilis* MCGREGOR: S. 27, Taf. 11, Fig. 1

1960 *Leiotriletes dissimilis* – TILLMANN: S. 86

1974 *Leiotriletes dissimilis* – EDALAT: S. 13, Taf. 1, Fig. 4

1975 *Leiotriletes dissimilis* – TIWARI & SCHAARSCHMIDT: S. 13, Taf. 1, Fig. 1,2

1984 *Leiotriletes dissimilis* – VOLKMER: S. 11, Taf. 2, Fig. 6-8

Diagnose: Die Strahlen der Y-Marke, die leistenartig verstärkt ist, besitzen eine Länge von  $1/2-3/4 r$ .

Beschreibung: Die azonotrilete, 0,064 mm große, z.T. noch opake Spore besitzt einen glatten triangulären Äquatorumriß. Die Exine ist völlig laevigat. Die leistenförmig verstärkte Y-Marke besteht aus Strahlen die eine Länge von  $3/4 r$  aufweisen.

*Leiotriletes simplex* NAUMOVA 1953

Taf. 1, Abb. 4

1974 *Leiotriletes simplex* – EDALAT: S. 12

1984 *Leiotriletes simplex* – VOLKMER: S. 13, Abb. 7

**Diagnose:** Die Sporen besitzen eine einfache Dehiszenzmarke und einen kleinen Durchmesser.

**Beschreibung:** Die azonotrilete 0,03 mm große Exine mit einem glatten triangulären Umriß, ist an zwei Interradialia z.T. zerstört. Die Spore scheint an einigen Stellen infragranulat zu sein, was aber eine Folge von Korrosion ist, wie sich an dem unregelmäßigen Verlauf der angerauten Flächen leicht erkennen läßt. Die einfache Y-Marke besitzt eine Länge von ca.  $3/4 r$ .

*Leiotriletes ornatus* ISHCENKO 1956

Taf. 1, Abb. 5

- \*1956 *Leiotriletes ornatus* ISHCENKO: S. 22, Taf. 2, Fig. 18-21
- 1962 *Leiotriletes ornatus* – PLAYFORD: S. 575, Taf. 78, Fig. 7,8
- 1974 *Leiotriletes cf. ornatus* – EDALAT: S. 13, Taf. 1, Fig. 3
- 1978 *Leiotriletes ornatus* – TILLMANN: S. 86
- 1984 *Leiotriletes ornatus* – VOLKMER: S. 12-13, Taf. 2, Fig. 12; Taf. 3, Fig. 1

**Diagnose:** Die Strahlen der Y-Marke sind mit einem deutlichen Tectum versehen. Die Strahlen, die sich terminal aufspalten können, erreichen den Äquatorrand.

**Beschreibung:** Die azonotrilete Spore zeigt einen glatten triangulären Umriß und einen Durchmesser von 0,04 mm. Die deutlich tectaten Laesuren erreichenden Äquator. Die Interradialia sind nach außen gebogen.

? *Leiotriletes* sp.

Taf. 1, Abb. 6

**Beschreibung:** Azonotrilete, 0,075 mm große, stark zerstörte trianguläre Exine mit einer schwach tectaten, ankerförmigen Tetradenmarke. Die Sporenoberfläche ist völlig laevigat.

*Leiotriletes* sp. A

**Beschreibung:** Azonotrilete 0,056 mm große Spore mit triangulärem Umriß. Der z.T. durch Korrosion zerstörte Äquatorrand ist unregelmäßig gezähnt. An einigen Stellen läßt sich der glatte Rand jedoch einwandfrei erkennen. Eine Tetradenmarke konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Zuordnung zum Genus *Leiotriletes* erfolgte aufgrund des dreieckigen Äquatorumrisses und der laevigaten Struktur.

*Leiotriletes* sp. B

**Beschreibung:** Größe der Exine 0,07 mm. Azonotrilete trianguläre Spore mit glattem Äquatorrand, der nur noch an einer Stelle erkennbar ist. Durch Korrosion erscheint die Exine infragranulat. Die deutlich ausgebildete tectate Tetradenmarke erreicht den Äquatorrand.

Genus *Punctatisporites* (IBRAHIM 1933) POTONIÉ & KREMP 1954

**Diagnose:** Trilete Sporen mit kreisförmiger Äquatorkontur. Die laevigaten Exinen können punctat, infrapunctat, infragranulat, infrareticulat oder chagrinat strukturiert sein. Die Strahlen der Tetradenmarke sind meist größer als  $1/2 r$  ( $r$  = Sporenradius).

*Punctatisporites minutus* KOSANKE 1950

Taf. 1, Fig. 7

- 1955 *Punctatisporites minutus* – POTONIÉ & KREMP: S. 42, Taf. 11, Fig. 8, 9
- 1971 *Punctatisporites minutus* – EDALAT: S. 15-16, Taf. 1, Fig. 7
- 1974 *Punctatisporites minutus* – EDALAT: S. 17, Taf. 1, Abb. 8
- 1974 *Punctatisporites cf. minutus* – HAMID: S. 175, S. 17, Taf. 3, Abb. 13, 14
- 1982 *Punctatisporites minutus* – RAVN & FITZGERALD: S. 114, Taf. 1, Fig. 8, 9

**Diagnose:** Die Dehiszenzmarke liegt in einem dunklen Apikalfeld (Verstärkung des proximalen Pols). Die Keimmarke ist oft weit geöffnet und zu einem Dreieck erweitert.

**Beschreibung:** Azonotrilete Spore (Durchmesser 0,06 mm) mit einem circulären Umriß. Die Exine ist z.T. korrodiert und erscheint infrapunctat. Die schwach geöffnete Y-Marke, die in einem dunklen (dicke-

ren) Apicalfeld liegt, besitzt Strahlen mit einer Länge von  $2/3r$ .

*Punctatisporites* sp. A

**Beschreibung:** Die 0,06 mm große, azonotrilete Spore ist infolge der Sedimentauflast deformiert. Ihr ehemals circularer Äquator läßt sich jedoch einwandfrei rekonstruieren. Die relativ breite Tetradenmarke verläuft leicht gebogen und ihre Strahlen erreichen ca.  $4/5 r$ . Die Strukturierung entstand wahrscheinlich durch Korrosion, die sich auch an dem aufgerauhten Äquatorrand erkennen läßt.

*Punctatisporites* sp. B

**Beschreibung:** Die um 0,045 mm großen, azonotrieten Sporen zeigen circular Äquatorkonturen. Die Exinen sind laevigat und besitzen einfache Tetradenmarken, deren Laesuren ca.  $3/4 r$  erreichen.

*Punctatisporites* sp. C

**Beschreibung:** Die 0,066 mm große, azonotrilete Spore verfügt über einen circularen Umriß und über eine infrapunctate Oberfläche. Der Äquatorrand ist glatt. Die Strahlen der in einem dunklen Apikalfeld liegenden Dehiszenzmarke erreichen  $3/4 r$ .

**Anmerkungen:** In Bezug auf die Verstärkung des proximalen Pols stimmt das Exemplar mit *P. minutus* KOSANKE (s.o.) überein. Die Strahlenlängen der Tetradenmarke und deren Öffnung stimmen nicht überein, weshalb eine Zuordnung zu dieser Art nicht erfolgen konnte.

### 6.1.1.2 Infraturma *Apiculati* BENNIE & KIDSTON 1886 emend. POTONIÉ 1956

**Diagnose:** Die Exine besitzt Skulpturen (Spinae, Coni, Verrucae, Granae, Baculae).

Genus *Cyclogranisporites* POTONIÉ & KREMP 1954

**Diagnose:** Die circularen Sporen sind mit Granae, die sich mehr oder weniger dicht auf der Oberfläche befinden, skulptiert.

Genus *Cyclogranisporites parvulus* var. *makroparvulus* STAPLIN 1960

Taf. 1, Fig. 8

\*1960 *Cyclogranisporites parvulus* var. *makroparvulus* STAPLIN: S. 9, Taf. 1, Fig. 25

1974 *Cyclogranisporites parvulus* var. *makroparvulus* – HAMID: S. 181, Taf. 5, Fig. 7

**Diagnose:** Die Exine ist schwach und irregulär granuliert. Die Strahlen der einfachen Y-Marke erreichen  $3/5$  bis  $2/3 r$ . Die Exine kann plicat sein.

**Beschreibung:** Die 0,04 mm große, circular Exine besitzt eine feine irreguläre Granulierung, deshalb zeigt der Äquator einen leicht unregelmäßigen Umriß. Die Strahlen, der einfach gestalteten Dehiszenzmarke erreichen  $1/3 r$ . Das vorliegende Exemplar besitzt keine Falten.

**Anmerkungen:** Die Spore zeigt Ähnlichkeiten mit *C. minutus* KOSANKE 1950 (STAPLIN 1960: 9), deren Skulptur jedoch gröber und deren Y-Marke längere Strahlen zeigt. Die bei STAPLIN (1960: 9) beschriebenen Exemplare besitzen Dehiszenzmarken, deren Strahlen eine Größe von  $3/5$  bis  $2/3 r$  erreichen. Die von HAMID (1974: 180) abgebildete und beschriebene Spore verfügt über eine Y-Marke mit kleineren Strahlen ( $1/3 r$ ). HAMID (1974: 181) führte, da die Art aus dem Mississippian beschrieben wurde, nur eine cf-Bestimmung durch. Die Art tritt im Arbeitsgebiet des Verfassers ebenfalls auf, woraus geschlossen werden kann, daß die Spezies wohl schon im Mitteldevon einsetzt.

*Cyclogranisporites flexuosus* PLAYFORD 1962

Taf. 1, Fig. 9

\*1962 *Cyclogranisporites flexuosus* PLAYFORD: S. 585, Taf. 79, Fig. 13-16

1968 *Cyclogranisporites flexuosus* SCHULTZ: S. 20, Taf. 2, Abb. 10, 10a

1962 *Cyclogranisporites* cf. *flexuosus* HAMID: S. 181, Taf. 5, Fig. 6

**Diagnose:** Die dicke Exine verfügt über undulierend verlaufende Y-Strahlen mit einer Länge von  $2/3$  bis  $3/4$  r.

**Beschreibung:** Die 0,08 mm große, azonotrilete Spore zeigt, infolge der der Oberfläche aufsitzenden Granae (0,001 mm Durchmesser), einen gekörnten circulären Äquatorumriß. Die deutlich entwickelte tectate Y-Marke verläuft undulierend und ihre Strahlen erreichen eine Länge von  $2/3$  r. Die Exinenoberfläche der proximalen Seite ist im Bereich der sehr undeutlichen Kontaktareen infragranulat. Außerhalb der Kontaktareen zeigt die gesamte Oberfläche einen dichten Besatz mit Granae. Die Dicke der Exine läßt sich, durch den schlechten Erhaltungszustand bedingt, nicht ermitteln.

**Anmerkungen:** Die von PLAYFORD (1962: 584, 586) beschriebenen Formen besitzen eine deutliche Randverstärkung, die die Exemplare bei SCHULTZ (1968: 20) und dem Verfasser nicht aufweisen.

*Cyclogranisporites cf. flexuosus* PLAYFORD 1962

Taf. 1, Fig. 10

**Diagnose:** s.o.

**Beschreibung:** Azonotrilete, 0,063 mm große Spore mit einem circulären, durch die Granulierung gezähnelten, Äquatorrand. Die schwach tectate Dehiszenzmarke verläuft undulierend; ihre Strahlen sind  $3/4$  r lang. Die gesamte Oberfläche der Exine verfügt über eine dichte Skulpturierung mit Granae, die 0,001 mm hoch und breit sind. Der Äquatorrand besitzt eine schwach ausgebildete Crassitude.

**Anmerkungen:** Die Spore wurde aufgrund der Skulpturierung, die die gesamte Oberfläche der Exine bedeckt, nur mit Vorbehalt der Art *flexuosus* zugeordnet. Ansonsten stimmen alle Merkmale überein.

Damit das ohnehin stark überladene System nicht durch eine weitere Artenflut noch unübersichtlicher wird, könnte die Gattungsdiagnose dahingehend erweitert werden, daß das Genus beidseitig skulptierte Exinen beinhaltet.

*Cyclogranisporites* sp.

Taf. 1, Fig. 11

**Beschreibung:** Azonotrilete, 0,042 mm große Exine mit einem leicht gekörnelten Äquatorrand, der durch den dichten Besatz mit feinen Granae ( $< 0,001$  mm Durchmesser), die die proximale und distale Hemisphäre bedecken, zustande kommt. Die Y-Marke ist einfach ausgebildet und ihre Strahlen erreichen ca.  $1/2$  r. Die Dehiszenzmarke liegt in einem dunklen Feld, das die gleiche Skulpturierung zeigt wie die andere Exinenoberfläche.

### 6.1.1.3 Infraturma Muornati POTONIE & KREMP 1954

**Diagnose:** Die Exine besitzt netz-, rippen-, wulst-, oder bogenförmige Skulpturen.

Genus *Dictyotriletes* NAUMOVA 1953 emend. SMITH & BUTTERWORTH 1967

**Diagnose:** Die Sporen besitzen eine Netzskulptur, die durch flache polygonale Lumina und flache Muri hervorgerufen wird. Deshalb ist die trianguläre bis circuläre Umrißlinie gewellt oder schwach gezähnt.

*Dictyotriletes subgranifer* MCGREGOR 1973

Taf. 1, Abb. 12

\*1973 *Dictyotriletes subgranifer* – MCGREGOR: S. 43, Taf. 5, Fig. 16, 18-20

1976 *Dictyotriletes subgranifer* – MCGREGOR & CANFIELD: S. 21, Taf. 4, Fig. 19, 20

1978 *Dictyotriletes subgranifer* – TILLMANN: S. 87

1984 *Dictyotriletes subgranifer* – VOLKMER: S. 33, Taf. 7, Fig. 8

**Diagnose:** Proximal ist die Exine mit Granae (0,001 mm breit und hoch) besetzt und distal mit einem Reticulum. Die von Labra begleiteten Y-Strahlen erreichen den Äquatorrand.

**Beschreibung:** Die Sporen haben einen Durchmesser von 0,048 bis 0,068 mm. Die azonotrileten Exinen verfügen über einen unregelmäßig gezähnelten Äquatorrand. Die Lumina haben einen Durchmesser von 0,005 bis 0,01 mm; die Muri sind 0,001 breit und 0,002 mm hoch. Die Granae der proximalen Hemisphäre und die unregelmäßig verteilten Granae der Lumina besitzen einen Durchmesser von ca. 0,001 mm. Die Strahlen der Dehiszenzmarke berühren den Äquatorrand. Labra konnten nicht ausgemacht werden.

**Anmerkungen:** Der Holotyp (MCGREGOR 1973: 44) besitzt eine 0,003 bis 0,004 mm breite dunklere (dickere?) Zone parallel zum Äquator. VOLKMER (1984: 33) erwähnt einen hellen zonaartigen Außenraum. Beides konnte bei den vom Verfasser isolierten Exemplaren nicht nachgewiesen werden.

*Dictyotriletes nigratus* NAUMOVA 1953

Taf. 1, Abb. 13

1971 *Dictyotriletes nigratus* – EDALAT: S. 32, Taf. 2, Fig. 6

1974 *Dictyotriletes nigratus* – HAMID: S. 195, Taf. 8, Fig. 5

**Diagnose:** Die Exine ist chagrinat strukturiert und distal von einem kräftigen Reticulum bedeckt. Die Y-Strahlen sind nur schwach erkennbar.

**Beschreibung:** Die 0,08 mm große, azonotrilete Spore zeigt einen triangulären, gewellten Äquatorumriß. Die Strahlen der einfachen Y-Marke erreichen ca.  $1/2 r$ . Die grobe Skulptur wird durch ein kräftiges Reticulum hervorgerufen, das aus 0,002 bis 0,004 mm breiten Muri und 0,002 bis 0,005 mm großen Lumina, die sehr unregelmäßig geformt sind, besteht.

**Anmerkungen:** Die Spore ist noch recht dunkel was auf ihre dicke Exine zurückgeführt werden kann.

*Dictyotriletes canadensis* – MCGREGOR 1973

Taf. 1, Fig. 14

\*1973 *Dictyotriletes canadensis* MCGREGOR: S. 44, Taf. 5, Fig. 21-23

1984 *Dictyotriletes canadensis* – VOLKMER: S. 33, Taf. 7, Fig. 6; Taf. 8, Fig. 2

**Diagnose:** Große Sporen mit Reticulum, das an ein Wabenmuster erinnert. Die Lumina sind unregelmäßig mit Granae versehen. Die einfache Tetradenmarke, die i.d.R. nicht sichtbar ist, besitzt Strahlen mit einer Länge von  $2/3 r$ .

**Beschreibung:** Die um 0,13 mm großen, azonotrileten Sporen besitzen einen unregelmäßig ovalen Äquatorumriß, der durch die Skulptur der Exine gezähnt ist. Das Reticulum besteht aus 0,001 mm breiten und 0,001 bis 0,002 mm hohen Muri und aus Lumina mit Durchmessern von 0,004 bis 0,007 mm. Einige Lumina besitzen unregelmäßig verteilte Granae mit einer Größe von  $< 0,001$  mm. Eine Dehiszenzmarke konnte nicht ausgemacht werden.

**Anmerkungen:** VOLKMER (1984: 33) gibt für *D. canadensis* eine Größenvariation von 0,16 bis 0,28 mm an. Die hier beschriebenen Exemplare sind etwas kleiner. Da jedoch sonst alle Merkmale übereinstimmen, wurden die Exine zu der genannten Art gestellt.

*Dictyotriletes* sp. A

**Beschreibung:** Die deutlich triangulären, um 0,046 bis 0,056 mm großen Sporen zeigen einen gewellten Äquatorumriß. Die Dreieckspitzen sind relativ flach abgerundet und die Seiten nur leicht ausgebuchtet. Die Exinen sind beidseitig (?) reticulat. Die Muri zeigen eine Breite von 0,002 mm und die Lumina einen Durchmesser von 0,004 mm. Eine Y-Marke ist nicht erkennbar.

**Anmerkungen:** Obwohl eine Dehiszenzmarke fehlt, konnte aufgrund des dreieckigen Äquatorsaumes und des – im Vergleich mit *Dictyotidium* EISENACK 1951 emend. STAPLIN 1961 – groben Reticulums eine Zuordnung zum Genus *Dictyotriletes* vorgenommen werden.

*Dictyotriletes* sp. B.

**Beschreibung:** Die 0,036 mm große azonotrilete Spore zeigt einen welligen Äquatorrand. Die trianguläre Exine besitzt breite Dreiecksspitzen und flach ausgebuchtete Seiten. Die Muri sind 0,001 mm breit

und die laevigaten Lumina haben einen Durchmesser von maximal 0,006 mm. Die einfache Y-Marke, deren Strahlen den Äquator erreichen, ist nur undeutlich erkennbar. Dies liegt an der beidseitigen (?) reticulaten Struktur.

Anmerkungen: S. unter Anmerkungen zu *D. sp.A.*

Genus *Emphanisporites* MCGREGOR 1961

Diagnose: Die Exinen besitzen proximale oder distale Radialfalten, die den Äquatorrand erreichen. Der Umriß ist circular bis triangulär.

*Emphanisporites rotatus* MCGREGOR 1961 emend. MCGREGOR 1973

Taf. 2, Abb. 1

- \*1961 *Emphanisporites rotatus* MCGREGOR: S. 3, Taf. 1, Fig. 1-4
- 1965 *Emphanisporites rotatus* – ALLEN: S. 707,
- 1967 *Emphanisporites cf. rotatus* – MORTIMER: Taf. 1, Fig. o
- 1968 *Emphanisporites rotatus* – SCHULTZ: S. 25, Taf. 3, Fig. 5, 5a
- 1971 *Emphanisporites rotatus* – EDALAT: S. 30-31, Taf. 2, Fig. 5
- 1973 *Emphanisporites rotatus* – emend. MCGREGOR: S. 46, Taf. 6, Fig. 9-13
- 1973 *Emphanisporites rotatus* – RIEGEL: S. 89, Taf. 13, Fig. 4
- 1974 *Emphanisporites rotatus* – EDALAT: S. 36, Taf. 2, Fig. 15
- 1976 *Emphanisporites rotatus* – MCGREGOR: S. 36, Taf. 3, Fig. 16
- 1978 *Emphanisporites rotatus* – TILLMANN: S. 87
- 1984 *Emphanisporites rotatus* – VOLKMER: S. 35, Taf. 8, Fig. 3, 4

Diagnose: Die schmalen und flachen Radialrippen der triangulären Exinen laufen am Apex zusammen. Die Zahl der Rippen schwankt. Die Strahlen der Y-Marke erreichen den Äquatorrand.

Beschreibung: Die 0,035 mm große, azonotrilete Exine zeigt einen glatten subtriangulären Umriß. Die Radialfalten, die sich nur auf der proximalen Hemisphäre befinden sind schmal, flach und relativ zahlreich. Die Falten laufen am Apex zusammen. Die Strahlen der Tetradenmarke berühren den Äquatorrand.

*Emphanisporites robustus* MCGREGOR 1961

Taf. 2, Fig. 2

- \*1961 *Emphanisporites robustus* MCGREGOR: S. 4, Taf. 1, Fig. 13
- 1967 *Emphanisporites robustus* – RICHARDSON: Taf. 3, Fig. F; Taf. 4, Fig. B
- 1968 *Emphanisporites robustus* – SCHULTZ: S. 25, 26, Fig. 6, 6a
- 1971 *Emphanisporites robustus* – EDALAT: S. 29-30, Taf. 2, Fig. 4
- 1974 *Emphanisporites robustus* – EDALAT: S. 36, Taf. 2, Fig. 15
- 1978 *Emphanisporites robustus* – TILLMANN: S. 87
- 1984 *Emphanisporites robustus* – VOLKMER: S. 35, Taf. 8, Fig. 5

Diagnose: Die Exine besitzt wenige, breite Radialfalten (vier zwischen je zwei Y-Strahlen). Die distale Hemisphäre ist völlig ohne Verzierungen. Der Sporenumriß schwankt von subtriangulär bis circular.

Beschreibung: Einige der 0,04 bis 0,064 mm großen, subtriangulären Sporen wurden durch die Sedimentauflast deformiert. Deshalb zeigt ein Exemplar einen Teil der proximalen und distalen Seite. Die proximale Hemisphäre der Sporen ist mit kräftigen Radialfalten – 4 zwischen je 2 Y-Strahlen – versehen. Die distalen Seiten sind völlig laevigat. Die Strahlen der einfachen Y-Marke erreichen den Äquatorrand. Dieser besitzt eine ca. 0,005 mm breite Randcrassitude. Einige Exemplare zeigen keine Crassitude und sind damit mit den bei VOLKMER (1984) abgebildeten Exemplaren identisch.

*Emphanisporites sp.*

Taf. 2, Fig. 3

Beschreibung: Die 0,05 mm große, z.T. zerstörte Exine verfügt über einen subcirculären Äquatorumriß und eine deutliche Randcrassitude (0,005 mm breit). Die zum größten Teil zerstörte distale Polhemisphäre zeigt recht breite Radialfalten. Da die Apikalregion dieser Seite nicht erhalten ist, kann über die

Länge der Falten keine Aussage gemacht werden. Die Reste der Y-Marke kennzeichnen diese als einfach. Die proximale Seite ist dicht mit Granae (0,001 mm Durchmesser) besetzt.

Anmerkung: Die schlechte Erhaltung der Exine erlaubt nur eine sp.-Bestimmung.

Genus *Foveosporites* BALME 1957

Diagnose: Die Innenseite der Exoexine ist mit Kanälchen übersät, die ein netzartiges Muster bilden. Der Umriß der Sporen ist subcirculär.

*Foveosporites* sp.

Taf. 2, Fig. 4

Beschreibung: Die subcirculäre, 0,04 mm große azonotrilete Exine zeigt infolge von Korrosion einen unregelmäßigen Äquatorrand. Die Oberfläche der Spore ist mit schmalen Kanälchen (0,002 mm) übersät, die sich auf der Innenseite der Exoexine befinden und deshalb so gut sichtbar sind, weil ein großer Teil der distalen Polhemisphäre fehlt. Die Strahlen der Y-Marke erreichen den Sporenrand.

Genus *Brochotriletes* NAUMOVA 1939 emend. NAUMOVA 1953

Diagnose: Die Exinen sind mit mehr oder weniger zahlreichen Foveen versehen, die Durchmesser von 0,001 bis 0,005 mm zeigen. Der Umriß der Foveen ist rund. Das murornate Muster kann durch apiculate Skulpturelemente modifiziert sein.

Anmerkungen: Obwohl eine unveröffentlichte Kartei (freundlicherweise von Dr. G. SCHULTZ zur Verfügung gestellt), in der alle in der Literatur beschriebenen *Brochotriletes*-Arten zusammengestellt sind, vorhanden war, konnte keine Art bestimmt werden. Die im folgenden beschriebenen Sporen wurden daher zu Formtypen zusammengefaßt. Auf die Aufstellung von neuen Arten mußte wegen des schlechten Erhaltungszustandes, der nicht alle Merkmale klar erkennen läßt, und der z.T. geringen Anzahl der Exemplare (meist Einzelindividuen) verzichtet werden.

*Brochotriletes* sp. A

Taf. 2, Fig. 5, 6

Beschreibung: Die 0,06 bis 0,082 mm großen Exinen mit einem triangulären bis subtriangulären Umriß sind auf der distalen (?) Seite foveolat. Da eine Tetradenmarke nicht erkennbar ist, kann nur vermutet werden, daß es sich um die distale Seite handelt. Die 0,009 mm großen Foveen bedecken die Polhemisphäre recht dicht. Die Muri besitzen eine Breite von 0,002 bis 0,003 mm. Bei einem Exemplar (Fig. 12) sind die Muri noch mit kleinen Foveen (Durchmesser 0,002 mm) versehen. Die proximale (?) Hemisphäre verfügt über viele Granae, die Durchmesser von 0,001 mm besitzen. Der Äquatorrand der besser erhaltenen Exinen (s. Fig. 17) zeigt einen dünnen zonaähnlichen Saum, der maximal 0,006 mm breit ist.

*Brochotriletes* sp. B

Taf. 2, Fig. 7

Beschreibung: Die 0,06 bis 0,072 mm großen triangulären Sporen zeigen glatte Äquatorkonturen. Eine Polhemisphäre ist dicht mit Granae (Durchmesser 0,002 mm) besetzt. Die andere Exinenseite besitzt wenige große Foveen (0,015 mm), die um den Äquator herum orientiert sind. Die Oberfläche zwischen den Foveen ist laevigat. Eine Tetradenmarke läßt sich nicht erkennen. Die Sporen verfügen über einen dünnen, häutigen, zonaähnlichen Saum.

*Brochotriletes* sp. C

Taf. 2, Fig. 8

Beschreibung: Die 0,025 mm große, subtrianguläre Exine besitzt einen glatten Äquatorrand. Eine Polhemisphäre ist dicht mit kleinen Granae (0,001 mm) besetzt. Die andere Seite verfügt über, im Verhältnis zur Sporengröße, große Foveen (0,008 mm Durchmesser). Eine Dehisenzmarke konnte nicht nachgesehen werden.

## 6.1.2 Subturma Zonotriletes WALTZ 1935

### 6.1.2.1 Infraturma Cingulati POTONIE & KLAUS 1954 emend. DETTMANN 1963

**Diagnose:** Die Sporen sind von einem dunklen, äquatorialen Verstärkungsring (Cingulum) umgeben.

Genus *Stenozonotriletes* NAUMOVA 1953 emend. POTONIE 1958

**Diagnose:** Die Cingula der laevigaten Exinen ist 0,001 bis 0,005 mm breit. Der Äquatorumfang schwankt von circular bis triangulär. Die Exinen können chagrinat strukturiert sein.

*Stenozonotriletes conspersus* NAUMOVA 1953

Taf. 2, Fig. 9

1960 *Stenozonotriletes conspersus* – TAUGOURDEAU-LANTZ: S. 146, Taf. 1, Fig. 16

1961 *Stenozonotriletes conspersus* – NEVES: S. 268

**Diagnose:** Das Cingulum ist 0,004 bis 0,008 mm breit. Die Sporen zeigen einen triangulären Äquatorumfang.

**Beschreibung:** Die um 0,05 mm großen, zonotrileten Sporen verfügen über ein deutliches Cingulum von 0,005 bis 0,006 mm Breite. Der Äquatorrand der triangulären Exinen ist glatt, und die Interradialia sind nach außen gebogen. Die Tetradenmarke befindet sich in 0,004 bis 0,005 breiten Tecta. Die Strahlen der Dehiszenzmarke erreichen den inneren Rand des Cingulums. Die Exinen sind nicht strukturiert oder skulptiert.

**Anmerkungen:** Die beschriebene Art ist bis auf die Größe völlig identisch mit *Stenozonotriletes triangulus* NEVES 1961 (nach NEVES 1961: 268). Die Art *triangulus* beinhaltet Sporen mit Durchmesser von ca. 0,07 mm, während die Exinen der Art *conspersus* mit einer Größe von ca. 0,05 mm deutlich kleiner sind.

*Stenozonotriletes simplex* NAUMOVA 1953

Taf. 2, Abb. 12

1971 *Stenozonotriletes simplex* – EDALAT: S. 33-34, Taf. 2, Fig. 7

1984 *Stenozonotriletes simplex* – VOLKMER: S. 41, Taf. 9, Fig. 7, 8

**Diagnose:** Das Cingulum hat eine Breite von 0,002 bis 0,003 mm. Die Äquatorkontur ist triangulär. Die Strahlen der einfachen leicht verstärkten Y-Marke erreichen den inneren Rand des Cingulums.

**Beschreibung:** Die zonotrilete 0,042 mm große Spore besitzt einen triangulären Umriß. Da das 0,003 mm breite Cingulum beschädigt ist, läßt sich der ehemals glatte Umriß nur noch an wenigen Stellen erkennen. Die Interradialia biegen sich nach außen. Die Strahlen der leicht verstärkten Y-Marke berühren den inneren Rand des Cingulums.

*Stenozonotriletes clarus* ISHCHENKO 1958

Taf. 2, Abb. 10

1962 *Stenozonotriletes clarus* – PLAYFORD: S. 607, Taf. 86, Fig. 4, 5

1967 *Stenozonotriletes clarus* – MORTIMER: Taf. 1, Fig. P

1968 *Stenozonotriletes clarus* – SCHULTZ: S. 32, Taf. 4, Fig. 5

1974 *Stenozonotriletes clarus* – EDALAT: S. 39

1976 *Stenozonotriletes clarus* – PLAYFORD: S. 4, Taf. 4, Figs. 3, 4

1984 *Stenozonotriletes clarus* – VOLKMER: S. 41, Taf. 10, Fig. 1, 2

**Diagnose:** Die Breite des Cingulums schwankt um 0,005 mm. Die Strahlen der Y-Marke können den inneren Rand des Cingulums erreichen. Der Umriß der Exinen ist triangulär.

**Beschreibung:** Die 0,05 mm großen Exinen wurden durch die Sedimentauflast deformiert. Der ursprünglich trianguläre Äquatorumfang mit breit gerundeten Dreiecksspitzen läßt sich jedoch noch erkennen. Das Cingulum besitzt eine Breite von 0,006 mm. Die Strahlen der Tetradenmarke erreichen den inneren Rand des Cingulums. Die Sporen zeigen eine deutliche Infrapunktierung (besonders Fig. 5).

Anmerkungen: Die verschiedenen Autoren handhaben die Größenvariation dieser Art unterschiedlich. Der Verfasser folgte den Angaben von VOLKMER (1984: 41).

*Stenozonotriletes* sp.

Taf. 2, Abb. 11

Beschreibung: Die stark beschädigten Exinen zeigen einen triangulären bis subtriangulären Äquatorumriß. Die Größe der zonotrileten Sporen schwankt um 0,08 mm. Das Cingulum besitzt eine Breite von 0,005 mm. Die Strahlen der Y-Marke, die sich in einem dunklen Apikalfeld befinden, erreichen eine Länge von 1/2 r. Außerhalb des Cingulums und des Apikalfeldes ist die Exine deutlich infrapunctat.

Anmerkungen: Die Sporen haben, in Bezug auf die Apikalverstärkung, Ähnlichkeiten mit *St. recognitus* NAUMOVA 1953. Das Cingulum des hier beschriebenen Exemplares ist dafür jedoch zu breit, so daß das Exemplar der Art *St. clarus* ISHCENKO 1958 zuzuordnen wäre. Diese Form verfügt jedoch über keine Apikalverstärkung.

Da die Exemplare in der dem Verfasser benutzten Literatur nicht beschrieben sind, wurden die Sporen mit sp. bestimmt.

### 6.1.2.2 Infraturma Zonati POTONIE & KREMP 1954

Diagnose: Die Sporen sind von einem hellen Saum (Zona) umgeben. Die Breite der Zona schwankt. Der Saum kann einseitig oder beidseitig ausgebildet sein.

Genus *Hymenozonotriletes* POTONIE 1958

Diagnose: Die der Distalseite aufsitzende Zona ist als helles Perispor (0,005 bis 0,025 mm Breite) ausgebildet. Der Äquatorrand, der laevigaten oder apiculaten Exinen, ist triangulär bis circolär.

*Hymenozonotriletes scorpius* BALME & HASSEL 1962 emend. PLAYFORD 1976

Taf. 3, Fig. 1

- \*1962 *Hymenozonotriletes scorpius* BALME & HASSEL: S. 16, Taf. 3, Fig. 1-11
- 1974 *Hymenozonotriletes scorpius* – EDALAT: S. 41
- 1976 *Hymenozonotriletes scorpius* – PLAYFORD: S. 37-38, Taf. 7, Figs. 12-16
- 1984 *Hymenozonotriletes scorpius* – VOLKMER: S. 48, Taf. 11, Fig. 5

Diagnose: Auf der Exine treten distal und perisporal weitständige, hakenförmige Spinae auf. Die Zona ist schmal und die Y-Marke undeutlich.

Beschreibung: Die 0,03 mm große Spore verfügt über einen subtriangulären Äquatorumriß. Die z.T. korrodierte Zona besitzt eine Breite von 0,003 mm. Die Exine weist distalseitig und perisporal unregelmäßig weitständig verteilte, hakenförmige, 0,002 mm lange Spinae auf. Eine Tetradenmarke konnte nicht ausgemacht werden. Der Zentralkörper zeigt eine deutliche Randcrassitude.

Anmerkungen: Die neu definierte Diagnose von PLAYFORD (1976: 37-38) enthält Formen mit Durchmesser von 0,075 bis 0,105 mm. VOLKMER (1984: 48) beschreibt deutlich kleinere Exemplare (0,04-0,05 mm), die 0,003 mm große Spinae besitzen. Die vom Verfasser beschriebene Spore ist mit einem Durchmesser von 0,03 mm noch kleiner. Da die Exine jedoch die typischen hakenförmigen Spinae zeigt, wurde das Exemplar zu *H. scorpius* gestellt.

*Hymenozonotriletes* sp.

Taf. 3, Fig. 2

Beschreibung: Die 0,065 mm große zonotrilete Exine besitzt einen subtriangulären Äquatorumriß. Die zum größten Teil zerstörte Zona ist 0,008 mm breit. Eine Y-Marke konnte nicht nachgewiesen werden. Der Zentralkörper der Spore verfügt über eine deutliche Randcrassitude.

Anmerkungen: Eine Spore mit diesen Merkmalen konnte der Verfasser in der vorhandenen Literatur nicht finden, deshalb wurde eine sp. Bestimmung vorgenommen.

### 6.1.3 Incertae sedis

Genus *Ancyrospora* RICHARDSON 1960 emend. RICHARDSON 1962

**Diagnose:** Die Sporen verfügen über einen unvollständigen hellen Äquatorsaum (Pseudozona). Vor allem der Äquatorbereich besitzt an den Spitzen ankerförmige Spinae.

*Ancyrospora* sp.

**Beschreibung:** Die 0,136 mm große, z.T. noch opake Spore zeigt einen unregelmäßigen Äquatorrand. Stellenweise läßt sich noch eine Pseudozona erkennen. Um den Äquator angeordnet finden sich bis 0,02 mm lange, an der Basis 0,006 mm breite Spinae, die, soweit sichtbar, keine bifurkaten Spitzen besitzen. Im Zentrum der Exine ist undeutlich eine Tetradenmarke erkennbar.

### 6.2 Acritarcha

Die systematische Gliederung der Acritarchen ist nach wie vor unsicher. Dies liegt an der schlechten Erkennbarkeit einiger Merkmale. So stellten z.B. TIWARI & SCHAARSCHMIDT (1975: 47) die Gattung *Leiosphaeridia* EISENACK 1958 emend. DOWNIE & SARJEANT 1963 zu den Sporen, obwohl Eisenack (1958: 13) den Acritarchen-Charakter ausführlich betont und begründet.

In dieser Arbeit wird der Einteilung von EISENACK 1979 (zit. in AMIRIE 1984:13) gefolgt. EISENACK unterteilt die Acritarchen nach morphologischen Gesichtspunkten in drei Großgruppen. Die folgende Einteilung gibt die Verteilung der Gattungen innerhalb der Gruppen wieder.

a) *Sphaeromopitae Dictyotidium*

EISENACK 1955 emend. STAPLIN 1961 *Leiosphaeridia* EISENACK 1958  
emend. DOWNIE & SARJEANT 1963

*Lophosphaeridium* TIMONEEV 1959 ex DOWNIE emend. LISTER 1970

*Tasmanites* NEWTON 1875

b) *Non-Acanthomorphitae*

keine

c) *Acanthomorphitae*

keine

Die im folgenden beschriebenen Gattungen sind, entsprechend dem Vorschlag von EISENACK (1973), in alphabetischer Reihenfolge geordnet.

Genus *Dictyotidium* EISENACK 1951 emend. STAPLIN 1961

**Diagnose:** Sphärische, hohle Kapseln mit einer einheitlichen reticularen Skulptur. Die Muri sind niedrig und die Lacunen polygonal. Die Oberfläche der Lacunen kann skulptiert sein. Der Äquatorrand erscheint unregelmäßig gezähnt.

*Dictyotidium polygonum* STAPLIN 1961

Taf. 3, Fig. 3

\*1961 *Dictyotidium polygonum* STAPLIN: S. 417, Taf. 49, Fig. 14

1977 *Dictyotidium variatum* PLAYFORD: S. 18-19, Taf. 5, Fig. 2-4; Taf. 6, Fig. 1-6

1984 *Dictyotidium variatum* – AMIRIE: S. 23-24, Taf. 3, Fig. 1, 2

**Diagnose:** Die Oberfläche der Kapsel ist dicht mit einem feinen Reticulum besetzt. Die Lacunen sind winklig bis schwach gerundet polygonal. Ihr Durchmesser reicht von 0,001-0,004 mm. Die Kapselwand ist psilat oder granulat.

**Beschreibung:** Die subcirculären Kapseln besitzen ein die ganze Oberfläche überziehendes Reticulum. Die Muri sind ca. 0,005 mm breit und hoch. Die Lacunen zeigen winklig polygonale Formen mit Durchmessern um 0,003 mm. Im Zentrum jeder Lacune befindet sich eine Papille (ca. 0,0005 mm). Wie

weit diese aus der Oberfläche herausragt, konnte mit lichtmikroskopischen Mitteln nicht herausgefunden werden.

Anmerkungen: PLAYFORD (1977: 19) vergleicht u.a. seine neue *D. variatum* mit *D. polygonum* STAPLIN (1961: S. 417), die sich von *D. variatum* durch eine Papille im Zentrum der Lacunen unterscheiden soll. Einige dervon PLAYFORD (1977) abgebildeten Exemplare (Taf. 5, Fig. 2-4; Taf. 6, Fig. 1-6) besitzen ebenfalls eine Papille. Da *D. polygonum* mit einer Größenvariation von 0,027-0,031 mm innerhalb der von *D. variatum* (0,025 bis 0,062 mm) liegt, erscheint dem Verfasser die Abgrenzung der beiden Arten sehr fragwürdig. Die genannten Arten werden deshalb hier als Synonyme verwendet, wobei *D. polygonum* Priorität besitzt.

*Dictyotidium* sp.

Taf. 3, Fig. 4

Beschreibung: Die mit 0,096 mm Durchmesser recht große sphärische Kapsel ist z.T. noch opak. Die Oberfläche besitzt, soweit erkennbar, ein bienenwabenförmiges Reticulum. Die Muri zeigen eine Breite von 0,002 mm. Die sechseckigen Lacunen haben Durchmesser von 0,006 mm; in der Mitte jeder Lacune sitzt eine 0,002 mm große Papille. Die Kapsel ist von einem granulaten, perisporartigen (?), nur noch in Relikten vorhandenen Überzug umgeben, der das Reticulum völlig überdeckt.

Anmerkungen: Eine Kapsel mit diesen Merkmalen konnte in der vorhandenen Literatur nicht aufgefunden werden, deshalb wurde eine sp. Bestimmung vorgenommen.

Genus *Leiosphaeridia* EISENACK 1958 emend. DOWNIE & SARJEANT 1963

Diagnose: Es handelt sich um sphärische bis elliptische Kapseln unterschiedlicher Größe. Die Formen sind oft verfaltet oder aufgeplatzt, sehr dünnwandig, ungefeldert und ohne Wandporen. Die Oberflächen sind glatt, seltener feingranulat oder granulat. Die Kapseln besitzen keine Rillen oder Ringe, und Phylome lassen sich nur sehr selten beobachten.

*Leiosphaeridia laevigata* STOCKMANN & WILLIERE 1963

Taf. 3, Fig. 5

1984 *Leiosphaeridia laevigata* – AMIRIE: S. 31, Taf. 4, Fig. 10-12

Diagnose: Sphärische Kapseln mit unregelmäßigen Umrissen und glatten, porenlosen Wandungen, die oft verfaltet sind.

Beschreibung: Die 0,04 bis 0,045 mm großen, sphärischen Kapseln zeigen einen unregelmäßigen Umriss. Die Exemplare mit ihren dünnen, glatten, porenlosen Wandungen sind verfaltet. Die Falten erscheinen dunkel (dicker).

*Leiosphaeridia* sp. Typ A TIWARI & SCHAARSCHMIDT

Taf. 3, Fig. 6

1975 *Leiosphaeridia* sp. Typ A TIWARI & SCHAARSCHMIDT: S. 48, Taf. 29, Fig. 2-5

Diagnose: Sphärische Kapseln mit einer Größenvariation von 0,016 bis 0,08 mm. Die größten Exemplare sind häufig aufgeplatzt. Die Wandung ist dünn und sehr fein strukturiert oder zeigt eine irreguläre Blasenstruktur.

Beschreibung: Die Größenvariation der vorliegenden Exemplare reicht von 0,028 bis 0,045 mm. Die untersuchten Kapseln sind aufgeplatzt oder ein Teil der Wandung fehlt (Fig. 14). Eine weitere Beschreibung der merkmalsarmen Exemplare unterbleibt, da die Diagnose die Merkmale enthält.

Genus *Lophosphaeridium* TIMOFEEV 1959 emend. LISTER 1970

Diagnose: Die sphärischen bis ovalen Kapseln sind mit kleinen granulaten, echinaten, verrucaten oder bacculaten Skulpturelementen mehr oder weniger dicht besetzt.

*Lophosphaeridium cryptogranulosum* (STAPLIN 1961) DOWNIE 1963

Taf. 3, Abb. 9

\*1961 *Protoleiosphaeridium cryptogranulosum* STAPLIN: S. 407, Taf. 48, Fig. 7

1963 *Lophosphaeridium cryptogranulosum* DOWNIE: S. 630

1984 *Lophosphaeridium cryptogranulosum* AMIRIE: S. 34, Taf. 5, Fig. 7, 8

**Diagnose:** Die kugeligen Kapseln besitzen auf ihren Oberflächen dicht angeordnete, feine Verrucae, die lichtmikroskopisch nicht klar erkennbar sind. Die Verrucae stehen unterschiedlich dicht.

**Beschreibung:** Die 0,011 bis 0,025 mm großen, sphärischen, dünnwandigen Kapseln sind sehr dicht mit verrucaten Elementen besetzt, die Durchmesser von ca. 0,005 mm besitzen.

*Lophosphaeridium* sp.

**Beschreibung:** Die ca. 0,025 mm großen, dünnwandigen, ovalen Kapseln sind dicht mit ca. 0,0005 mm großen Verrucae besetzt.

**Anmerkungen:** Bis auf den Umriß sind diese Exemplare völlig mit *L. cryptogranulosum* STAPLIN identisch. Da der Äquatorumriß nicht übereinstimmt und mit der zur Verfügung stehenden Literatur keine Art-diagnose gelang, wurde eine sp. Bestimmung durchgeführt.

Genus *Tasmanites* NEWTON 1875

**Diagnose:** Die sphärischen Hohlkapseln, die keine Anhänge besitzen, sind oft zusammengepreßt oder weisen Falten auf. Die Kapseln sind recht dickwandig und porig. Ferner treten feine, gerade verlaufende Radialkanäle auf.

Kleine Kapseln sind dünnwandig und von Leiosphaeridien nicht zu unterscheiden!

*Tasmanites sinuosus* WINSLOW 1962

Taf. 3, Fig. 7

1984 *Tasmanites sinuosus* – AMIRIE: S. 66-67, Taf. 13, Fig. 3-6

**Diagnose:** Die unregelmäßigen Umrisse der sphärischen bis ovalen Kapseln sind glatt. Die Exemplare liegen flachgedrückt und häufig verfältelt vor. Die Oberfläche ist mit punctatae-ähnlichen Strukturen versehen, die mit „Radialkanälen“ in Verbindung stehen.

**Beschreibung:** Die nur zur Hälfte (0,009 mm) vorliegende Kapsel besitzt eine Gesamtgröße von 0,18 mm. Die ovale, stark verfaltete Form verfügt über feine punctatae-ähnliche Strukturen, die mit den zahlreich vorkommenden „Radialkanälen“ in Verbindung stehen. Die Wandungen sind ca. 0,01 mm dick.

*Tasmanites* sp. A.

Taf. 3, Fig. 8

**Beschreibung:** Die 0,032 mm große, ovale Kapsel verfügt über einen glatten Rand und eine glatte Oberfläche, in der sich verzweigende Kanäle befinden, die jedoch nicht radial verlaufen.

**Anmerkungen:** Kapseln mit diesen Merkmalen konnten in der vorhandenen Literatur nicht nachgewiesen werden, deshalb führte der Verfasser eine sp. Bestimmung durch.

*Tasmanites* ? sp. B

Taf. 3, Fig. 10

**Beschreibung:** Die 0,045 bis 0,061 mm großen ovalen Kapseln sind feingranulat. Die Umrisse sind glatt. Die unregelmäßige Zähnelung der Fig. 17 und 19 wird durch Korrosion hervorgerufen. Ein Exemplar (Fig. 17) besitzt zwei Phylome.

**Anmerkungen:** Die geringe Größe der Kapseln und das Fehlen von „Radialkanälen“ lassen eine Zuordnung zum Genus *Tasmanites* nicht sicher zu (s.o. Gattungsdiagnose). Die Zuordnung geschah rein willkürlich.

## 7.0 Deutung der Ergebnisse

Aus den Schwarzschieferzwischenlagen der Quarzite der Raumländer Schichten konnten eine Sporen- und eine Acritarchenassoziation isoliert werden. Eine weitere Aufteilung in mehrere Assoziationen erwies sich als wenig sinnvoll, da viele Exemplare Einzelfunde sind und somit keine Reichweite im Profil besitzen.

### 7.1 Sporen

Eine mitteldevonische Sporenassoziation gibt sich nach TSCHUDY & SCOTT (1969: 199) u.a. durch Sporen mit großen Durchmessern (0,2 bis 0,5 mm) zu erkennen. Ferner sind pseudosaccate und zonate Formen mit einer groben Skulpturierung durch zahlreiche Formen vertreten. Viele Sporen besitzen auch bifurcate Fortsätze (vergl. RICHARDSON 1962).

Um so überraschender fielen die Ergebnisse der Sporenanalyse dieser Arbeit aus. Die geringe durchschnittliche Größe der Sporen (vgl. Abb. 5) ist eigentlich typisch für das Unterdevon. Lediglich der geringe Anteil an einfachen laevigaten und schwach skulptierten Formen zeichnet die Assoziation als mitteldevonisch aus. Der Anteil der zonaten Formen, die im Mitteldevon häufig vorkommen, ist sehr gering.

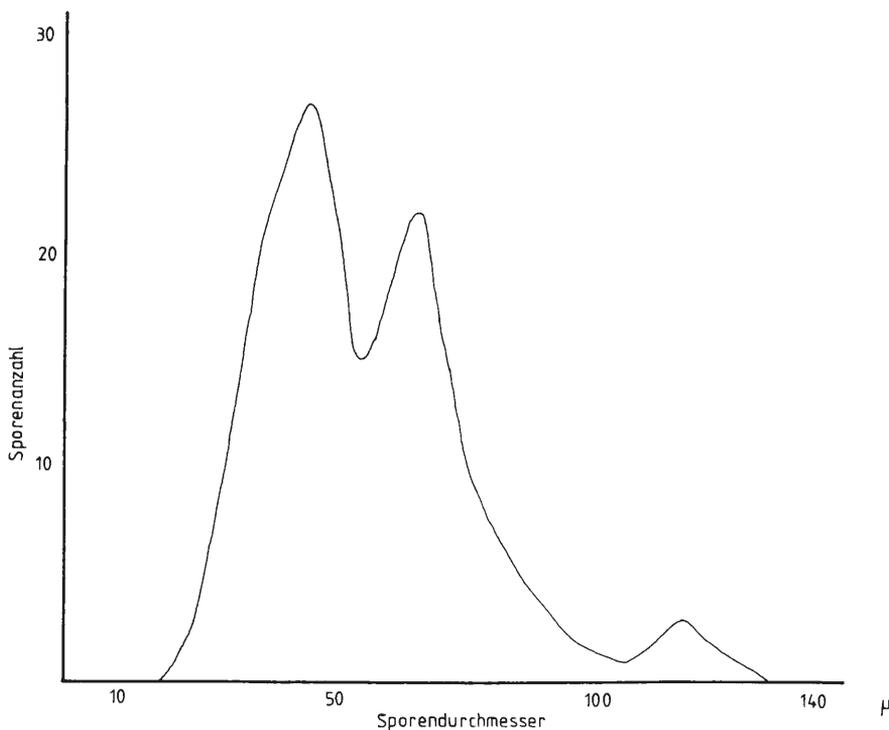


Abb. 5: Verteilung der Sporendurchmesser: Es wurden 99 Sporen ausgemessen.

Typische Leitfossilien (vgl. die Zusammenstellung von MCGREGOR 1979) konnten nicht nachgewiesen werden, deshalb war die in der Wittgensteiner Mulde bisher nicht festgelegte Grenze Eifel/Givet mit Hilfe von Sporen nicht zu fixieren. Dies erklärt sich durch das Fehlen von typischen mitteldevonischen Großsporen.

Die in Teil 1 dieser Arbeit beschriebenen paläogeographischen und faziellen Gegebenheiten des Sedimentationsraumes sollen zur Erklärung der Befunde herangezogen werden. Da der Ablagerungsraum im herzynischen Faziesbereich liegt, befindet sich das Festland (der Old Red Kontinent) und damit der Herkunftsort der Sporen in relativ weiter Entfernung vom Untersuchungsgebiet. Die Sporen wurden durch Wind eingeweht oder gelangten mit den Turbiditen in die Tiefsee. Der Wind war offenbar nicht in der Lage

die Megasporen ( $> 0,2$  mm) vom Old Red Festland in das Untersuchungsgebiet zu befördern, so daß es zu einer Anreicherung von kleinen, durch den Wind leichter transportierbaren Sporen kam. Die wenigen Fragmente, die auf das Vorhandensein von Megasporen schließen lassen, könnten durch die Turbidite in die Tiefsee gelangt sein, womit auch ihre schlechte Erhaltung erklärt wäre.

Die Exinen wurden mit zunehmender Sedimentauflast zusammengedrückt und verfaltet. Das  $H_2S$ -Milieu und die Schwefelbakterien sorgten für Pyritbildungen in den Exinenwänden und damit für eine Zerstörung vieler Sporen.

## 7.2 Acritarchen

Im Unterschied zu den eingewehten und eingeschwemmten Sporen handelt es sich bei den Acritarchen, die als Phytoplankton angesehen werden (vgl. z.B. WALL 1960, TAPPAN 1968, Downie 1973), um autochthone Elemente, die die photische Zone der Meere besiedelten. WALL (1960) konnte die Gattung *Tasmanites* NEWTON 1875 der rezenten Grünalge *Pachyspaera pelagica* OSTENFELD 1899 zuordnen.

Während LEGAULT (1973) und PLAYFORD (1977) aus mitteldevonischen und AMIRIE (1984) aus oberdevonischen Flachwasserablagerungen eine artenreiche Phytoplanktonassoziation beschreiben, konnte in der Eifel-Stufe der Wittgensteiner Mulde nur eine gattungs- und artenarme Vergesellschaftung isoliert werden, deren Elemente eine durchschnittliche Größe von  $0,03$  mm zeigen. Diese beinhaltet nur Formen einer der drei Acritarchengroßgruppen, der Sphaeromorphytae. Die meisten Arten kommen zudem nur in wenigen Exemplaren vor. Lediglich *Lophospaeridium cryptogranulosum* (STAPLIN 1961) DOWNIE 1963 bildet durch seine Häufigkeit eine Ausnahme. Eine diagenetische Zerstörung von bestimmten Formen kann als Ursache der spärlichen Überlieferung ausgeschlossen werden, da die extrem dünnen Leiosphaeridien erhalten sind. An der Verwendung eines  $0,025$  mm Siebes kann es ebenfalls nicht liegen, da einerseits viele Individuen größer als die Maschenweite des Siebes sind und andererseits die kleinen Arten infolge der Adhäsionskraft der Tone nicht völlig ausgewaschen sein können. (z.B. *Lophospaeridium cryptogranulosum*).

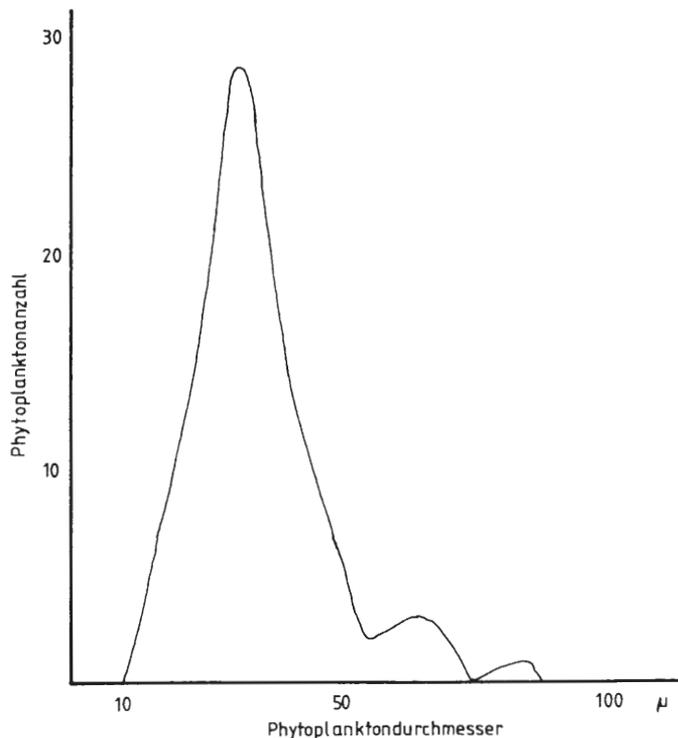


Abb. 6: Verteilung der Phytoplanktondurchmesser: Die Acritarchenverteilung zeigt eine Glockenkurve zu deren Erstellung 41 Acritarchen ausgemessen wurden.

Die Ursache für das Auftreten nur einer Acritarchengroßgruppe muß demnach anders begründet sein. Neben der Temperatur, die einen entscheidenden Einfluß auf die Phytoplanktonvergesellschaftung hat, spielen auch ozeanographische Gegebenheiten eine Rolle. Der Faktor Temperatur kann in unserem Fall ausgeschlossen werden, da die Arbeitsgebiete (die, der o.g. Autoren und des Verfassers) im Devon in einem subtropischen Bereich lagen (WITZKE 1979: 114). Der saisonale Temperaturwechsel, der in der Acritarchensystematik völlig unberücksichtigt ist, wird hierbei nicht erfaßt. Der entscheidende Einfluß kommt der Paläoozeanographie zu. So zeigt rezent z.B. der ozeanische Bereich eine völlig andere Phytoplanktonassoziation als der neritische (DREBES 1974: 1). Beide Bereiche können jeweils nur von speziell angepaßten Formen besiedelt werden, denn der ozeanische Bereich ermöglicht dem Phytoplankton keinerlei Kontakt zum Meeresboden, so daß die Formen holoplanktisch (d.h. permanent pelagisch) sein müssen. In den Flachmeeren existieren dagegen Meroplankter, die einen Teil ihrer Lebensphase am Meeresgrund verbringen (DREBES 1974: 1).

Diese Ausführungen lassen sich auf die devonischen Verhältnisse sehr gut übertragen. Dem ozeanischen Bereich entspricht die Herzynische Fazies, deren Phytoplankton holoplanktisch lebte, während der neritische Bereich der Rheinischen Fazies zuzuordnen ist. Damit ist auch eine Erklärung für das völlige Fehlen der Acanthomorphytae und Non-Acanthomorphytae gefunden, die nach den Ergebnissen dieser Arbeit ausschließlich der neritischen Fazies vorbehalten sind. Dagegen sind die Sphaeromorphytae hauptsächlich den ozeanischen Gebieten vorbehalten. Die Tatsache, daß die in dieser Arbeit vorgestellten Formen auch in den von den o.g. Autoren bearbeiteten Flachwasserablagerungen vorkommen, widerspricht der Interpretation nicht, da diese Acritarchen verfrachtet sein können. Außerdem wird die Grenze der Lebensbereiche der Holoplankter und Meroplankter nicht scharf sein, denn Holoplankter können auch im flachen Wasser existieren. Die Meroplankter hingegen finden im tieferen Wasser keine längere Überlebensemöglichkeit, da sie in einem ontogenetischen Stadium den Meeresboden benötigen.

Mit dieser Faziesabhängigkeit des Phytoplanktons könnte die Geosynklinale in Schwellen und Teilbecken gegliedert werden. Voraussetzung hierfür ist jedoch die generelle Gültigkeit des entwickelten Faziesmodells. Weiterführende Untersuchungen scheinen hier noch interessante Ergebnisse erbringen zu können.

## 8.0 Literaturverzeichnis

- ALLEN, K. C. (1965): Lower and Middle Devonian spores of North and Central Vestspitzbergen. – *Palaeontology*, **8** (4): 687-748, Pl. 94-108; London.
- ,– (1967): Spore assemblages and their stratigraphic application in the Lower and Middle Devonian of North and Central Vestspitzbergen. – *Palaeontology*, **10**: 280-297, 4 Figs., London.
- ,– (1972): Devonian megaspores from east Greenland: their bearing on the development of certain trends. – *Rev. Palaeobot. Palynol.* **14**: 7-17, 3 Figs., 2 Pl., Amsterdam.
- AMIRIE, Ch. H. B. (1984): Phytoplankton aus dem Frasn des Bergischen Landes, Rhein. Schiefergeb. – Sonderveröffentl. des Geol. Inst. Köln, **49**: 99 S., 5 Tab., 16 Taf., Köln.
- BALME, B. E. & HASSEL, C. W. (1962): Upper Devonian spores from the Canning Basin, Western Australia. – *Micropalaeontology*, **8** (1): 1-28, 5 Pl., New York.
- BUTTERWORTH, M. A. & SPINNER, E. (1967): Lower Carboniferous spores from North-West-England. – *Palaeontology*, **10**: 1-24, Pl. 1-5; London.
- CHALOSNER, W. G. (1963): Early Devonian spores from a borehole in Southern England. – *Grana Palynol.*, **4** (1): 100-111, 12 Figs.; Amsterdam.
- ,– (1967): Spores and land plant evolution. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **1**: 83-93, 4 Figs., Amsterdam.
- D'ERCEVILLE, M. A. (1979): Les spores des formations Siluro-Devoniennes de la coup de St. Pierre sur Erve (Synclorium median amricain). – *Palaeontographica*, **171**: 79-121, 16 Figs., 16 Tab., 7 Pl.; Stuttgart.
- DOWNIE, C. (1963): „Hystriochsheres“ (Acritarchs) and spores of the Wenlock Shales (Silurian) of Wenlock, England. – *Palaeontology* **6**: 625-652, London.
- ,– (1979): Devonian acritarchs. – *Spec. Pap. in Palaeont.*, **23**: 185-188, 2 Figs., London.

- DREBES, G. (1974): *Marines Phytoplankton*. – 186 S., 151 Abb.; Stuttgart.
- EDALAT, B. (1971): *Zur Geologie des Raumes Ruppichtroth und Sporenverteilung in dem Unteren Buntschiefer (U. Ems)*. – (unveröffentl. Diplomarbeit): 41 S., 16 Abb., 2 Taf.; Köln.
- ,– (1974): *Sporenvergesellschaftungen und Acritarchen aus dem Unterdevon (Ems) des südlichen Bergischen Landes*. – Sonderveröffentl. Geol. Inst. Köln, **24**: 75 S., 10 Abb., 3 Taf., Köln.
- EISENACK, A. (1958): *Tasmanites* Newton 1878 und *Leiosphaeridia* n.g. als Gattungen der Hystrichosphaeridea. – *Palaeontographica A*, **110**: 1-19, 3 Abb., 2 Taf., Stuttgart.
- ,– (1965): *Katalog der fossilen Dinoflagellaten, Hystrichosphaeren, und verwandte Mikrofossilien*, Bd. 1. – 888 S., 9 Taf.; Stuttgart.
- ,– (1971): *Die Mikrofauna der Ostseekalke (Ordovizium)*. – *N. Jb. Geol. Palaeont. Abh.*, **137** (3): 337-357, 61 Abb.; Stuttgart.
- ,– (1973): *Katalog der fossilen Dinoflagellaten, Hystrichosphaeren, und verwandten Mikrofossilien*, Bd. 3. – 1104 S.; Stuttgart.
- ,– (1974): *Beiträge zur Acritarchen-Forschung*. – *N. Jb. Geol. Palaeont. Abh.*, **147** (3): 269-293, 50 Abb., Stuttgart.
- ,– (1976): *Katalog der fossilen Dinoflagellaten, Hystrichosphaeren, und verwandten Mikrofossilien*, Bd. 4. – 863 S.; Stuttgart.
- FELIX, C. J. (1965): *Neogene Tasmanites and Leiosphaeres from Southern Louisiana, USA*. – *Palaeontology*, **8** (1): 16-26, Pl. 5-8; London.
- GRAY, J., MASSA, D. & BOUCOT, A. J. (1982): *Caradocian land plant microfossils from Libya*. – *Geology*, **10**: 197-201, 10 Figs.; Boulder.
- GRIGNANI, D. (1967): *Paleozoic spores and triassic pollen grains from some Tunesian well samples*. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **1**: 151-159, 2 Pl., Amsterdam.
- HAMID, M. E. P. (1974): *Sporenvergesellschaftungen aus dem unteren Mitteldevon (Eifel) des Südl. Bergischen Landes (Rhein. Schiefergeb.)*. – *N. Jb. Palaeont. Abh.*, **147**: 163-217, 10 Abb., Stuttgart.
- HECKEL, P. H. & WITZKE, B. J. (1979): *Devonian world palaeogeography determined from Distribution of carbonates and related lithic palaeoclimatic indicators*. – *Spec. Pap. Palaeont.*, **23**: 99-123, 8 Figs., London.
- HORST, U. (1955): *Die Sporaee Dispersae des Namurs von Westoberschlesien und Mährisch-Ostrau*. – *Palaeontographica*, **B 98**: 137-236, 7 Abb., Taf. 17-25., 1 Beil.; Stuttgart.
- HUGHES, N. F. & PLAYFORD, G. (1961): *Palynological reconnaissance of the Lower Carboniferous of Spitsbergen*. – *Micropalaeontology*, **7**: 27-44, New York.
- KAISER, H. (1970): *Die Oberdevonflora der Bäreninsel, 3. Mikroflora des höheren Oberdevon und des Unterkarbons*. – *Palaeontographica*, **B 129**: 71-124, 35 Abb., Taf. 16-25, 1 Beil.; Stuttgart.
- ,– (1971): *Die Oberdevonflora der Bäreninsel, 4. Mikroflora der Misery-Serie und der flözleeren Sandstein-Serie*. – *Palaeontographica*, **B 135**: 127-164, 41 Abb., 11 Taf.; Stuttgart.
- KUMMEL, B. & RAUP, S. (1965): *Handbook of Paleontological Techniques*. – 852 S.; San Francisco.
- LEGAULT, J. A. (1972): *Chitinozoa and Acritarcha of the Hamilton Formation (Middle Devonian) Southwestern Ontario*. – *Bull. Geol. Sur. Canada*, **221**: 1-103, 7 Figs., 3 Tab., 13 Pl., Ottawa.
- LELE, K. M. (1972): *Observations on Middle Devonian Microfossils from the Barrandian basin, Czechoslovakia*. – *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **14**: 129-134, 1 Tab., Amsterdam.
- MCGREGOR, D. C. (1960a): *Spores with proximal radial pattern from the Devonian of Canada*. – *Bull. Geol. Surv. Canada*, **76**: 1-12, 1 Pl., Ottawa.
- ,– (1960b): *Devonian spores from Melville Island, Canadian Arctic Archipelago*. – *Palaeontology*, **3** (1): 26-44, Pl. 11-13; London.

- ,– (1964): Devonian Miospores from the Ghost River Formation, Alberta. – Bull. Geol. Surv. Canada, **109**: 1-35, 4 Figs., 1 Tab., 2 Pl., Ottawa.
- ,– (1967): Composition and range of some Devonian spore assemblages of Canada. – Rev. Palaeobot. Palynol., **1**: 173-183, 3 Fig., 1 Pl., Amsterdam.
- ,– (1973): Lower and Middle Devonian spores of Eastern Gaspé, Canada. I. Systematics. – Palaeontographica, **B142**: 1-77, 38 Abb., 9 Taf.; Stuttgart.
- ,– (1976): Upper Silurian (?) to Middle Devonian spores of the Moose River Basin, Ontario. – Geol. Surv. of Canada Bull, **263**: 1-47, 27 Figs., 8 Pl., Ottawa.
- ,– (1979): Spores in Devonian stratigraphical correlation. – Spec. Pap. in Palaeont., **23**: 163-184, 13 Figs., London.
- MENENDEZ, C. A. & DE BALDIS, E. D. P. (1967): Devonian spores from Paraguay. – Rev. Palaeobot. Palynol., **1**: 161-172, 2 Pl.; Amsterdam.
- MORTIMER, M. G. (1967): Some Lower Devonian microfloras from Southern Britain. – Rev. Palaeobot. Palynol., **1**: 95-109, 3 Figs., 2 Pl.; Amsterdam.
- MORTIMER, M. G. & CHALONER, W. G. (1967): Devonian megaspores from the Wyboston borehole, Bedfordshire, England. – Palaeontology, **10**: 189-213, Pl. 26-29, London.
- NEVES, R. (1961): Namurian plant spores from the Southern Pennines, England. – Palaeontology, **4**: 247-279, Pl. 30-34, London.
- NOREM, W. L. (1958): Keys for the classification of fossil spores and pollen. – J. Palaeont., **32**: 666-676, Tulsa.
- OWENS, B. (1971): Miospores from the Middle and early Upper Devonian rocks of the western Queen Elisabeth Islands, Arctic Archipelago. – Pap. Geol. Surv. Canada, **70**: 157 S., 28 Pl., Ottawa.
- PITRAT, c. W. (1970): Phytoplankton and the late Paleozoic wave of extinction. – Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology, **8**: 49-55, 1 Tab., Amsterdam.
- PLAYFORD, G. (1962a): Lower Carboniferous microfloras of Spitsbergen, Part 1. – Palaeontology, **5** (3): 550-618, Pl. 78-87; London.
- ,– (1962b): Lower Carboniferous microfloras of Spitsbergen, Part 2. – Palaeontology, **5** (4): 619-678, Pl. 88-95, London.
- ,– (1976): Plant microfossils from the Upper Devonian and Lower Carboniferous of the Canning Basin, Western Australia. – Palaeontographica, **B 158**: 71 S., 5 Abb., 3 Tab., 12 Taf., Stuttgart.
- ,– (1977): Lower to Middle Devonian acritarchs of the Moose River basin, Ontario. – Bull. Geol. Surv. Canada, **279**: 1-87, 16 Figs., 2 Tab., 20 Pl., Ottawa.
- POTONIÉ, R. (1934): Zur Morphologie der fossilen Pollen und Sporen. – Arb. Inst. Palaeobot. und Petr. Brennst. Preuß. Geol. LA. **4**: 1-24, 44 Abb., Berlin.
- ,– (1956): Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae, Teil 1: Sporites. – Beih. Geol. Jb., **23**: 103 S., 11 Taf.; Hannover.
- ,– (1958): Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae, Teil 2: Sporites. – Beih. Geol. Jb., **31**: 114 S., 9 Taf.; Hannover.
- ,– (1960): Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae, Teil 3: Nachträge Sporites. – Beih. Geol. Jb., **39**: 189 S., 9 Taf.; Hannover.
- ,– (1966): Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae, Teil 4: Nachträge zu allen Gruppen. – Beih. Geol. Jb., **72**: 244 S., 15 Taf., Hannover.
- ,– (1970): Synopsis der Gattungen der Sporae dispersae, Teil 5: Nachträge zu allen Gruppen. – Beih. Geol. Jb., **87**: 222 S., 24 Taf., Hannover.
- ,– (1973): Phylogenetische Sporologie. Wandel der Sporengestalt der höheren Pflanzen im Laufe der Erdgeschichte. – Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., **22**: 142 S., 142 Abb., Krefeld.

- POTONIÉ, R. & KREMP, G. O. W. (1954): Die Gattungen der palaeozoischen Sporae dispersae und ihre Stratigraphie. – Geol. Jb., **69**: 111-194, 14 Taf., Hannover.
- ,– (1955): Die Sporae dispersae des Ruhrkarbons, ihre Morphographie und Stratigraphie mit Ausblicken auf Arten anderer Gebiete und Zeitabschnitte, Teil 1. – Palaeontographica, B **98**: 136 S., 37 Abb., 1 Tab., 16 Taf., Stuttgart.
- ,– (1956a): Die Sporae dispersae des Ruhrkarbons, ihre Morphographie und Stratigraphie mit Ausblicken auf Arten anderer Gebiete und Zeitabschnitte, Teil 2. – Palaeontographica, B **99**: 85-191, 51 Abb., 5 Taf., Stuttgart.
- ,– (1956b): Die Sporae dispersae des Ruhrkarbons, ihre Morphographie und Stratigraphie mit Ausblicken auf Arten anderer Gebiete und Zeitabschnitte, Teil 3. – Palaeontographica, B **100**: 65-121, 3 Tab.; Stuttgart.
- RAVN, R. L. & FITZGERALD, D. J. (1982): A Morrowan (Upper Carboniferous) miospores flora from eastern Iowa, USA. – Palaeontographica, B **183**: 108-172, 4 Figs., 1 Tab., 13 Pl.; Stuttgart.
- RICHARDSON, J. B. (1960): Spores from the Middle Old Red Sandstone of Cromarty, Scotland. – Palaeontology, **3** (1): 45-63, Pl. 14; London.
- ,– (1962): Spores with bifurcate processes from the Middle Old Red Sandstone of Scotland. – Palaeontology, **5** (2): 94-171, Pl. 25-27; London.
- ,– (1965): Middle Old Red Sandstone spore assemblages from the Orcadian basin ,north-east Scotland'. – J. Palaeont., **7** (4): 559-605, Pl. 88-93, London.
- ,– (1967): Some British Lower Devonian spore assemblages and their stratigraphic significance. – Rev. Palaeobot. Palynol., **1**: 11-129, 1 Tab., 4 Pl., Amsterdam.
- RIEGEL, W. (1968): Die Mitteldevonflora von Lindlar (Rheinland), 2. Sporae dispersae. – Palaeontographica, B **123**: 76-96, Taf. 16-20; Stuttgart.
- ,– (1973): Sporenformen aus den Heisdorf-, Lauch-, Nohn-Schichten (Emsium u. Eifelium) der Eifel, Rheinland. – Palaeontographica, B **142**: 78-104, 4 Abb., 1 Tab., Taf. 10-17; Stuttgart.
- ,– (1974): Phytoplankton from the Upper Emsian and Eifelian of the Rhineland, Germany – A preliminary report. – Rev. Palaeobot. Palynol., **18**: 29-39, 1 Fig., 1 Pl., Amsterdam.
- ,– (1977): Florenschnitt und Normalentwicklung in den Mikroflora des Unter- und Mitteldevons der Eifel. – N. dt. Geol. Ges., **17**: 70-71, Hannover.
- SCHOPF, J. M., WILSON, L. R. & BENTALL, R. (1944): An annotated synopsis of paleozoic fossil spore and the definition of generic groups. – State Geol. Surv., **91**: 5-73, 3 Pl., Urbana.
- SCHULTZ, G. (1968): Eine unterdevonische Mikroflora aus den Klerfer Schichten der Eifel (Rhein. Schiefergeb.). – Palaeontographica, B **123**: 5-42, 1 Abb., 4 Taf.; Stuttgart.
- SCOTT, D. L. & ROUSE, G. E. (1961): Perforosporites, A new genus of plant spores from the Lower Devonian of Eastern Canada. – J. Paleont., **35** (5): 977-980, Pl. 111-114, Tulsa.
- STAPLIN, F. L. (1960): Upper Mississippian plant spores from the Galata Formation, Alberta, Canada. – Palaeontographica, B **107**: 1-40, 2 Figs., 1 Tab., 8 Pl.; Stuttgart.
- ,– (1961): Reef-controlled distribution of Devonian microplankton in Alberta. – Palaeontology, **4**: 392-424, 9 Figs., Pl. 48-51; London.
- STREEL, M. (1967): Association de spores du Devonien inferieur Belge et leur signification stratigraphique. – Ann. Soc. Geol. Belgique, **90** (1): 11-54, 3 Pl., Liege.
- ,– (1972): Dispersed spores associated with *Leclercqia complexa* BANKS, Bonama & GRIERSON from the late Middle Devonian of eastern New York State (USA). – Rev. Palaeobot. Palynol., **14**: 205-215, 1 Fig., 2 Pl.; Amsterdam.
- TAPPAN, H. (1968): Primary production, isotopes, extinction and the atmosphere. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **4**: 187-210, Amsterdam.
- ,– (1970): Phytoplankton abundance and Late Paleozoic extinction: a reply. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **8**: 56-66, 1 Tab., Amsterdam.

- TAUGOURDEAU-LANTZ, J. (1960): Sur la microflore du Frasnien inferieur de Beaulien (Boulonnais). – Rev. de Micro-pal., **3** (3): 144-154, 3 Pl., Paris.
- ,– (1967): Les spores du Frasnien du Bas-Boulonnais (France). – Rev. Palaeobot. Palynol, **1**: 131-139, 2 Figs., 1 Pl.; Amsterdam.
- THOMSON, P. W. (1952): Beitrag zur Kenntnis der Sporomorphenflora im Unter- und Mitteldevon. – Pal. Z., **25**: 155-159; Stuttgart.
- TILLMANN, W. (1968): Zur Sporenführung der obersten Siegener Schichten bei Unkelmühle (Eitorf/Sieg). – Sonderveröff. Geol. Inst. Köln, **33**: 81-90, 1 Abb., Köln.
- TIWARI, R. S. & SCHAARSCHMIDT, F. (1975): Palynological studies in the Lower and Middle Devonian of the Prüm Syncline, Eifel (Germany). – Abh. senckenb. naturforsch. Ges., **534**: 129 S., 37 Abb., 30 Taf.; Frankfurt/Main.
- TSCHUDY, R. H. & SCOTT, R. A. (1969): Aspects of Palynology. – 510 S.; New York.
- VIGRAN, J. (1964): Spores from Devonian deposits, Mimerdalen, Spitsbergen. – Norsk Polarinst., **132**: 1-32, Pl. 1-6; Oslo.
- VOLKMER, U. (1984): Palynologie des Unterdevons (Siegen-Ems) im östlichen Rheinischen Schiefergebirge. – Sonderveröff. Geol. Inst. Köln, **54**: 131 S., 24 Abb., 14 Taf., Köln.
- WALL, D. (1969): Affinities of *Tasmanites* and *Leiosphaeridia*. – Geol. Mag., **99**: 352-363, 2 Figs., Pl. 17, London.
- WICANDER, E. R. (1975): Fluctuations in an Late Devonian – Early Mississippian phytoplankton flora of Ohio, USA. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, **17**: 89-108, 9 Figs.; Amsterdam.
- WOHLFEIL, K. (1984): Eine Sporengesellschaft in Tonsteingeröllen aus dem Bereich der Island-Färöer-Schwelle (Nordatlantik) und ihre Bedeutung für die Dropstones aus dieser Region. – Münster, Forsch. Geol. Palaeont., **61**: 101-145, 4 Abb., 6 Taf.; Münster.

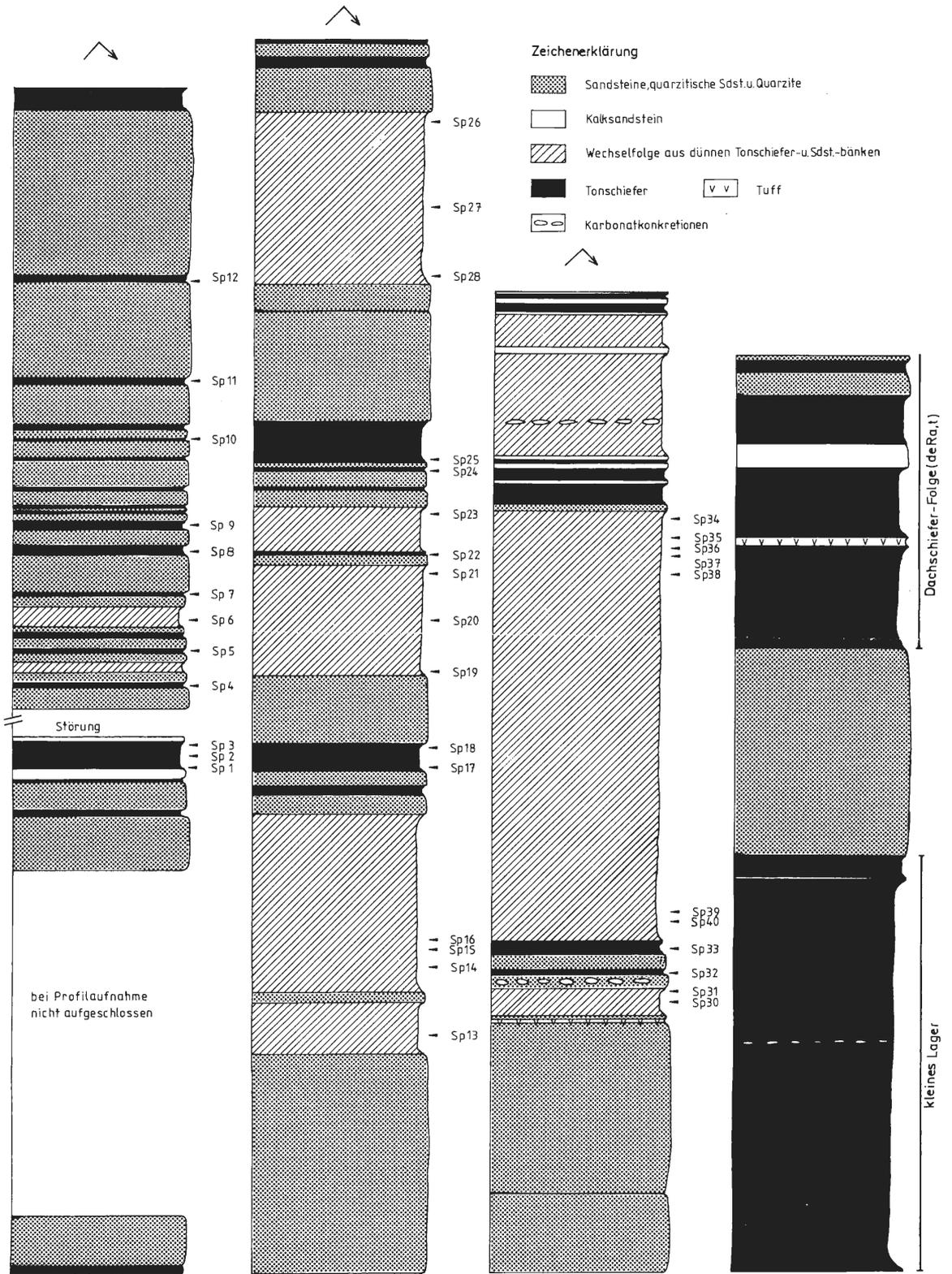
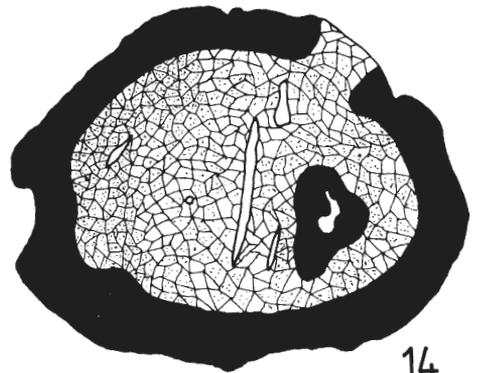
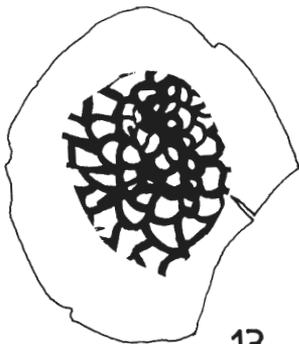
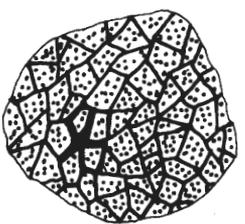
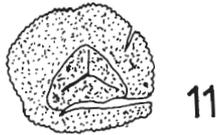
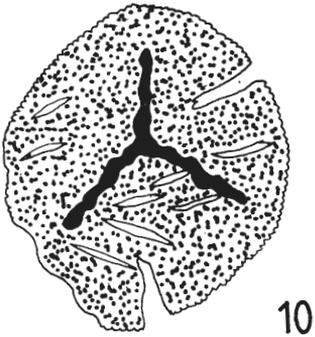
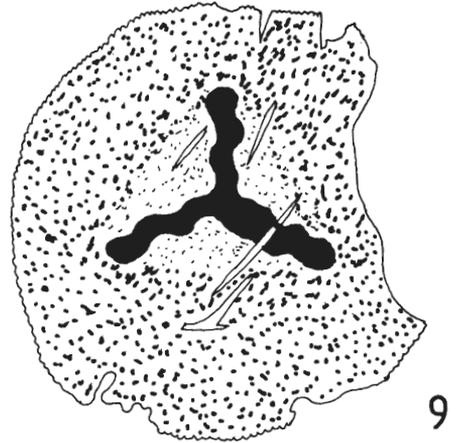
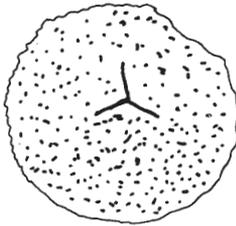
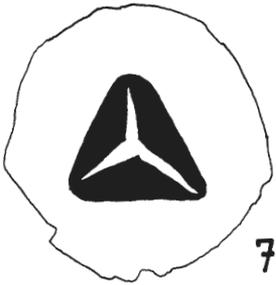
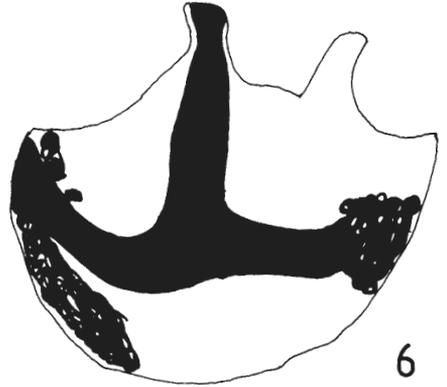
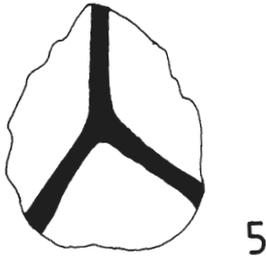
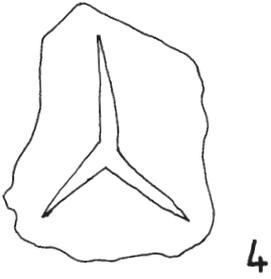
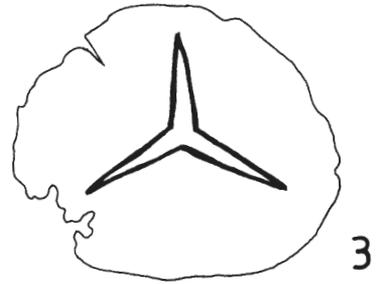
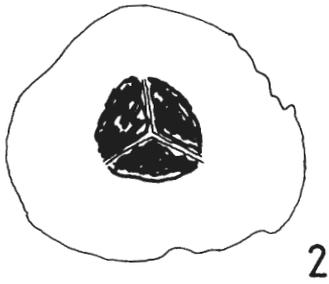


Tabelle 1 Probenentnahmepunkte im Unteren Quarzit (de Ra. q<sub>1</sub>)  
 Lokalität: Stbr. Hillerberg - obere Abbauterrasse

## TAFEL 1

- Fig. 1:** *Leiotriletes adnatoides* POTONIÉ & KREMP 1955 – Größe: 0,042 mm
- Fig. 2:** *Leiotriletes atavus* NAUMOVA 1953 – Größe: 0,052 mm
- Fig. 3:** *Leiotriletes dissimilis* MCGREGOR 1960 – Größe: 0,062 mm
- Fig. 4:** *Leiotriletes simplex* NAUMOVA 1953 – Größe: 0,03 mm
- Fig. 5:** *Leiotriletes ornatus* ISHCENKO 1956 – Größe: 0,04 mm
- Fig. 6:** ? *Leiotriletes* sp. – Größe: 0,056 mm
- Fig. 7:** *Punctatisporites minutus* KOSANKE 1950 – Größe: 0,07 mm
- Fig. 8:** *Cyclogranisporites parvulus* var *macroparvulus* STAPLIN 1960 – Größe: 0,04 mm
- Fig. 9:** *Cyclogranisporites flexuosus* PLAYFORD 1962 – Größe: 0,08 mm
- Fig. 10:** *Cyclogranisporites* cf. *flexuosus* STAPLIN 1962 – Größe: 0,063 mm
- Fig. 11:** *Cyclogranisporites* sp. – Größe: 0,042 mm
- Fig. 12:** *Dictyotriletes subgranifer* MCGREGOR – Größe: 0,048
- Fig. 13:** *Dictyotriletes nigratus* NAUMOVA 1953 – Größe: 0,08 mm
- Fig. 14:** *Dictyotriletes canadensis* MCGREGOR 1973 – Größe: 0,13 mm

Tafel 1



## TAFEL 2

**Fig. 1:** *Emphanisporites rotatus* MCGREGOR 1961 emend. MCGREGOR 1973 – Größe: 0,035 mm

**Fig. 2:** *Emphanisporites robustus* MCGREGOR 1961 – Größe: 0,042 mm

**Fig. 3:** *Emphanisporites* sp. – Größe: 0,05 mm

**Fig. 4:** *Foveosporites* sp. – Größe: 0,04 mm

**Fig. 5:** *Brochotriletes* sp. A – Größe: 0,072 mm

**Fig. 6:** *Brochotriletes* sp. A – Größe: 0,085 mm

**Fig. 7:** *Brochotriletes* sp. B – Größe: 0,06 mm

**Fig. 8:** *Brochotriletes* sp. C – Größe: 0,03 mm

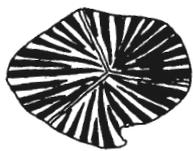
**Fig. 9:** *Stenozonotriletes conspersus* NAUMOVA 1953 – Größe: 0,05 mm

**Fig. 10:** *Stenozonotriletes clarus* ISHCENKO 1958 – Größe: 0,05 mm

**Fig. 11:** *Stenozonotriletes* sp. – Größe: 0,042 mm

**Fig. 12:** *Stenozonotriletes simplex* NAUMOVA 1953 – Größe: 0,052 mm

Tafel 2



1



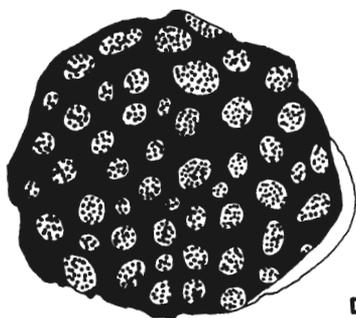
2



3



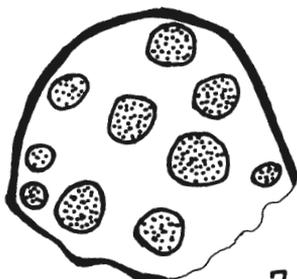
4



5



6



7



8



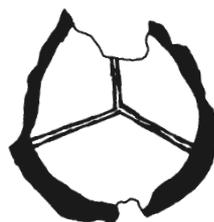
9



10



11

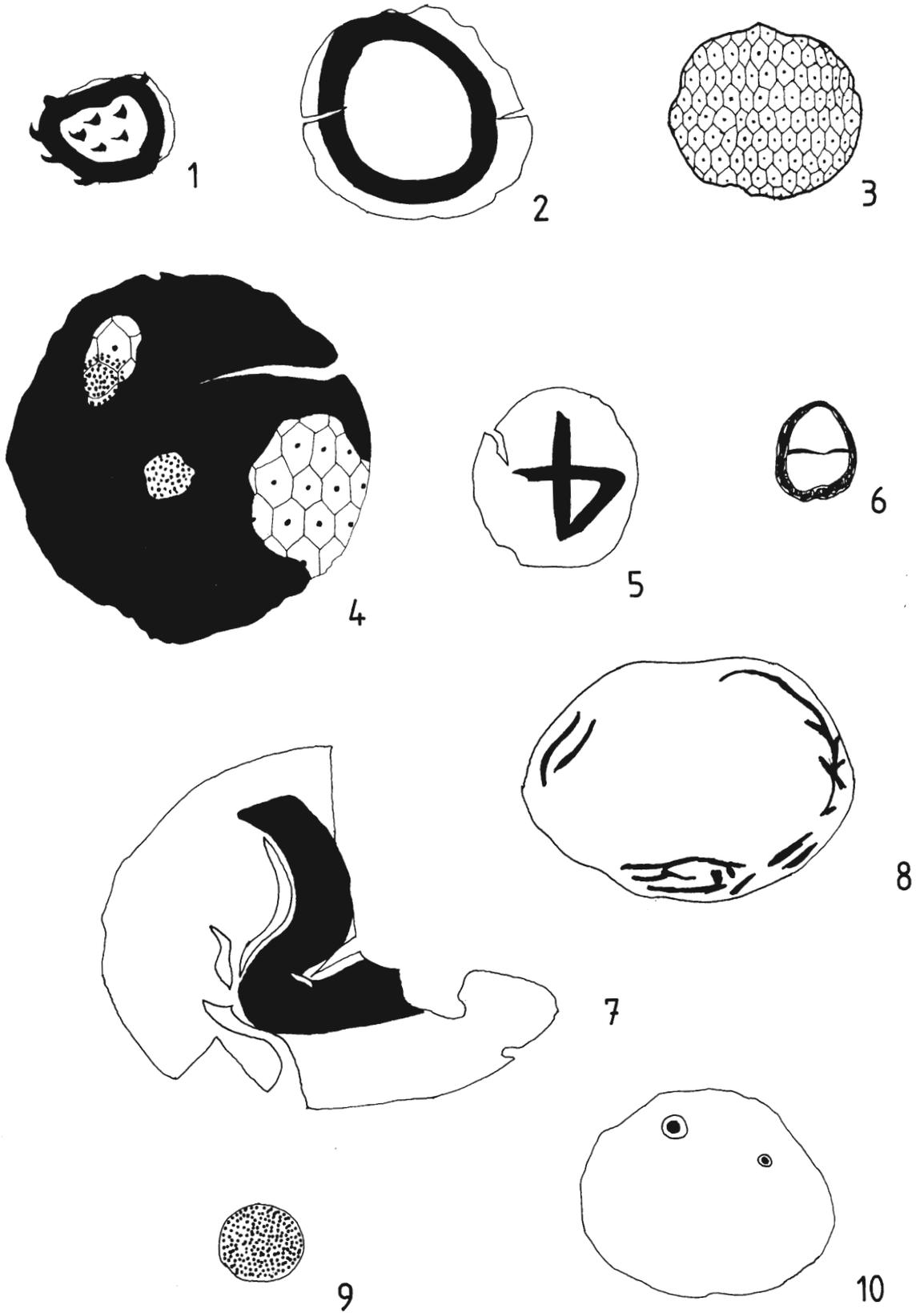


12

### TAFEL 3

- Fig. 1:** *Hymenozonotriletes scorpius* BALME & HASSEL 1962 emend. PLAYFORD 1962 – Größe: 0,03 mm
- Fig. 2:** *Hymenozonotriletes* sp. – Größe: 0,065 mm
- Fig. 3:** *Dictyotidium polygonum* STAPLIN 1961 – Größe: 0,048 mm
- Fig. 4:** *Dictyotidium* sp. – Größe: 0,096 mm
- Fig. 5:** *Leiosphaeridia laevigata* STOCKMANN & WILLIERE 1963 – Größe: 0,05 mm
- Fig. 6:** *Leiosphaeridia* sp. A TIWARI & SCHAARSCHMIDT – Größe: 0,026 mm
- Fig. 7:** *Tasmanites sinuosus* WINSLOW 1962 – Größe des Fragments: 0,09 mm
- Fig. 8:** *Tasmanites* sp. A – Größe: 0,032 mm
- Fig. 9:** *Lophosphaeridium cryptogranulosum* (STAPLIN 1961) DOWNIE 1963 – Größe: 0,025 mm
- Fig. 10:** *Tasmanites* ? sp. B – Größe: 0,065 mm

Tafel 3





Geol. Paläont. Westf.	9	27 S.	1 Abb. 5 Tab.	Münster November 1987
--------------------------	---	-------	------------------	--------------------------

## Hydrologische Markierungsversuche in Westfalen Ein historischer Überblick

Dieter W. ZYGOWSKI \*

### Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung .....	40
2. Grundwassermarkierungen in Westfalen .....	41
2.1 Münstersches Becken .....	41
2.1.1 Paderborner Hochfläche und Haarstrang .....	41
2.1.2 Münsterland .....	45
2.2 Rheinisches Schiefergebirge .....	45
2.2.1 Nordsauerland (Raum Hagen-Hohenlimburg und Raum Iserlohn – Hemer – Hönnetal) .....	45
2.2.2 Ostsauerland (Briloner und Warsteiner Massenkalkvorkommen) .....	47
2.2.3 Südsauerland .....	49
2.3 Färbeversuche im Bergbau .....	50
3. Schrifttum .....	51

\* Anschrift des Verfassers: Dieter W. Zygowski  
Eugen-Müller-Straße 21  
D-4400 Münster

### Zusammenfassung:

Nach einer kurzen Einführung in die Methodik der Grundwassermarkierung und einer Übersicht über Markierungsmittel werden die Gebiete Westfalens, in denen Grundwassermarkierungsversuche stattfanden, vorgestellt. Vorrangig sind es Karstgebiete, die „klassischen“ Grundwasserleiter für Markierungsversuche.

Grundwassermarkierungen in Karstgebieten haben in Westfalen eine recht lange Tradition: Der erste – allerdings erfolglose – Versuch fand mit Eosin am 18. Oktober 1895 an Schwinden der Alme in Ostwestfalen statt. Erfolgreich war ein Versuch mit 2 kg Uranin (K-Fluorescein) an gleicher Stelle am 5. November 1895. Vorausgegangen waren volkstümliche Versuche mit Häcksel, Stroh etc. (KNOP 1875, STILLE 1903). Mehrere Versuche im Raum Paderborner Hochfläche/Haarstrang folgten bis 1902.

Die erste Salzung fand am 8. August 1913 im Briloner Karstgebiet statt (HUMMELL & HOFFMANN 1913). Driftstoffe kamen in Westfalen erst relativ spät als Tracer zum Einsatz: Obwohl GÄRTNER (1902) bei der Erörterung der Quellenverhältnisse der von Typhus-Epidemien betroffenen Stadt Paderborn bereits den Nutzen von Bakterien-Emissionen aus hygienischer Sicht hervorhebt, scheint der erste Versuch in Westfalen doch erst 1938 ausgeführt worden zu sein (TAETZLER 1971). Bärlappsporen kamen in Paderborn 1961 (BAŞKAN 1970), in Hagen-Hohenlimburg 1963 (BOLSENKÖTTER 1965) zum Einsatz. Mit Bakteriophagen wurde in den Halterner Sanden (südliches Münsterland; Santon) experimentiert (unveröff.).

Detergentien wurden auf der Deilinghofener Hochfläche, Hemer, erprobt (SCHMIDT 1970). Radioaktive und aktivierungsanalytische Tracer wurden in Westfalen bisher nicht eingesetzt.

Den eindeutigen Schwerpunkt bei den tracerhydrologischen Studien bildeten die Karstgebiete Westfalens. Versuche in klastischen Gesteinen (HEITFELD & TAETZLER [1967] in tonig-sandigen Gesteinen des Mitteldevon) und in quartären Lockergesteinen blieben die Ausnahme bzw. werden erst ab ca. 1960 ausgeführt.

In 5 Tabellen sind alle veröffentlichten Markierungsversuche zusammengestellt.

## 1. Einführung

Zur Erforschung von Grundwasserströmungen dienen sogenannte Markierungsmittel, die dem Grundwasser beigefügt werden (es wird „markiert“), um an anderen Stellen zu beobachten, ob, in welcher Konzentration und nach welcher Zeit das Mittel festgestellt werden kann.

Die Stoffe, die hierbei erprobt wurden, sind vielfältig, doch haben sich im Laufe der praktischen Tätigkeit nur wenige behauptet, die den vielfältigen Anforderungen genügen. Es sind dies insbesondere:

- Das Markierungsmittel darf von Natur aus nicht oder nur in sehr geringer und bekannter Konzentration im Wasser vorhanden sein.
- Unbedenklichkeit für Mensch und Tier in hygienisch-medizinischer und biologisch-ökologischer Hinsicht.
- Keine Neigung zu Ionenaustausch oder Adsorption am Gesteinskörper; chemisch träge.
- Einfacher aber empfindlicher Nachweis.
- Einfache und ungefährliche Handhabung; preiswert.

Die gebräuchlichsten Markierungsmittel (auch „Tracer“ genannt) lassen sich einteilen in:

- Farbstoffe  
Heute nur noch gebräuchlich Fluoreszenzfarbstoffe aus der Gruppe der Xantheme, die über ihre Fluoreszenzeigenschaften apparativ nachgewiesen werden können. Neben Rhodamin wird heute an aller erster Stelle Uranin, das Natriumsalz des Fluoresceïns ( $C_{20}H_{10}Na_2O_5$ ) eingesetzt. Seine Sichtbarkeitsgrenze liegt bei einer Verdünnung von etwa  $1 \cdot 10^{-8}$ . Fluorimetrisch lassen sich noch 0,2 µg/l nachweisen (ZÖTL 1974).
- Salze  
Hauptsächlich Steinsalz (NaCl) in Rohform
- Driftstoffe (Sporen, Bakterien)
- Detergentien und Geruchsstoffe  
Diese werden heute jedoch kaum noch eingesetzt, da die Grundlast der Gewässer bereits vielerorts sehr hoch ist; hinzu kommen ökologische Bedenken.
- Radioaktive Tracer (in Westfalen ohne Bedeutung).

Auf die speziellen Eigenschaften der einzelnen Markierungsmittel, ihre Vor- und Nachteile und deren Nachweismethoden weiter einzugehen, ist nicht Gegenstand dieses Beitrages. Hierzu sei auf folgende Übersichten verwiesen: BATSCHE (1971), DREW & SMITH (1969), JONES (1984), KÄSS (1972), MAURIN & ZÖTL (1959), SMART & LAIDLAW (1977) und ZÖTL (1974).

Die Kenntnis der Herkunft eines Wassers, welches für Trinkwasserzwecke gewonnen wird, ist von großer praktischer Bedeutung, will man vor meist bösen Überraschungen geschützt sein. In der Wasserwirtschaft werden deshalb Grundwasserschutzzonen um Gewinnungsanlagen festgelegt, die – in 3 Zonen abgestuft – der biologischen und chemischen Kontamination des geförderten Wassers durch Ge- und Verbote vorbeugen (HÖLTING 1979, S. 301).

Die stärksten Impulse bei der Entwicklung der Grundwassermarkierungsmethodik kamen von Seiten der Karstforschung. In Karstgebieten wurden die frühesten Markierungen an versinkenden Bächen und Flüssen durchgeführt, da die Menschen das ungewöhnliche Phänomen der in der Erde verschwindenden

Flüsse seit frühester Zeit beschäftigt (PFEIFFER 1963, SHAW 1979). Die grundlegenden Methoden der modernen, wissenschaftlichen Tracerhydrologie wurden in Karstgebieten erarbeitet. Später erst kamen diese Methoden in anderen Festgesteinen und in Lockergesteinen zur Anwendung.

Auch im westfälischen Raum dominieren die Versuche in Karstgebieten, was auch in der regionalen Gliederung der Markierungsversuchsbeschreibungen zum Ausdruck kommt (Kap. 2).

In diesem Aufsatz soll eine Übersicht über die Entwicklung der Tracerhydrologie im westfälischen Raum gegeben werden, wobei das Schwergewicht auf den Anfängen der Karstwassermarkierungen liegt. In der tabellarischen Zusammenstellung der Tracerversuche wurde keine Vollständigkeit angestrebt, jedoch Wert auf die Erfassung des Ersteinsatzes neuer Markierungsmittel oder -methoden in Westfalen gelegt. Zur Veröffentlichung gelangten hauptsächlich Versuche mit wissenschaftlich-forscherischer Zielsetzung. Versuche aus rein praktischer Fragestellung heraus hingegen sind meist nur in Form unveröffentlichter Protokolle dokumentiert.

## 2. Grundwassermarkierungen in Westfalen

### 2.1 Münstersches Becken und Ostwestfalen

#### 2.1.1 Paderborner Hochfläche und Haarstrang

In der Paderborner Hochfläche im SE der Münsterländer Bucht bilden verkarstbare Gesteine der Oberkreide (Turon und Cenoman) eine von rund 120 m ü.NN gen SE zum Eggegebirge auf über 400 m ü. NN ansteigende, in Schichtstufen gegliederte Fläche. Die rund 20 bekannten befahrbaren Höhlen sind meist klein und kluftgebunden (MORLO 1983); die Karsthydrographie ist jedoch deutlich ausgeprägt. Das niederschlagsreiche Eggegebirge bildet den Einzugsbereich der allochthonen Flüsse der Paderborner Hochfläche. Zu den stärksten Karstquellen Deutschlands zählen die Paderquellen zu Paderborn.

Zur Karstologie des Gebietes siehe auch BAŞKAN (1970), KOCH & MICHEL (1972), ROSENFELD (1961) und STILLE (1903).

Der Haarstrang bildet am Südrand des Münsterschen Beckens einen W-E gestreckten Höhenzug, der sich gen E verbreitert und in die Paderborner Hochfläche übergeht. Er besteht ebenfalls aus Kalk- und Kalkmergelsteinen des Turon und Cenoman, deren Schichten mit 2° bis 4° nach N einfallen und unter mergelige Gesteine der höheren Oberkreide abtauchen. An dieser Linie ist ein Band von zahlreichen, oft stark schüttenden Quellen ausgebildet.

Da die Oberflächenneigung des Geländes etwa gleichsinnig mit der Gesteinslagerung gen N abfällt, gehört das Gebiet fast vollständig zum Einzugsbereich der Lippe. Nur ein sehr schmaler Streifen am Südrand entwässert zur südlich den Haarstrang begrenzenden Ruhr. Hydrographie und Morphologie sind stark durch Verkarstungserscheinungen geprägt: Trockentäler und temporäre Quellen (Quicksprünge) sowie Erdfälle prägen das Bild (THOMÉ 1981). Karstmorphologische und -hydrographische Beschreibungen sind zahlreich<sup>1</sup>. Umfangreich ist auch das Schrifttum über die Sol- und Heilquellzone, die sich im Hellwegraum west-östlich erstreckt. Daß Schüttungsmenge und Zusammensetzung der Solquellen, die hochmineralisiertes Tiefenwasser, vermischt mit mittel- und langfristigem Grundwasser fördern, in hydraulischer Beziehung zum Karstwasser des Haarstrangs stehen, zeigte zuletzt FISCHBACH (1983).

Die frühesten wissenschaftlich durchgeführten Markierungsversuche Westfalens fanden im Gebiet der südlichen Paderborner Hochfläche und im Einzugsgebiet des Paderquellen im letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts statt. Ihnen voraus gingen einige volkstümliche „Markierungsversuche“, die aber auch schon als ernsthafte Auseinandersetzung mit dem Phänomen der unter der Erde verschwindenden Gewässer angesehen werden kann. SEGİN (1962, S. 152) berichtet nach alten Quellen über einen Versuch an den Schwalgen der Beke aus dem Jahre 1577, bei dem Häcksel eingesetzt wurde. Der Versuch soll die vermutete Verbindung der Bekeschwalgen mit den Lippequellen bei Bad Lippspringe bestätigt haben,

---

<sup>1</sup> Die Quellen am Hellweg sind von SAUERLAND (1969) zusammenfassend beschrieben worden, Teilbereiche und -aspekte von BODE (1954), KÖHLER (1981), FISCHBACH (1983) und MICHEL (1985).

was allerdings in Zweifel gezogen werden muß. Zumindest ist es nach SEGIN „ein schönes Ergebnis neuzeitlicher Erforschung der geographischen Gegebenheiten, wahrscheinlich in unserem Raum eines der ersten wissenschaftlichen Experimente diese Art.“

KNOP (1875, S. 947) berichtet über das Gebiet der Paderborner Gegend: „[. . .] in dieser Gegend wird erzählt, daß bei Dahle in den Ellerbach geworfener Flachs nach drei Tagen in den Paderquellen wieder hervorkommen soll. Zur Zeit des Flachsströstens in Dahle soll das Bier von Paderborn schlecht ausfallen. Geschnittenes Stroh, unterhalb Neuenbeken in die Becke gestreut, soll wieder in den Lippequellen hervortreten, und zwei Enten, die einstens an dem genannten Orte durch das versinkende Wasser fortgetrieben wurden, sollen nach einigen Tagen in den Lippequellen wieder aufgetaucht sein.“

Auch G. BISCHOF, Professor für Chemie und Technologie an der Universität Bonn, schreibt in seinem „Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie“ (1847) über einige selbstveranlaßte Versuche. Auch er wählte „eine grosse Menge geschnittenes Stroh“, welches er dem versinkenden Bachwasser der Beke unterhalb des Eisenhammers von Altenbeken beigab (BISCHOF 1833, S. 255). Über deren Mißerfolg berichtet er und deutet dies auch richtig: „Es scheint, dass keine dieser Sagen [über gelungene Markierungen] auf einer wohlbegründeten Thatsache ruht. So unbezweifelt der unterirdische Zusammenhang zwischen den im Kreidemergelgebirge versinkenden Flüssen und den am Abhange desselben hervorkommenden mächtigen Quellen ist, so wenig wahrscheinlich ist es, dass jene Flüsse ihren unterirdischen Lauf in einem geschlossenen Canale fortsetzen; so dass schwimmende Substanzen geraden Wegs fortgeführt werden könnten. Es deuten vielmehr alle Umstände darauf hin, dass die versinkenden Flüsse sich zwischen Klüften des Gesteins verlieren, sich in Höhlen sammeln, und so eine sehr ausgedehnte unterirdische Wassersammlung bilden, aus der hier und da die Wasser wieder abfließen und jene mächtigen Quellen bilden.“ (BISCHOF 1847, S. 23).

Streitigkeiten zwischen Nutzern des Almewassers und Nutzern der Quellen am östlichen Hellweg haben auch zu den ersten Markierungsversuchen mit Farbstoffen geführt. Die Alme verlor ab 1850 zunehmend Wasser, nachdem einige Jahre zuvor der Lauf des Flusses im Talgrund geändert worden war (FEIGE 1961). Durch Verstopfen der Schwalglöcher versuchten die Anlieger, das für den Betrieb der Müh-

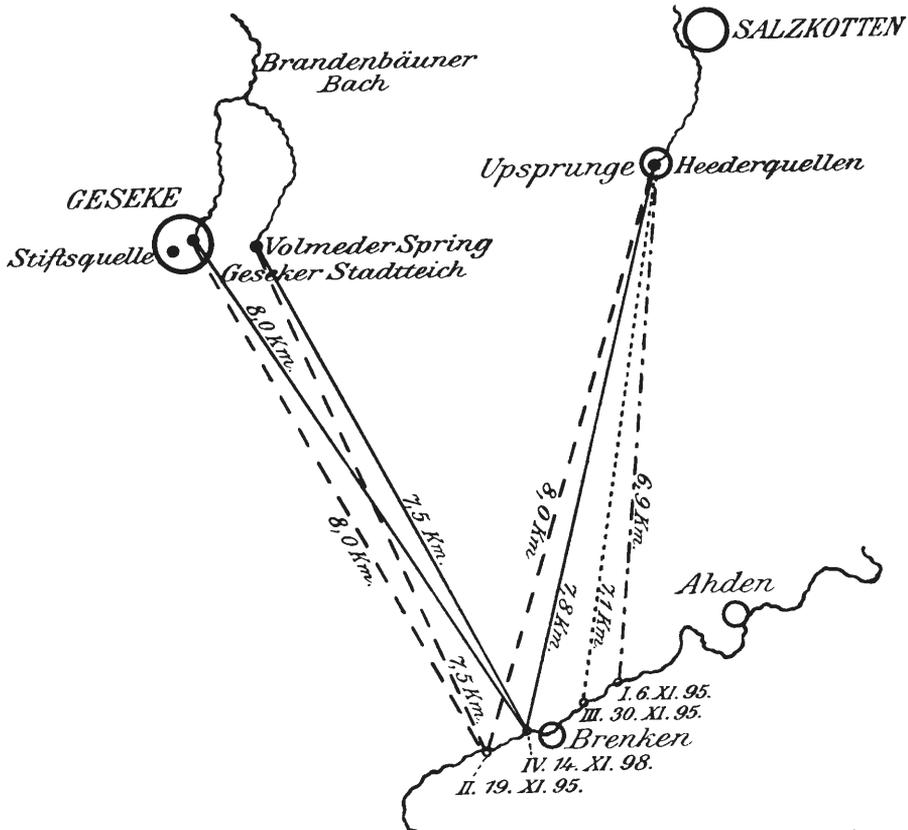


Abb. 1: Die frühesten Markierungsversuche Westfalens im Almetal. Aus: GÄRTNER (1902).

len und auch für die Versorgung von Mensch und Tier nötige Wasser im Almebett zu halten. Hierdurch ging jedoch die Schüttung der Geseker und Upsprunger Quellen nach Ansicht der dortigen Bewohner zurück.

Rechtsstreitigkeiten sind bereits aus dem 16. Jahrhundert belegt. Augustiner-Mönche von Böddecken verstopften 1578 Schwalgen oberhalb ihrer Mühle in Graffelen bei Wewelsburg, worauf die Hederquellen in Upsprünge nur noch einen Teil der vorherigen Menge schütteten. Auf Klage der Stadt Salzkotten mußten die Schwalgen wieder geöffnet werden (BESSEN 1820, S. 82). Versuche, den Weg des unterirdisch fließenden Wassers durch eine Markierung zu ermitteln, sind allerdings nicht überliefert. Die hydrologischen Zusammenhänge schienen eindeutig genug zu sein.

Nachdem im Sommer 1895 auf Betreiben der Anlieger im unteren Almetal bei Brenken wieder einige Hauptschwinden abgedichtet worden waren, soll der Geseker Spring angeblich versiegt sein. Um die Behauptung der Geseker, dies beruhe auf der Abdichtung der Almeschwalgen, nachzuprüfen, wurden durch das damalige Königliche Meliorationsbauamt in Münster einige Schwalgen der Alme bei Brenken gefärbt. Die ersten beiden Versuche am 18. und 29. Oktober 1895 wurden mit Eosin angestellt, blieben aber erfolglos (FEIGE 1961, S. 50). Sodann wurde am 5. November 1895 Uranin eingesetzt<sup>2</sup> – damals noch als „Uraninkali“ bezeichnet (Kaliumsalz des Fluoresceins). WOLLE (1944, zit. nach BODE 1954, S. 447) berichtet über diese 3 Versuche:

Die fünfte Färbung fand am 30. November 1895 an wiederum anderen Schwinden unterhalb des Dorfes Brenken statt. Die eingesetzte Menge Uranin wird nicht genannt.<sup>3</sup>

Es sind dies – wie schon gesagt – die ersten systematischen Versuche in Westfalen überhaupt. Erfahrungen mit dem heute bedeutendsten Grundwassermarkierungsmittel lagen schon einige vor, nachdem TEN BRINK es in die wissenschaftliche Hydrologie eingeführt hat (KNOP 1875; vgl. KÄSS 1976). Die Mißerfolge der Eosin-Versuche dürften somit lediglich auf eine zu gering gewählte Menge zurückzuführen sein, denn Eosin hat in Lösung eine deutlich höhere Sichtbarkeitsschwelle als Uranin.

Ein weiterer Versuch wurde wenige Jahre später – am 12. November 1898 – an der Alme oberhalb Brenken mit Uranin („3 kg Uraninkali“) durchgeführt (BODE 1954, S. 447).

---

<sup>2</sup> JEHN (nach DUNKER 1975) gibt als Datum den 6. November an. DUNKER zitiert einen „Bericht von Dr. JEHN in der Geseker Zeitung“, den er aber (wohl fälschlich) mit der Jahreszahl 1894 überschreibt! Die Quelle konnte nicht überprüft werden.

„Am 5. November (1895) wurden frühmorgens 5.30 Uhr in das vorher gedichtet gewesene, jetzt aber wieder freigelegte, große Schwalgloch am Zusammenfluß des Untergrabens der Brenkener Sägemühle mit der Alme, also unterhalb des Dorfes Brenken, 2 kg Uraninkali geschüttet. Nach 25 Stunden, also am 6. November morgens 6.30 Uhr begann eine der Karstquellen in Upsprünge sich zu färben und nach und nach wurden sämtliche Heder-Quellen dort grün, und die Färbung hielt bis 6 Uhr abends an.

Aber von den Geseker Quellen zeigte keine einzige irgendwelche Färbung.

Am 19. November 1895 wurde dann vormittags 11.30 Uhr eine Schwalge oberhalb von Brenken gefärbt. Nach etwa 30 Stunden, also am 20. November 6 Uhr abends, zeigten wieder alle Upsprunger Quellen die grüne Farbe und am 21. November morgens 8 Uhr, also nach 44 Stunden, färbte sich der Völmeder Spring bei Geseke grün und nach weiteren 2 Stunden auch der Rosenteich und behielten diese Farbe bis nachmittags 4 Uhr. Der Geseker Spring dagegen zeigte auch diesmal keine Färbung.“

<sup>3</sup> GÄRTNER (1902, S. 383f) macht zu diesen frühen Versuchen einige falsche Angaben und verlegt den ersten Versuch auf den 6. November 1891, den zweiten auf den 19. November 1893. Er beruft sich hierbei auf die „Liebenswürdigkeit des Meliorationsbauamtes Minden“, welches ihm „genaue Daten über die Färberversuche übergeben“ hat. Nach FEIGE (1961), der mehrere der noch vorhandenen Originalunterlagen einsah, wurden in der Zeit vom 9. Oktober bis 12. Dezember 1891 – also in der Zeit, in der nach GÄRTNER die erste Markierung stattfand – Dichtungsarbeiten im Bachbett der Alme durchgeführt, die vom Meliorationsbauamt Münster ausgingen. In die A. GÄRTNER aus Minden übermittelten und von ihm publizierten Angaben haben sich also vermutlich Übermittlungsfehler eingeschlichen, denn seine Angaben von Eingabe- und Wiederaustrittsort sowie Fließzeit stimmen sonst (weitgehend!) mit den Angaben von STILLE (1903, S. 66ff), BODE (1954, S. 447) und FEIGE (1961, S. 50) überein. Die der GÄRTNER'schen Arbeit beigefügte Karte nennt auch die richtigen Jahreszahlen (Abb. 1)!

GUTZMANN (1914, S. 67) kennt nur einen Versuch mit Eosin, den er auf den 22. Oktober 1895 verlegt. Er nennt als Quelle „Akten der Freiherrlich von und zu Brenkenschen Rentei betreffs Dichtung der Schwalge im Almebette“.

Das Bedürfnis, die Herkunft des Wassers der Paderquellen zu erforschen, ist durch verheerende Typhus-Epidemien 1885, 1895, 1897 und 1898 (GÄRTNER 1902), deren letzte in der 22.000-Einwohner-Stadt 32 Todesopfer forderte, neu geweckt worden. Gleiche Probleme gab es auch in anderen, dicht besiedelten und verstäderten Gebieten, in denen keine oder nur unzureichende zentrale Wasserversorgung bestand. Die ersten Versuche, Typhus-Epidemien auf diese Weise zu klären, wurden 1882 in Frankreich ausgeführt (DOLE 1906, S. 75).

So wurde dann der erste Versuch im Tal des Ellerbaches bei Dahl auf Veranlassung des Königlichen Meliorationsbauamtes in Münster durchgeführt: Am 1. Juni 1897 wurden 1500 m oberhalb Dahl 1,5 kg „Uraninkali“ in ein Schwalgloch geschüttet (VÜLLERS 1898, S. 77; STILLE 1903, S. 67).<sup>4</sup> Der Versuch verlief erfolgreich, denn nach 32 Stunden färbten sich mehrere der Paderquellen grün. Weitere Versuche folgten am 3. Juni 1897, 11. August 1897 und 24. November 1897 an verschiedenen Stellen im Ellerbachtal.

Die nächsten Markierungen wurden von dem Gymnasialprofessor Dr. FRICKE aus Paderborn ausgeführt: Hierbei wurde am 5. Dezember 1898 das versinkende Wasser der Sauer oberhalb Grundsteinheim eingefärbt, am 10. Januar 1899 an einem Schwalgloch unterhalb des Ortes Grundsteinheim (VÜLLERS 1899, S. 226; STILLE 1903, S. 68f). Weitere Versuche – alle mit „Uraninkali“ (= Kaliumsalz des Fluoresceins) – wurden von FRICKE (die letzten in Zusammenarbeit mit H. STILLE) zwischen 1899 und 1902 im Einzugsgebiet der Paderquellen durchgeführt. Sie fanden dabei lebhaftere – und auch für eine kontinuierliche Beobachtung nötige – Unterstützung durch die Bevölkerung.<sup>5</sup>

Eine im Herbst 1898 durchgeführte Färbung der Beke bei Neuenbeken erbrachte hingegen „bei den Quellen der Paderborner Ebene keine Grünfärbung des Wassers“ (VÜLLERS 1899, S. 226).

Nach diesen frühen Versuchen, die in der grundlegenden Arbeit von Hans STILLE „Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiet der Paderquellen zu Paderborn“ (1903) dokumentiert sind, stockte die Erforschung der Hydrogeologie des Paderborner Raumes. Erst in den 60er Jahren wurde durch das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen wieder ein umfangreiches hydrologisches Forschungsprogramm durchgeführt. Hierbei fanden auch mehrere Markierungsversuche statt, über die BOLSENKÖTTER (1967) kurz berichtet und die von BAŞKAN (1968) in seiner Dissertation ausgewertet und 1970 publiziert werden (BAŞKAN 1970, Tab. 6).

Diesesmal kamen neben Uranin auch gefärbte Bärlappsporen zum Einsatz, deren Ergebnis im Karst jedoch nicht von der gleichen Aussagekraft ist, wie das von Fluoreszenzfarbstoffen. Hierbei wurde auch in drei Fällen eine Doline mit Farbstoff bzw. Sporen beschickt, nachdem mit Wasser kräftig vorgespült wurde und ebenfalls nachgespült, um die Tracer dem Grundwasser zuzuführen. Nach BOLSENKÖTTER (1967, S. 213) war dieses Verfahren damals in Westfalen bisher nicht angewandt worden.

In jüngster Zeit waren praktische Probleme der Trinkwassergewinnung Anlaß, im Bereich des Westhanges des Eggegebirges bei Altenbeken wieder Markierungsversuche mit Fluoreszenztracern durchzuführen (VOGEL 1983).

Grundwassermarkierungen zur Festlegung von Wasserschutzgebieten wurden auch von GREVING (1984) in den Talschottern der Alme südwestlich Paderborn ausgeführt.

Auch im Haarstrang-/Hellweggebiet waren es aktuelle Probleme, hervorgerufen durch konkurrierende Nutzungsansprüche, die zu einer Reihe von Markierungsversuchen insbesondere im Raum Erwitte-Bad Westernkotten geführt haben: Die Wasserwerke der Stadt Erwitte und private Nutzer gewinnen aus dem Turon/Cenoman-Aquifer Trinkwasser. Andererseits wird der wichtige Rohstoff Kalkstein in immer stärkerem Maße abgebaut, und die verbleibenden aufgelassenen Steinbrüche sollen durch Abfalldeponien aufgefüllt werden. Letztendlich ist das Heilquellenschutzgebiet von Bad Westernkotten zu beachten.

So wurden dort in den Jahren 1969-1979 zehn Markierungsversuche durchgeführt, bei denen in Steinbrüchen, Schürfen und Bohrungen das Markierungsmittel eingebracht wurde. Zum Einsatz kamen Uranin in Mengen von 1-20 kg und NaCl-Sole (8%ig) aus Bad Westernkotten (3 und 15,5 m<sup>3</sup>) (KOCH & VOGEL

---

<sup>4</sup> GÄRTNER (1902, S. 385) nennt fälschlich den 1. Mai 1897!

<sup>5</sup> Die Ergebnisse finden sich demgemäß auch – mehr oder weniger exakt – in einigen heimatkundlichen Veröffentlichungen wieder (z.B. GUTZMANN 1914, PAGENDARM 1926, LÜÜS 1964).

1981). Hierbei wurde bei einem Versuch die auch für Karstgebiete sehr hohe Fließgeschwindigkeit von 1050 m/h (= 0,29 m/s) festgestellt: Die in einen Schurf südöstlich von Eikeloh zur Versickerung gebrachte Farbe erschien bereits 2 Std. später in der 2,1 km Luftlinie entfernten Quelle „Bullerloch 2“ an der Straße Erwitte-Eikeloh! (KOCH & VOGEL 1981, S. 126f). Beachtenswert ist, daß die Fließrichtung hierbei in spitzem Winkel zur oberirdischen Entwässerungsrichtung verläuft und die eng benachbarte Quelle „Bullerloch 1“ erst 47 Std. (!) nach der Eingabe reagierte. Ein deutlicher Hinweis auf die komplizierten Strömungssysteme im Karst!

## 2.1.2 Münsterland

Im übrigen Gebiet des Münsterschen Kreidebeckens sind verkarstbare Gesteine eher rar – nur ein Gebiet mit schwach ausgeprägten Karsterscheinungen ist zu nennen: Die Baumberge im Zentralmünsterland westlich von Münster. Kalkhaltige Gesteine des Campans, die in einer abgesunkenen Scholle durch Reliefumkehr erhalten geblieben sind, bilden einen N-S gestreckten Höhenzug, der sich bis 180 m ü. NN und somit etwa 120 m über das umgebende Flachland erhebt. Auf die hier zu beobachtenden Bachschwinden, Trockentäler und Kalksinterbildungen hat zuerst FEIGE (1971) aufmerksam gemacht. In jüngster Zeit haben sich BAUHUS (1983), FEEST (1983) und FÄLKER (1986) mit Teilaspekten der Verkarstung befaßt.

Als Grundwasserleiter sind die ausgedehnten und oft mächtigen quartären Ablagerungen im westfälischen Tiefland von Bedeutung. Demgemäß sind in diesen Lockergesteinsaquiferen in jüngster Zeit einige (durchweg unveröffentlichte) Tracerversuche angesetzt worden. Ebenfalls als Lockergesteinsaquifer angesprochen werden können die Halterner Sande (Santon) im SW des Münsterlandes, die ein ausgedehntes Trinkwassergewinnungsgebiet für das Ruhrgebiet und das westliche und südliche Münsterland darstellen.

Da es nicht Ziel dieses Aufsatzes ist, die Hydrogeologie Westfalens zu umreißen, mögen diese unvollständigen Hinweise nur für den mit den regionalen Verhältnissen nicht vertrauten Leser einen kleinen Einblick geben.

Gemäß der eingangs getroffenen Feststellung, daß speziell Karstgebiete eine erste „Herausforderung“ für die tracerhydrologischen Untersuchungen waren, ist es auch im weitestgehend karstfreien Münsterland zu ersten Grundwassermarkierungen relativ spät gekommen.

Im schwach ausgeprägten Karst der Baumberge (Zentralmünsterland) wurde 1986 dem Verbleib des meist vollständig versinkenden Wassers des Nonnenbaches (bis zu 10,9 l/s) nachgegangen: Die sehr geringe Menge von 2 g (!) Uranin hat ausgereicht, um an der 400 m entfernten Quellgruppe einen Nachweis mit Aktivkohle zu erhalten (FÄLKER 1986, S. 31 ff).

In den nördlichen Baumbergen (Schöppinger Berge) wurden 1986 und 1987 zwei kombinierte Markierungsversuche durchgeführt, die aufgrund der ermittelten hohen Abstandsgeschwindigkeiten das Adjektiv „verkarstet“ für das dortige Campan rechtfertigen (BAUHUS [in Vorb.]).

In den Halterner Sanden und dem Münsterschen Kiessandzug zwischen Rheine und Münster bzw. südlich Münster (Hohe Wart) wurden in den 70er Jahren mehrere Versuche durchgeführt, die der praktischen Frage nach der Festlegung von Schutzzonen von Trinkwassergewinnungsanlagen dienten. Über die angebliche Durchführung eines Versuches mit radioaktiven Substanzen im Gebiet der Gelsenwasser AG in Halten waren keine weiteren Angaben zu bekommen.

## 2.2 Rheinisches Schiefergebirge

### 2.2.1 Nordsauerland

#### Raum Hagen-Hohenlimburg – Iserlohn-Letmathe

Obwohl auch in diesem Gebiet stark verkarsteter Massenkalk größere Areale einnimmt, hat man sich in dem Raum erst nach dem Ersten Weltkrieg mit dem Karstgrundwasser eingehender beschäftigt (BOLSENKÖTTER 1964, S. 25). Die ersten bekannten, veröffentlichten Markierungsversuche wurden von BOLSENKÖTTER (1965) durchgeführt. Auch hier dient der Karst der Trink- und Brauchwassergewinnung (v. KAMP 1972, S. 133f).

Am 2. Dezember 1963 wurden zwei Bachschwinden an der südlichen Grenze des Haßleyer Massen-kalksegmentes westlich Hagen-Holthausen mit jeweils 2,0 und 2,5 kg gefärbter Bärlappsporen beschickt, die Beprobung von Förderbrunnen des Wasserwerkes Hohenlimburg und einer Firma im Lennetal sowie natürlicher Austritte (Barmer Teich bei Hagen-Holthausen) und Stellen bei Hagen-Haldem mittels Netzen begonnen. Der Versuch war positiv, auch wenn die Anzahl der wieder aufgefundenen Sporen mit 2 bis 53 (Mittel: 14) je Sporenfarbe und Probenahmestelle als gering anzusehen ist. Als unerklärliche Merkwürdigkeit stellt BOLSENKÖTTER (1964: S. 412) fest: „Die Untersuchung der täglich entnommenen Wasserproben hatte ein negatives Ergebnis. [ . . . ] Am Ende des Impfversuches [14 Tage nach Eingabe] sind die Fangnetze gründlich, vor allem auch in den Nähten, gesäubert worden. Die Untersuchung dieser Wässer aus den gespülten Netzen brachte dann den Erfolg.“

KERSBERG (1977, S. 159) erwähnt „mehrere Färbeversuche mit Uranin“, die 1975/76 zu Demonstrationzwecken von der Abt. Hagen des Geographischen Seminars der Pädagogischen Hochschule Ruhr durchgeführt wurden, aber „nur einen geringen Erfolg brachten“. STÜBS (1978) nennt zwei Färbeversuche im Grünen Bach in Iserlohn-Grüne, ohne hierzu weitere Angaben zu machen.

Bei Iserlohn-Letmathe liegt die bekannte Schauhöhle Dechenhöhle, die als fossiles Gegenstück zur aktiven Knitterhöhle angesehen werden kann. Letztere wird von einem perennierenden Höhlenbach durchströmt, dessen Herkunft und Verbleib ungewiss sind (STOFFELS 1977). Er weist die relativ beachtliche Schüttung von ca. 12-25 l/s auf. Eine mit Uranin 1976 durchgeführte Färbung blieb ohne Ergebnis.

Obwohl ebenfalls negativ verlaufen, sollen hier zwei Markierungen in bzw. über der Dechenhöhle genannt werden, da es sich um die ersten Versuche dieser Art in Westfalen handelt<sup>6</sup>. Im nur gering humusbedeckten Hang oberhalb des Hauptganges der Höhle wurden im März 1985 an zwei Stellen je 100 g Uranin AP in Lösung eingegeben, um die Sickergeschwindigkeit und die Sickerbahnen im klüftigen Massenkalk zu erkunden. Beprobte Tropfwässer in der Höhle (Versuchungsdurchführung E. HAMMERSCHMIDT und Verf.; bisher unveröff.).

## Hemer – Hönnetal

Das Gebiet östlich Hemer und das Hönnetal sind intensiv verkarstete Massenkalkvorkommen, die den von Westen nach Osten am Nordrand des Rechtsrheinischen Schiefergebirges sich erstreckenden Massenkalkzug abschließen. Das Gebiet wurde von SCHMIDT (1975) karstmorphologisch untersucht. Die Hönnetal quert als allochthoner Fluß unter Wasserverlust das Gebiet von S nach N und ist als Karstcañon tief eingeschnitten. Das Hönnetal gilt als höhlenreichstes Tal des Sauerlandes (PERKUHN 1973, WEBER 1984) mit zahlreichen prähistorisch bedeutenden Höhlen (ROTHE 1983). Als regionaler Vorfluter hat es die Funktion der Hauptentwässerung dieses Massenkalksegments. Auf der Deilinghofener Hochfläche schreitet die Verkarstung auch heute noch deutlich sichtbar voran, was durch zahlreiche Erdfälle der letzten Jahre belegt wird (vgl. PIELSTICKER 1971).

Die frühesten Nachrichten über Tracerversuche in diesem Gebiet liegen aus dem Jahre 1938 vor: Ein größer angelegter Versuch, bei dem auch (erstmalig in Westfalen?) Bakterien zum Einsatz kamen, fand im März/April 1938 im Einzugsbereich des Nieringser Baches, Hemer, statt (nach TAETZLER 1971:85f). In den 50er Jahren wurden östlich des Felsenmeeres auf dem Gebiet des Kasernengeländes – damals kanadischer Einheiten – zwei Bohrungen niedergebracht, die der Eingabe von Farbstoffen dienten (mündl. Mitt. K.-H. PIELSTICKER).

Zur Klärung der hydraulischen Verbindung zwischen Kulm-Plattenkalken und Massenkalk östlich der Hönnetal setzte TAETZLER (1971) einige Versuche an. Ihre praktische Bedeutung lag in der Bestimmung des Verbleibs von Wasser aus einem Kalkschlammklärteich der Steinbruchindustrie.

Im Bereich des westlichen Einzugsgebietes der Hönnetal, der Deilinghofener Hochfläche, weicht die oberirdische (orographische) Wasserscheide von der unterirdischen wahrscheinlich stark ab. Aus diesem Grunde sind dort mehrere Karstwassermarkierungen vorgenommen worden. Die ersten und bisher einzigen (veröffentlichten) Markierungsversuche mit Detergentien haben hier 1969 stattgefunden: Am 5. Mai 1969 wurde eine nicht angegebene Menge des Detergentiums Marlon A (Chem. Werke Marl-Hüls) in die

<sup>6</sup> Nach mündl. Mitt. von H. SCHMIDT, Höhlenführer der Heinrichshöhle/Hemer-Sundwig, soll in den frühen 70er Jahren ein ähnlicher Versuch mit Eosin an der Heinrichshöhle ausgeführt worden sein. Nähere Einzelheiten sind jedoch nicht mehr bekannt.

Schwinde des Bremke-Baches bei Bäängsen eingespeist, im Sommer des Jahres 15 l des gleichen Mittels in eine Bachschwinde 1 km östlich Deilinghofen (SCHMIDT 1970 und 1971; dort fälschlich als „Färbemittel“ bezeichnet). Beide Versuche waren erfolgreich, denn an Quellen im Tal der Hönne wurde Schaumbildung festgestellt<sup>7</sup>.

Eine Problematik bei der Anwendung dieser schaubildenden Mittel zeigt sich jedoch, wenn die untersuchten Quellen und Bachläufe bereits durch Abwässer kontaminiert sind: Bei einem Ausschüteln der Proben kann sich auch dann schon Schaumbildung zeigen! So eine Fehlinterpretation mag einem Teilergebnis des ersten Versuches zugrunde liegen, bei dem auf einer Entfernung von 1,9 km eine Fließgeschwindigkeit von 2530 m/h festgestellt wurde. Ein auch für Karstgebiete ungewöhnlich hoher Wert, worauf auch WEBER (1984, S. 542) hinweist.

Vier weitere Versuche auf der Deilinghofener Hochfläche wurden 1980 bis 1982 mit Uranin durchgeführt. Tracernachweise gelangen nur im Bereich der Hönne (WEBER 1984). In einem Aufsatz über die Alte Höhle, Hemer-Sundwig, erwähnt PIELSTICKER (1964: 106) ganz knapp einen Färbeversuch, der bestätigt hat, daß Wasser vom „Balver Wald“ (= südlich der Deilinghofener Hochfläche) den temporären Bach in der Höhle speist.

Markierungsversuche auf dem Gelände des Standortübungsplatzes der Bundeswehr östlich Hemer, auf dem sich über verkarstem Massenkalk Garagen und Montagehallen für Militärfahrzeuge befinden, sollten das Gefährdungspotential für Wassergewinnungsanlagen der Stadt Hemer klären. In Schürfe wurden 1984 unter Vor- und Nachspülung mit Wasser 5 kg Uranin und 15 kg Rhodamin eingegeben. Die Fließzeiten waren insgesamt sehr lang, die Nachweise gelangen jedoch an mehreren Stellen deutlich (unveröff. Unterlagen Stawa Hagen).

Ein Kleinversuch mit Farbstoff fand an einem kleinen Gerinne bei Volkringhausen im Hönnetal statt. Ein temporärer Bach verschwand in einer 1978 nachgesackten Doline und speiste wahrscheinlich den Höhlenbach des „Wasserloch am Kehlberg“. Mit einer Lösung von Uranin gelang der Nachweis des unmittelbaren Zusammenhanges der Gerinne (ZYGOWSKI 1987).

## 2.2.2 Ostsauerland (Briloner und Warsteiner Massenkalkvorkommen)

Zwei geschlossene, größere Karstgebiete befinden sich im Osten des Rheinischen Schiefergebirges bei Warstein und Brilon. Sie werden nicht von allochthonen Flüssen durchquert und sind als Hochflächen ausgebildet.

Der Erforschungsstand des Warsteiner Gebietes ist wegen starker Besiedlung und konkurrierender Nutzung weiter fortgeschritten als der des (größeren) Briloner Gebietes. Hier müssen die Interessen der Grundwassergewinnung, der Steinbruchindustrie und des Landschaftsschutzes berücksichtigt werden (KOCH & MICHEL 1977, 1979).

Das Briloner Massenkalkvorkommen stellt in seiner Art die größte zusammenhängende Rohstoffreserve in Nordrhein-Westfalen dar (VOGLER 1977, Taf. 1). Die bestehenden Steinbrüche sind zwar auch großflächig, im Verhältnis zur Gesamtfläche des Gebietes aber bescheiden. Auch aus dem Briloner Karst wird Trinkwasser gewonnen, so daß auch hier bestehende Trinkwasserschutzgebiete berücksichtigt werden müssen.

Beide Gebiete sind intensiv verkarstet mit Höhlen- und Dolinenbildung sowie Trockentälern (FEIGE 1970, CLAUSEN et al. 1978, MEIBURG 1979, ZYGOWSKI 1983, WENZENS 1983).

In beiden Gebieten wurden im Anfang dieses Jahrhunderts Markierungsversuche durchgeführt – mit unterschiedlichem Erfolg: RICHTER (1944, S. 302) nennt einen erfolgreichen Färbeversuch des Enkebachponors am Südrand des Warsteiner Karbonatvorkommens mit Uranin aus dem Jahr 1906. Im Briloner Raum wurde dem Verbleib des damals noch oft vollständig versinkenden Wassers der Briloner Aa Interesse entgegengebracht, die auch innerhalb des Karstgebietes mehrere Mühlen trieb. Der erste Versuch fand hier 1909 statt. Die für die damalige Zeit erhebliche Menge von 24 kg Uranin wurden an der Brücke unterhalb Kleinschmidt's Mühle zur Eingabe gebracht. Die Beobachtung der Alme- und Möhnequellen verlief jedoch negativ (HENSE 1909). Einige Jahre später nahm man erneut das Projekt in Angriff

---

<sup>7</sup> Die Versuche werden auch von SCHMIDT & SCHMIDT (o.J.) in einem Führer zur Heinrichshöhle beschrieben. RAF-FELT (1976) übernahm die Angaben in einer Examensarbeit.

und führte vor den Markierungsversuchen Wünschelrutenbegehungen durch. Zwei Markierungen wurden durchgeführt: Einmal am 10. Mai 1913 mit 3 kg „Uraninkali“ in einer Doline unterhalb Kleinschmidt's Mühle, in die Aawasser geleitet wurde und zweitens am 8. August des selben Jahres mit „19 Ctr. Viehsalz“. Beide Versuche waren angeblich erfolgreich. „Dieser Beweis des Zusammenhanges der Aaschwalge mit dem Almeteich bestätigt die mit der Wünschelrute festgelegten unterirdischen Wasserlinien“. (Hervorhebungen vom Verf.) (HUMMELL & HOFFMANN 1913, S. 34). BEYSCHLAG (1914) betrachtet die Ergebnisse der Untersuchung jedoch sehr kritisch.

Ziel ausgedehnter Untersuchungen war das Briloner Karstgebiet als hydrologisches Einzugsgebiet der Alme, als Anfang der 40er Jahre das Projekt eines Alme-Stausees bestand. Von Seiten der Waffen-SS, des Hygiene-Instituts der SS und des Reichsamtes für Bodenforschung in Berlin fanden umfangreiche hydrologische Aufnahmen des Briloner Karstgebietes statt, die Grundlagen für mehrere großangelegte Karstwassermarkierungen lieferten.

Vorausgegangen sind diesen Untersuchungen Erprobungen von Markierungsmitteln und deren Nachweis im Warsteiner Gebiet, welches man für überschaubarer hielt. Hierüber hat RICHTER (1944) berichtet, während die Briloner Versuche bisher unveröffentlicht blieben und durch Kriegslasten auch nicht zum Abschluß kamen (BANSE 1948).

Zwischen dem 13. November und dem 3. Dezember 1942 wurden mehrere Versuche an den Schwinden des Wäschegrabens südlich der Hohen Liet/Warstein ausgeführt. Hierbei wurde neben dem Einsatz von Uranin auch gleichzeitig mit Salzen und Bakterien experimentiert. Störend für eine Salzung mit Steinsalz (NaCl) ist der hohe und schwankende natürliche Cl-Gehalt vieler Quellen am Nordrand des Warsteiner Kalkmassivs. Trotzdem verlief der Versuch mit 250 kg Viehsalz erfolgreich. Desweiteren wurde Ammoniumsulfat eingesetzt, welches über die Erhöhung des  $\text{NH}_4^+$ - und  $\text{SO}_4^{2-}$ -Gehaltes des Quellwassers nachgewiesen werden kann. Neben dem chemischen Nachweis der Ionen wurden auch potentiometrische Messungen mit ionenselektiven Elektroden auf  $\text{Cl}^-$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  ausgeführt. RICHTER (1944, S. 320) kommt sogar zu dem Schluß, daß der elektrometrische Nachweis von  $\text{SO}_4^{2-}$  empfindlicher ist als der  $\text{NH}_4^+$ -Nachweis mit Neßlers Reagenz. Auf die Nachteile von  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  als Tracer aus heutiger Sicht kann hier nicht näher eingegangen werden (vgl. Kap. 1).

Am 30. 11. 1942 wurde dem Wasser des Wäschegrabens 80 l einer mit „*Bacterium prodigiosus*“ (heute *Serratia marcescens*) geimpften Nährlösung beigegeben (MURTHUM in RICHTER 1944). Bakterien als Driftkörper mögen löslichen Tracern gegenüber ein anderes Verhalten zeigen, geben dem Hygieniker jedoch besser Aufschluß über die Reinigungskraft des Grundwasserleiters. Der Versuch verlief erfolgreich: Bereits die erste am nächsten Tag gezogene Probe war positiv! Bei kritischer Betrachtung liegt hier ein grober Fehler vor, denn es hätten bereits früher als erst 28 Std. nach der Emission der Bakterien Proben gezogen werden müssen. So bleibt der Verdacht der Bakterienverschleppung durch unsauberes Arbeiten, bzw. die maximale Abstandsgeschwindigkeit blieb unbestimmbar. Die Auswertung der übrigen, im stündlichen Abstand gezogenen Proben läßt eine sehr langgezogene Durchgangskurve erkennen. Beobachtet wurde nur die Range-Quelle. – Überraschend ist, daß trotz des Erfolges in Warstein im Briloner Karst keine Impfung mit Bakterien vorgenommen wurde.

Es sei noch erwähnt, daß das bei den Markierungen mit Uranin angewandte Verfahren, die gleiche Schwinde innerhalb einer so kurzen Zeitspanne nochmals mit dem gleichen Farbstoff zu markieren, aus heutiger Sicht jegliche sichere Auswertbarkeit der Versuche zunichte macht. In einem Fall wurde einfach einen Tag, nachdem 2 kg Uranin in eine Schwinde eingespeist wurden, eine benachbarte Schwinde mit 3 kg Uranin beschickt, da der Farbstoff der ersten Markierung nach der erwarteten Zeit nicht an der erwarteten Stelle ausgetreten war!

An einigen der zahlreichen Schwinden des Briloner Karstmassivs wurden nach den Vorversuchen in Warstein mehrere Markierungen mit Farbstoffen und Viehsalz durchgeführt. Im Gegensatz zum Warsteiner Gebiet ist die gesamte Entwässerung des Karstkörpers auf zwei benachbarte Quellgebiete bei Alme konzentriert: die Alme- und Moosspringquellen mit einer mittleren Schüttung von  $Q = 0,93 \text{ m}^3/\text{s}$  (KOCH 1984a). Weitere temporäre Quellen sind demgegenüber vernachlässigbar. Außerdem sind die Entfernungen zwischen den Schwinden am Ost- und Südrand des Karstkörpers und den Wiederaustritten mit 2 bis 7 km größer als im Warsteiner Raum.

Obwohl die Almequellen erhöhte Chloridgehalte aufweisen (bis  $135 \text{ mg/l Cl}^-$ ) wurden ca. 8 Salzungen mit Viehsalz durchgeführt, wobei die Eingabemengen von 600 kg am 27. 5. 1943 in mehreren Stufen bis 10.000 kg am 18. 8. 1943 in der Briloner Aa gesteigert wurden.

Bei letztgenanntem Versuch kamen gleichzeitig 12 kg Uranin zum Einsatz. Die Quellenbeobachtungen erstreckten sich sehr weit: Es wurden auch Quellen des Warsteiner Raumes und sogar einige Hellwegquellen in die Beobachtung einbezogen. Bereits damals bestand die Vermutung, daß Wasser aus dem Briloner Karst auf Klüften bis Warstein zieht und dort die hohe Gesamtschüttung der Karstquellen bedingt, die aus dem ober- und unterirdischen Einzugsgebiet nicht zu erklären ist. Die Herkunft dieser „Fremdwässer“ ist auch heute noch nicht geklärt (v. KAMP 1984, S. 127).

Bei diesem Versuch wurde auch eine geophysikalische Methode zur Verfolgung des Wassers erprobt: Mittels geoelektrischer Widerstandsmessungen wurde versucht, das durch den hohen Ionengehalt leitfähigere Wasser von über Tage aus zu orten. Die Methode soll nach den Protokollen mit Erfolg angewandt worden sein und eine Verzweigung des unterirdischen Wasserstroms der Briloner Aa angezeigt haben. In der Briloner Aa wurde am 07. Juni 1943 auch eine Markierung mit 1875 kg Ammoniumsulfat durchgeführt, die jedoch negativ verlief.<sup>8</sup>

In jüngerer Zeit (ab 1972) wurden im Briloner Raum mehrere Markierungen durchgeführt, die der Festlegung von Wasserschutz zonen dienen oder bei Bauvorhaben in den Schutz zonen II und III aus wasserrechtlicher Sicht gefordert wurden (Straßenbaumaßnahmen, Friedhofserweiterungen, Kläranlagenbau). Es wurde mit den Fluoreszenzfarbstoffen Uranin, Rhodamin B und Sulforhodamin in Mengen von jeweils 5 bis 20 kg gearbeitet sowie einmal mit Steinsalz (unveröff. Unterlagen Stawa Lippstadt).

Auch im Warsteiner Raum ist im Herbst 1982 ein Großversuch durchgeführt worden, dem Einzelmarkierungen 1973 und 1978 vorausgingen (GÜNTHER et al. 1984). Durch künstliche Grundwasserabsenkung bei Trinkwassergewinnung und Wasserhaltung in Steinbrüchen sind die Fließwege und -geschwindigkeiten verändert. Um die weitere wasserwirtschaftliche und lagerstättentechnische Bewirtschaftung des Massenkalkkörpers besser planen zu können ist der großangelegte Versuch angesetzt worden. An 4 Bachversinkungen, die sich über den Südrand des Kalkvorkommens verteilen, wurden zeitgleich 15 kg Eosin, 15 kg Uranin AP und 32 kg Rhodamin FB eingegeben; eine Woche später an der vierten Stelle nochmals Uranin AP (25 kg).

Der Versuch hat sehr komplexe Strömungsverhältnisse aufgedeckt, die z.T. auch rechtwinkelig zur Hauptkluftrichtung und zum morphologischen Gefälle und parallel zum Streichen der Gesteinsschichten verlaufen. Maximale Abstandsgeschwindigkeiten von bis zu 339 m/h wurden ermittelt (GÜNTHER et al. 1984).

### 2.2.3 Südsauerland

Aus dem Südsauerland sind nur sehr wenige Markierungsversuche bekannt, obwohl der Kern der Attendorn-Elsper Doppelmulde weitflächig von intensiv verkarsteten Massenkalken eingenommen wird (ZIEGLER 1978). Ein interessanter Versuch – allerdings in klüftigen, klastischen Festgesteinen – wurde 1950 im Breneckertal bei Hellersen im SE von Lüdenscheid durchgeführt: Die mögliche Beeinflussung eines Brunnens der damaligen Tbc-Heilstätte sollte festgestellt werden, wozu bei einem Pumpversuch am 2. Juli 1950 in einen nahegelegenen alten Brunnen 12 Liter einer „annähernd konzentrierten Kochsalzlösung“ gegeben wurden (LOTZE 1950). Ein weiterer Versuch 1955 sollte klären ob Bachwasser in den Brunnen infiltriert, wozu 1 kg Uranin und 4 l einer Bakterien- (*Prodigiosus*-) Kultur eingegeben wurden. Der Versuch verlief positiv (WÜSTENBERG 1956).

Ebenfalls in sandig-tonigen Festgesteinen wurde beim Bau der Biggetalsperre ein Markierungsversuch durchgeführt. Er sollte Aufklärung über Fließwege auf Schichtflächen, Klüften oder in einer mylonitisierten Störungszone geben, woraus Angaben für nötige Abdichtungsmaßnahmen gewonnen werden könnten. Die vorher ermittelten  $K_f$ -Werte des Gesteins lagen zwischen  $10^{-11}$  und  $10^{-12}$  cm/s, so daß mit einer geringen Durchlässigkeit zu rechnen gewesen wäre. In einem Stollen wurden über einen Zeitraum von 36 Stunden  $5 \text{ m}^3$  einer Lösung von 5 kg Uranin verpreßt. Ein deutlich schichtparalleles Fließen z.T. hoher Bahngeschwindigkeit und die Wasserwegsamkeit der Störung konnten nachgewiesen werden (HEITFELD & TAETZLER 1967).

---

<sup>8</sup> Alle Angaben nach unveröff. Protokollen im Besitz des Stawa Lippstadt und des Geologisch-Paläontologischen Instituts Münster; eine ausführliche Bearbeitung durch Verf. ist vorgesehen. Einzelne Angaben auch bei FEIGE (1970, S. 17f).

Ein Markierungsversuch in verkarstetem Massenkalk fand 1959 bei Helden, südöstlich Attendorn statt – der früheste in der Auflistung des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen (Autorenkoll. 1982, Tab. 7). Er diente der Festlegung der Schutzzone für eine öffentliche Wasserversorgungseinrichtung.

Veröffentlichungen über weitere tracerhydrologische Untersuchungen liegen keine vor (vgl. Tab. 5).

## 2.3 Färbeversuche im Bergbau

Ein besonderer Einsatzbereich von Markierungsmitteln ist der Bergbau, auf den hier kurz eingegangen werden soll. Da für die Belange des Bergbaus Grubenwässer ökonomisch eine wichtige Rolle spielen, war man an deren Herkunft begrifflicher Weise sehr interessiert. Unter- sowie oberirdisch versiegten Wasserseigen, Bachläufe und Brunnen, falsch angelegte Klärteiche infiltrierten gelegentlich unmittelbar in Grubenbaue.

So hat man sich von bergbaulicher Seite aus auch mit der Eignung gewisser Farbstoffe für die eigenen Belange befaßt, so daß Forschungen auf diesem Gebiet parallel und weitgehend unabhängig zu denen der Karsthydrologie stattfanden. Adsorptive Verluste standen im Vordergrund, da Grubenwässer meist stark schlammführend und trüb sind. Die durchsunkenen Gesteine sind meist Tonsteine oder tonige Sandsteine und die Sickerbahnen enge Klüfte. Die bekannte Säureempfindlichkeit des Uranins war ein störender Faktor, da Grubenwässer des Steinkohlenbergbaus meist stärker sauer reagieren. Man behalf sich mit gleichzeitiger Zugabe von Alkalien (Soda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Kali- oder Natronlauge) zu dem emittierten Farbstoff.

Frühe Untersuchungen fanden bereits in den 30er Jahren, jedoch nicht in Westfalen statt (SEMMLER 1936). Nachdem auch über mehrere negativ verlaufene Versuche mit verschiedenen Farbstoffen berichtet wurde, stellte SEMMLER (1953) halbquantitative Versuch zu Adsorption von Farbstoffen durch Schlammwasser an (dort noch fälschlich als „Absorption“ bezeichnet). Die von ihm untersuchten (und früher auch für Markierungsversuche verwendeten?) Farbstoffe mit deren adsorptiven Verlusten:

Uranin AP	25 %
Eosin	10 %
Phloxin	15 %
Lakmus, rot	50-60 %
Lakmus, blau	> 95 %
Methylorange III	20 %
Anilinviolett	in schwach > 95 %
	alkalischer
Alizarin	Lösung > 95 %

Es fällt auf, daß z.T. deutliche Abweichungen zu neueren Untersuchungen des chemisch-physikalischen Verhaltens von Farbtracern im Grundwassermilieu auftreten (z.B. SMART & LAIDLAW 1977). Auch der späteren Desorption der Farbstoffe aus angefärbtem Schlamm oder Gestein wurde im Experiment Beachtung geschenkt.

Besondere Verhältnisse liegen im Steinsalz- und Kalibergbau vor. Die dort vorkommenden, z.T. sehr hochkonzentrierten Laugen stellen besondere Anforderungen an den Farbstoff (vgl. auch KOCKERT 1985). Das im Steinkohlenbergbau eingesetzte, acidophile Fuchsin versagt hier – Uranin AP wurde hingegen mit Erfolg eingesetzt (SEMMLER 1953, S. 218 ff).

Die bei den Versuchen eingesetzten Farbstoffmengen waren so ausgelegt, daß eine sichtbare Anfärbung des Wassers an den vermuteten Austrittsstellen erreicht werden sollte. Man arbeitete mit ca. 2 bis 8 kg Uranin pro Versuch (CLASSEN 1964, S. 232). Im Gegensatz zur sonst üblichen, einmaligen und stoßweisen Eingabe der gesamten Menge des Markierungsmittels wird im Bergbau über längere Zeit kontinuierlich eine Farbstofflösung eingeleitet.

Das erprobte und angewandte nephelometrische Nachweisverfahren (SEMMLER & SCHMIDT 1958, CLASSEN 1964) ist bei den stark schwebstoffführenden Wässern in seiner Aussagekraft recht zweifelhaft: Die Nephelometrie („Trübungsmessung“) beruht auf dem Tyndall-Effekt, der Lichtstreuung an kleinsten Teilchen. Daher muß die Probe vor der nephelometrischen Analyse filtriert werden (wegen „möglicher Gelbildung bis zu 10mal“!; CLASSEN 1964, S. 233), um suspendierte Partikel zu entfernen. Auch erhöhte Salz-

fracht hat nachteilige, streulichterhöhende Wirkung. Die Nachweisgrenze konnte somit nur um den Faktor 2 erhöht werden (von der angegebenen Sichtbarkeitsgrenze von  $5 \cdot 10^7$  auf  $1 \cdot 10^8$ ).

Markierungsversuche mit Uranin wurden erfolgreich durch mehrere 100 Meter mächtige Deckgebirgsschichten durchgeführt, obwohl diese oft Wasserstauer darstellen sollen (Emschermergel) (SEMMLER 1960, S. 504; unveröff. Unterlagen Westfälische Berggewerkschaftskasse). Uranin wurde auch hier das meistbenutzte Markierungsmittel und im Steinkohlenbau des Ruhrgebiets in zahlreichen Versuchen eingesetzt. Neben Versuchen unter Tage zum Verbleib versickernder Grubenwässer wurde es auch über Tage zur Klärung von Rechtsstreitigkeiten eingesetzt. So in einem Falle zur Klärung einer Entschädigungsfrage: Auf einem Gehöft über einem neuen Querschlag war der Hausbrunnen trockengefallen und zwei benachbarte Quellen versiegt. Indem der Brunnen künstlich aufgefüllt wurde, konnte schon eine Versickerung von bis zu 38 l/min festgestellt werden. Die dem Wasser zugesetzten insgesamt 4 kg Uranin konnten an mehreren Stellen unter Tage nachgewiesen werden. Bei einem ähnlichen Versuch (in Tagesbruch versinkender Bach) betrug die hierbei zurückgelegte horizontale Strecke bis 5 km (SEMMLER & SCHMIDT 1958).

### 3. Schrifttum

Dieses Literaturverzeichnis ist gleichzeitig eine Bibliographie der tracerhydrologischen Literatur Westfalens. Es sind alle Arbeiten aufgenommen worden, die sich mit tracerhydrologischen Versuchen befassen, sei es als Originalarbeit oder Sekundärliteratur. Diesen Zitaten ist ein Asteriskus (\*) vorangestellt. – Lediglich einfache Beschreibungen in heimatkundlichen Schriften wurden nicht berücksichtigt.

Unveröffentlichte Unterlagen (Protokolle) sind nur ausnahmsweise zitiert. Der Standort eines Exemplares wird jeweils am Ende des Titelzitats in »...« angezeigt.

\* Autorenkollektiv (1982): Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen. Tätigkeitsbericht 1980-1981. – 88 S., 62 Abb., 11 Tab.; Krefeld.

\* BANSE, E. (1948): Bericht über die Untersuchungen der Arbeitsstelle Alme im Sommer 1944. Zugleich Schlußbericht über die Untersuchungen des Reichsamtes für Bodenforschung, des Hygiene-Instituts der Waffen-SS und der Bauleitung der SS-Schule Haus Wewelsburg. Zur Hydrologie des Briloner Karstes. – IV, 34 Bl., Anlagen; Bad Wildungen [unveröff.].

\* BAŞKAN, M. E. (1968): Hydrogeologische Verhältnisse am Südostrand des Münsterschen Kreidebeckens und im Eggegebirge unter besonderer Berücksichtigung der Karsthydrologie. – Diss., 52 S., 15 Abb., 8 Tab., 4 Taf.; Bonn.

\* –,– (1970): Hydrologische Verhältnisse am Südostrand des Münsterschen Kreidebeckens und im Eggegebirge unter besonderer Berücksichtigung der Karsthydrologie. – Fortschr. Geol. Rheinland u. Westf., **17**: 537-576, 11 Abb., 6 Tab., 3 Taf.; Krefeld.

BATSCHKE, H. (1971): Karsthydrologische Untersuchungsmethoden. – *Geologica Bavarica*, **64**: 132-166, 7 Abb.; München.

BAUHUS, W. (1983): Verkarstungserscheinungen im Bereich des Schöppinger Berges (nordwestliches Münsterland) und deren Auswirkungen auf die hydrogeologischen Verhältnisse. – *Karst u. Höhle*, **1982/83**: 205-210, 4 Abb., 1 Tab.; München.

BESSEN, G. J. (1820): Geschichte des Bisthums Paderborn. – Bd. 2: 434 S.; Paderborn.

\* BEYSCHLAG, F. (1914): Gutachten über den Bericht des Königlichen Meliorationsbauamtes Lippstadt über die Schwalgen in den Quellbächen der Lippe. – 7 Bl.; Berlin [unveröff.]. »Stawa Lippstadt«

\* BISCHOF, G. (1833): Ueber die merkwürdigen Quellen-Verhältnisse des westlichen Abhanges des Teutoburger Waldes. – *N. Journal Chemie u. Physik*, **68**: 249-274; Halle.

\* –,– (1847): Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. – Bd. 1: XXXIV, 989 S., 22 Abb., 2 Taf.; Bonn.

\* BODE, H. (1954): Die hydrologischen Verhältnisse am Südrand des Beckens von Münster. – *Geol. Jb.*, **69**: 429-454, 5 Abb., 1 Taf.; Hannover.

\* BOLSENKÖTTER, H. (1965): Ein Sporenpfversuch im devonischen Massenkalk zwischen Hagen und Hohenlimburg. – *Wasser u. Boden*, **17** (12): 410-413, 1 Abb., 1 Tab.; Hamburg u. Berlin.

- \* –,– (1967): Färbe- und Impfversuche im Einzugsgebiet der Paderquellen. Woher kommt das Wasser der Paderquellen? – *Decheniana*, **118** (1/2): 212-215, 1 Abb.; Bonn.
- \* CLASSEN, H. J. (1964): Methodik und Beispiele von Färbeversuchen. – *Ztschr. dt. Geol. Ges.*, **116** (1): 231-236; Hannover.
- \* –,– (1967): Der Einsatz von Färbeversuchen unter Verwendung von Uranin im Untertagebetrieb des Ruhrbergbaues und seine Handhabung. – *Steirische Beitr. Hydrogeol.*, **18/19**: 141-149; Graz.
- CLAUSEN, C.-D.; GREBE, H.; LEUTERITZ, K. & WIRTH, W. (1978): Zur Altersstellung und paläogeographischen Bedeutung des Paläokarstes auf der Warsteiner Carbonatplattform. – *N. Jb. Geol. u. Paläont., Monatsh.*, **1978** (10): 577-589, 5 Abb.; Stuttgart.
- DOLE, R. B. (1906): Use of fluorescein in the study of underground waters. – *U. S. Geol. Survey Water-Supply Papers*, **160**: 73-83; Washington.
- DREW, D. P. & SMITH, D. I. (1969): Techniques for the tracing of subterranean drainage. – *Techn. Bull. British Geomorph. Res. Group*, No. 2: 1-36, 5 Fig., 1 Tab.; London.
- \* DUNKER, A. (1975): Die Geseker Feldflur. – 46 S., 39 Abb., 8 Beilagen; Geseke.
- \* FÄLKER, U. (1986): Karsthydrologische Untersuchungen im Bereich der Baumberge. – *Staatsarb. Inst. f. Geographie*: II, 62, V Bl., 28 Abb., 8 Tab. auf S. I-VIII als Anhang; Münster [unveröff.].
- FEEST, J. (1983): Bachtuffe der Bombecker Aa (Baumberge, Zentralmünsterland). – *Karst u. Höhle*, **1982/83**: 211-217, 5 Abb., 2 Tab.; München.
- \* FEIGE, W. (1961): Talentwicklung und Verkarstung im Kreidegebiet der Alme. – *Spieker*, **11**: 3-66, 13 Abb.; Münster.
- \* –,– (1970): Die Briloner Hochfläche. – 59 S., 16 Abb., 19 Fot.; Münster (=Landschaftsführer des Westfälischen Heimatbundes, **7**).
- ,– (1971): Karsterscheinungen auch in den Baumbergen? – *Naturkde. i. Westf.*, **7** (1): 1-9, 5 Abb.; Münster.
- FISCHBACH, P. (1983): Die Wasserverhältnisse am Haarstrang zwischen Soest und Salzkotten (Westfalen, NW-Deutschland) – Ausdruck der Verkarstung des Untergrundes. – *Karst u. Höhle*, **1982/83**: 195-203, 8 Abb., 2 Tab., 4 Taf.; München.
- \* GÄRTNER, A. (1902): Die Quellen in ihren Beziehungen zum Grundwasser und zum Typhus. – *Klin. Jb.*, **9**: 335-498, 22 Abb., 12 Kten.; Jena.
- \* GREVING, A. (1984): Das Grundwasserpotential des Almetals westlich Paderborn. – *Diss.*: 158 Bl., 93 Abb., 2 Kten., Anhang; Münster.
- \* GÜNTHER, K.; KOCH, M.; MICHEL, G. & VOGEL, K. (1984): Der Markierungsversuch Warstein 1982. – *bbr*, **35** (5): 153-160, 5 Abb., 2 Tab.; Köln.
- \* GUTZMANN, W. (1914): Das Phänomen des Flußschwundes auf der Paderborner Hochfläche. – *Ravensb. Bl.*, **14** (9): 66-68; Bielefeld.
- \* HEITFELD, K.-H. & TÄTZLER, E. (1967): Ergebnisse eines Färbeversuches in tonig-sandigen Gesteinen an der Biggelsperre (Sauerland). – *Steirische Beitr. Hydrogeol.*, **18/19**: 205-217, 4 Abb.; Graz.
- \* HEINKE (1909): Gutachten über die Wasserverhältnisse des Briloner Kalkplateaus. – 3 Bl.; Siegen [unveröff.] »Stawa Lippstadt; Geol.-Paläont. Inst. Münster«.
- HÖLTING, B. (1980): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. – X, 340 S., 103 Abb., 26 Tab.; Stuttgart.
- \* HUMMELL & HOFFMANN (1913): Bericht des Meliorationsbauamtes Lippstadt vom 29. September 1913 betr. Schwalgen in den Quellbächen der Lippe. – 39 Bl.; Lippstadt [unveröff.] »GLA Krefeld: HG-4517 1005; Stawa Lippstadt«
- JONES, W. (Ed.) (1984): Water Tracing. – *NSS-Bull.*, **46** (2): 1-48; Huntsville/AL.
- KÄSS, W. (Red.) (1972): 2. Internationale Fachtagung zur Untersuchung unterirdischer Wasserwege mittels künstlicher und natürlicher Markierungsmittel, Freiburg/Br. 1970. – *Geol. Jb.*, **C 2**: 3-382; Hannover.

- \* –,– (1976): 100 Jahre Uranin! – Papers 3rd Int. Symp. Underground Water Tracing, Ljubljana-Bled 1976, **1**: 113-122, 1 Abb.; Ljubljana.
- KAMP, H. von (1972): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000. Erläuterungen zu Blatt 4611 Hohenlimburg. – 182 S., 18 Abb., 16 Tab., 5 Taf.; Krefeld, 2. völlig neu bearb. Aufl.
- \* –,– (1984): Hydrogeologie. – Geol. Kte. Nordrh.-Westf. 1:25 000, Erl. 4516 Warstein: 119-133, Abb. 19, Tab. 11-14; Krefeld.
- \* KERSBERG, H. (1977): Karsterscheinungen im Hagener Raum. – Hagener Heimatkalender, **1977**: 155-159, 3 Abb., Hagen.
- \* KNOP, A. (1875): Über die hydrographischen Beziehungen zwischen der Donau und der Aachquelle im Badischen Oberlande. – N. Jb. Min., Geol., Paläont., **1875**: 942-958; Stuttgart.
- KOCH, M. (1984a): Die Hydrologie des Briloner Massenkalkes. – Kölner Geograph. Arb., **45**: 429-440, 2 Abb., 2 Tab.; Köln.
- ,– (1984b): Zur Hydrologie des Warsteiner Massenkalkes. – Kölner Geograph. Arb., **45**: 441-448, 1 Abb., 2 Tab.; Köln.
- ,– & MICHEL, G. (1972): Hydrogeologische Karte des Kreises Paderborn und der angrenzenden Gebiete 1:50 000. Erläuterungen. – 84 S., 15 Abb., 5 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- ,– & –,– (1977): Grenzen der Grundwassernutzung durch Kalksteinabbau im Raum Warstein. – Ztschr. dt. geol. Ges., **128** (2): 441-449, 3 Abb.; Hannover.
- \* –,– & –,– (1979): Der Warsteiner Massenkalk – Hydrogeologie und Wasserwirtschaft. – Aufschluß, Sonderbd. **29**: 125-142, 9 Abb., 4 Tab.; Heidelberg.
- ,–; –,– & SCHRÖTER, H. (1974): Zur Hydrogeologie des Warsteiner Massenkalk-Gebietes (Nordöstliches Sauerland). – Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf., **20**: 195-214, 4 Abb., 5 Tab., 2 Taf.; Krefeld.
- \* –,– & VOGEL, K. (1981): Markierungsversuche am Haarstrang bei Erwitte (Oberkreide, südliches Münsterland). – Münstersche Forsch. Geol. Paläont., **54**: 89-137, 5 Abb., 2 Tab., 14 Anlagen; Münster.
- KOCKERT, W. (1985): Zum Problem der Tracer in hochkonzentrierten natürlichen Salzlösungen. – Ztschr. f. Angewandte Geol., **31** (10): 257-259, 2 Tab.; Berlin.
- KÖHLER, E. (1981): Zur Karsthydrologie des Raumes Salzkotten-Upsprunge. – Decheniana, **134**: 317-322, 3 Abb.; Bonn.
- \* LOTZE, F. (1950): Gutachterlicher Bericht über die Ergebnisse der hydrologischen Untersuchungen am 1. und 2. 7. 1950 für die Wasserversorgung der Heilstätte Hellersen. – 9 Bl., 1 Tab., 5 Anlagen; Münster [unveröff.] »Geol.-Paläont. Inst. Münster«
- \* LÜÜS, E. (1967): Die geologischen und hydrologischen Verhältnisse im Raume Geseke. – Geseker Heimatblätter, **25**, Nr. 132: o.P. [3 S.], 2 Abb., Nr. 133: o.P. [3 S.], 1 Abb.; Geseke.
- MAURIN, V. & ZÖTL, J. (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. – Steirische Beitr. Hydrogeol., **1959** (1/2): 1-184, 25 Abb., 7 Taf.; Graz.
- MEIBURG, P. (Red.) (1979): Geologie und Mineralogie des Warsteiner Raumes. – XII, 298 S., 129 Abb., 10 Tab., 4 Taf., 1 Kt.; Heidelberg (= Aufschluß Sonderbd. **29**).
- MICHEL, G. (1985): Hydrogeologie. – Geol. Kte. Nordrh.-Westf. 1:25.000, Erl. 4317 Geseke: 102-116, Abb. 13-15, Tab. 10-12; Krefeld.
- MORLO, H. (1983): Die Höhlen in Lippe und im Paderborner Land. – Karst u. Höhle, **1982/83**: 121-170, 56 Abb., 2 Tab., 2 Taf.; München.
- \* PAGENDARM, P. (1926): Die Sauer. – Heimatborn, **6** (8): 31; Paderborn.
- PERKUHN, E. (1973): Die Höhlen des Hönnetal und des Felsenmeergebietes. – 38 S., 5 Fig., 5 Abb.; Menden (= 10. Beitr. Landeskd. Hönnetal).

- PFEIFFER, D. (1963): Die geschichtliche Entwicklung der Anschauungen über das Karstgrundwasser. – Beih. Geol. Jb., **57**: 1-111, 22 Abb.; Hannover.
- \* PIELSTICKER, K. H. (1964): Die „Alte Höhle“ am Perick bei Hemer/Sundwig. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforsch., **10** (4): 103-110, 5 Abb.; München.
- \* –, (1971): Massenkalk zwischen Deilinghofen und dem Hönnetal. Ein Beitrag zu höhlen- und karstkundlichen Problemen. – Schlüssel, **16** (1): 5-9, 1 Kt.; Hemer.
- \* RAFFELT, A. (1976): Verkarstungserscheinungen der Massenkalkhochflächen beiderseits des unteren Hönnetales. – Staatsexamensarb. Geograph. Inst.: 86 Bl., 34 Abb., 2 Tab.; Münster [unveröff.] »Geograph. Inst. Univ. Münster: STA 569«
- \* RICHTER, G. (1944): Zur Kennzeichnung unterirdisch fließender Wässer – Untersuchungen an der Range und anderen Karstquellen bei Warstein (Westfalen). – Abh. Reichsanst. Bodenforsch., N.F., **209**: 299-336, 8 Abb., Taf. 3; Berlin.
- ROSENFELD, U. (1961): Karsterscheinungen in der Osningzone. – Jh. Karst- u. Höhlenkde., **2**: 81-98, 4 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; München.
- SAUERLAND, H.-J. (1969): Quellen am Hellweg. – 124 S., 83 Abb., 21 Tab., 5 Beilagen; Lippstadt (= Beitr. Heimatkd. Landkr. Lippstadt, **3**).
- \* SCHMIDT, H. (1970): Bachschwinden durch Höhlungen. – Schlüssel, **15** (1): 19-23, 1 Abb., Kt.; Hemer.
- \* –, (1971): Markierungsversuch an der Bachschwinde in Bäingsen. – Laichinger Höhlenfr., **6** (Nr. 12): 6-9, 1 Abb.; Laichingen.
- SCHMIDT, K.-H. (1975): Geomorphologische Untersuchungen in Karstgebieten des Bergisch-Sauerländischen Gebirges. – X, 156 S., 24 Abb., 17 Tab., 2 Kten.; Paderborn (= Bochumer Geograph. Arb., **22**).
- \* SCHMIDT, R. (1958): Durchlässigkeits- und Absorptionsversuche zur Vorbereitung eines Färbeversuches mit Uranin AP. – Technische Mitt., **51** (9): 451-452, 1 Abb., 1 Tab.; Essen.
- \* SCHMIDT, U. & SCHMIDT, H. (o.J.): Die Heinrichshöhle in Hemer und das romantische Felsenmeer. – 20 S., Abb.; Hemer [ca. 1976] – Weitere, nur geringfügig veränderte Auflagen.
- \* SEGIN, W. (1962): Das Gymnasium Salentinianum am Dom. – Von der Domschule zum Gymnasium Theodorianum in Paderborn, hrsg. von K. HONSELMANN: 145-174; Paderborn.
- SEMMLER, W. (1936): Die Grundwasserverhältnisse im Saarbergbau und ihr Einfluß auf den Grubenbetrieb. – Der Steinkohlenbergbau an der Saar. Festschrift zur 1. Hauptversammlung des Vereins Deutscher Bergleute 1936: 38-43, 15 Abb.; Berlin.
- \* –, (1955): Die Grubenwasserzuflüsse im Ruhrbergbau und ihre Abhängigkeit von den Niederschlägen. – Bergbau, **6** (8): 205-210, 10 Abb.; Herne.
- \* –, (1960): Die Herkunft der Grubenwasserzuflüsse im Ruhrgebiet. – Glückauf, **96** (8): 502-511, 8 Abb.; Essen.
- \* –, & SCHMIDT, R. (1958): Die Anwendung des Farbstoffes Uranin AP zur Nachweisung hydraulischer Zusammenhänge unter und über Tage. – Bergfreiheit, **23** (3): 81-90, 9 Abb., 6 Tab.; Essen.
- SHAW, T. R. (1979): History of Cave Science. – XL, 490 S., 88 Fig.; Crymych.
- SMART, P. L. & LAIDLAW, I. M. S. (1977): An evaluation of some fluorescent dyes for water tracing. – Water Resources Research, **13** (1): 15-33, 19 Fig., 11 Tab.; Washington.
- \* STILLE, H. (1903): Geologisch-hydrologische Verhältnisse im Ursprungsgebiet der Paderquellen zu Paderborn. – Abh. preuss. Geol. Landesanst., N.F., **38**: 1-129, 3 Abb., 6 Taf.; Berlin. (Nachdruck 1976 in: Geol. Jb., **C14**; Hannover).
- STOFFELS, D. (1977): Das Knitterhöhlen-System in Iserlohn-Letmathe. – Karst u. Höhle, **1977**: 111-121, 1 Höhlenplan; München.
- \* STÜBS, K.-D. (1978): Drei neue Entdeckungen im Bereich Iserlohn-Grüne. – Antiberg, **10**: 21; Hemer.
- \* TÄTZLER, E. (1971): Hydrologische und hydrochemische Untersuchungen in den Kalkgebieten des Hönne- und Röhr/Sorpe-Tales (Nördliches Sauerland). – Diss. TH Aachen: 199 S., 50 Abb., 6 Anlagen, 2 Kt. als Beilage; Aachen.

- THOMÉ, K. (1981): Haarstrang und Hellwegtal. – Erl. Geol. Kte. C 4710 Dortmund: 46-52, Abb. 10-12; Krefeld.
- \* VOGEL, K. (1983): Markierungsversuch Altenbeken 1983. – 4 Bl., mehrere Anlagen; Lippstadt [unveröff.] »Stawa Lippstadt«
- VOGLER, H. (1977): Nutzbare Festgesteine in Nordrhein-Westfalen. – 65 S., 11 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- \* VÜLLERS, A. (1898): Ueber geognostische und hydrognostische Verhältnisse der Ortslage Paderborn und Umgegend. – Ztschr. vaterländ. Gesch. u. Alterthumskde., **56** (II): 73-88; Münster.
- \* –, (1899): Wasserverhältnisse in und um Paderborn. – Ztschr. vaterländ. Gesch. u. Alterthumskde., **57** (II): 225-226; Münster.
- \* WEBER, H. W. (1984): Höhlen und Färbeversuche im Hönnetal. – Kölner Geograph. Arb., **45**: 541-543, 2 Abb; Köln.
- WENZENS, G. (1983): Ein Beitrag zur Morphogenese der Karstlandschaften im nördlichen Sauerland. – Karst u. Höhle, **1982/83**: 7-13, 4 Abb.; München.
- \* WÜSTENBERG (1956): Wasserversorgung der Tbc.-Heilstätte Hellersen, Farbstoff- und Prodigiosus-Versuch auf der Wassergewinnungsanlage Hühnersiepen am 20./21. 12. 1955. – 6 Bl., Anlagen; Gelsenkirchen: Hygieneinstitut. [unveröff.]
- ZIEGLER, W. (1978): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:25 000. Erläuterungen zu Blatt 4813 Attendorn. – 230 S., 19 Abb., 10 Tab., 5 Taf.; Krefeld.
- ZÖTL, J. (1974): Karsthydrogeologie. – X, 291 S., 114 Abb., 2 Taf.; Wien.
- ZYGOWSKI, D. W. (1983): Die Höhlen der Briloner Hochfläche (östliches Rheinisches Schiefergebirge). – Karst u. Höhle, **1982/83**: 15-46, 29 Abb., 3 Tab., 11 Taf., 1 Kt.; München.
- \* –, (1987): Die Höhlen im Kehlberg (Hönnetal bei Volkringhausen): Ein karsthydrologisches System en miniature. – Dortmunder Beitr. Landeskd. **21**, 10 Abb., 3 Tab.; Dortmund [zum Druck angenommen].

## Tabellen

### Markierungsversuche in Westfalen

Zu den Tabellen 1 bis 5:

In dieser Übersicht sind alle in Westfalen durchgeführten und veröffentlichten Markierungsversuche zusammengestellt. Nicht veröffentlichte Versuche sind nur in Auswahl aufgenommen, sofern sie von besonderer Bedeutung sind – z.B. frühe Versuche mit neuen Tracern – und dem Verf. bekannt wurden. Die Unterlagen hierzu liegen meist beim Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, und den Staatlichen Ämtern für Wasserwirtschaft und Abfallbeseitigung in Hagen, Lippstadt, Minden und Münster.

Eine Übersicht über die vom Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen durchgeführten bzw. betreuten Markierungsversuche wurde 1982 im Tätigkeitsbericht des Amtes veröffentlicht (Autorenkoll. 1982). Diese Angaben wurden übernommen und als „unveröff.“ zitiert, ggf. ergänzt.

Tabelle 1

**Markierungsversuche Paderborner Hochfläche und Haarstrang**

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1895, 18. u. 29. Okt.	Alme	Oberkreide	Eosin beide	-	FEIGE (1961) u.a. (vgl. Text)
1895, 5. Nov.	Alme	Oberkreide	Uranin (K-Fluorescëin), 2 kg	+	BODE (1954), FEIGE (1961)
1895, 19. Nov.	Alme	Oberkreide	Uranin (K-Fluorescëin), 2 kg	+	BODE (1954), FEIGE (1961)
1895, 30. Nov.	Alme	Oberkreide	Uranin (K-Fluorescëin), 2 kg	+	BODE (1954), FEIGE (1961)
1897, 1. Juni	Ellerbach bei Dahl	Oberkreide	Uranin, 1,5 kg	+	VÜLLERS (1898), STILLE (1903), GÄRTNER (1902)
1897, 3. Juni	Ellerbach bei Dahl	Oberkreide	Uranin, 1,5 kg	+	VÜLLERS (1898), STILLE (1903), GÄRTNER (1902)
1897, 11. Aug.	Ellerbach bei Dahl	Oberkreide	Uranin, 2 kg	+	VÜLLERS (1898), STILLE (1903), GÄRTNER (1902)
1897, 24. Nov.	Ellerbach bei Dahl	Oberkreide	Uranin	+	VÜLLERS (1898), STILLE (1903), GÄRTNER (1902)
1898, Sept.	Beke	Oberkreide	Uranin, ca. 2 kg	-	VÜLLERS (1899), GÄRTNER (1902)
1898, 12. Nov.	Alme	Oberkreide	Uraninkali, 3 kg	+	BODE (1954), FEIGE (1961)
1898, 5. Dez.	Sauer bei Grundsteinheim	Oberkreide	Uraninkali	+	STILLE (1903)
1899, 10. Jan.	Sauer bei Grundsteinheim	Oberkreide	Uraninkali	+	VÜLLERS (1899), STILLE (1903)
1899, 15. Juni	Sauer unterhalb Lichtenau	Oberkreide	Uraninkali	+	VÜLLERS (1899), STILLE (1903)
1901, 16. Okt.	Sauer/Altenau-Zusammenfluß	Oberkreide	Uraninkali, 3 kg	+	STILLE (1903)
1901, 9. Nov.	Ellerbach südl. Schwaney	Oberkreide	Uraninkali, 3 kg	+	STILLE (1903)
1902, 15. Apr.	Sauer unterhalb Ebbinghausen	Oberkreide	Uraninkali (?)	+	STILLE (1903)
1902	Glasewasser in Iggenhausen	Oberkreide	Uranin (?)	+	PAGENDARM (1926)
1961, 13. Apr.	Sauer bei Grundsteinheim	Oberkreide	Uranin AP, 1 kg	-	BAŞKAN (1970)
1961, 7. Aug.	Ellerbach bei Dahl, Untere Mühle	Oberkreide	Uranin AP, 3 kg	+	BAŞKAN (1970)
1961, 7. Aug.	Ellerbach bei Dahl, Obere Mühle	Oberkreide	Bärlappsporen, 3 kg in 2 Farben	+	BAŞKAN (1970)
1961, 30. Sept.	Erdfall bei Henglarnt-Atteln	Oberkreide	Uranin AP, 5 kg	+	BAŞKAN (1970)
1961, 30. Sept.	Erdfall bei Henglarnt-Atteln	Oberkreide	Bärlappsporen, 2,7 kg, 0,5 kg und 0,4 kg in 3 Farben	+	BAŞKAN (1970)
1962, 18. Sept.	Beke bei Neuenbeken	Oberkreide	Bärlappsporen, 1,5 kg	-	BAŞKAN (1970)
1962, 18. Sept.	Burbeke bei Kempen	Oberkreide	Bärlappsporen, 1,5 kg	1	BAŞKAN (1970)

Spore!

Fortsetzung: Tabelle 1

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1968	Kirchborchen	Oberkreide	Uranin		unveröff.*
1969	Erwitte	Oberkreide (Turon)	Uranin AP, 1 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1972, Okt.	Erwitte, Bohrung	Oberkreide (Turon)	Uranin AP, 3 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1972, Okt.	Erwitte, Bohrung	Oberkreide (Turon)	Uranin AP, 3 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1973	Erwitte, Bohrung	Oberkreide	Uranin AP, 3 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1975	Salzkotten	Oberkreide	Uranin, 3 kg; konz. Sole, 3 m <sup>3</sup>	+	unveröff.*
1977	Lippstadt	Terrassensande	Uranin, 1 kg		unveröff.*
1977	Lichtenau	Oberkreide	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1977, Okt.	Erwitte-Eikeloh	Oberkreide	NaCl-Sole (8%-ig), 3 m <sup>3</sup>	+	KOCH & VOGEL (1981)
1977, Nov.	Erwitte-Eikeloh	Oberkreide	Uranin, 17,5 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1978, Apr.	Erwitte, Bohrung	Oberkreide	Uranin, 20 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1978, Apr.	Erwitte, Brunnen	Oberkreide	NaCl-Sole (8%-ig), 15,5 m <sup>3</sup>	+	KOCH & VOGEL (1981)
1978, Sept.	Erwitte	Oberkreide	Uranin AP, 20 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1978	Lippstadt, Lippe-Tal	Terrassen-Ab- lagerungen	Uranin, 2 kg		unveröff.*
1978	Altenbeken	Unterkreide- Sandstein	Uranin, 5 kg	+	unveröff.*
1979	Kleinenberg	Oberkreide	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1979	Lippstadt-Lipper- bruch	Terrassen-Ab- lagerungen	Uranin, 5 kg; Rhoda- min, 15 kg		unveröff.*
1979, Juni	Erwitte-Eikeloh	Oberkreide	Uranin AP, 12 kg	+	KOCH & VOGEL (1981)
1980	Boke, Delbrück; Lippetal	Terrassen-Ab- lagerungen	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1980	Boke, Anreppen; Lippetal	Terrassen-Ab- lagerungen	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1980	Salzkotten-Oberntu- dorf	Oberkreide	Uranin, 15 kg	+	unveröff.*
1980	Rüthen	Unter-/Ober- kreide	Uranin, 3 kg; Rhoda- min, 9 kg	+	unveröff.*
1980	Rüthen-Knebling- hausen	Unter-/Ober- kreide	Uranin, 3 kg		unveröff.*
1981	Herbram (Sintfeld)	Oberkreide	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1981	Altenbeken	Oberkreide/ Unterkreide- Sandstein	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1982, Juli	Sauer oberhalb Grundsteinheim	Oberkreide	Uranin, 3 kg	+	unveröff.
1982, Juli	Ellerbach	Oberkreide	Bärlappsporen, in 2 Farben (4,4 kg u. 3,3 kg)	+	unveröff.
1982, Okt.	Paderborn, Almetal	Talschotter	Steinsalz, 150 kg	+	GREVING (1984)
1982, Okt.	Paderborn, Almetal	Talschotter	Eosin, 1 kg	+	GREVING (1984)
1982, Okt.	Paderborn, Almetal	Talschotter	Uranin, 1 kg	+	GREVING (1984)
1982, Okt.	Paderbron, Almetal	Talschotter	Steinsalz, 50 kg	+	GREVING (1984)

Fortsetzung: Tabelle 1

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1983	Altenbeken	Unterkreide-Sandstein	Uranin, 2 mal 1 kg; Eosin, 5 kg; Rhodamin, 23 kg	+	unveröff.
1985, Juli	Sauer westl. Grundsteinheim	Oberkreide	Rhodamin B, 2 kg; Bärlappsporen, 3,18 kg	+	unveröff.
1985, Juli	Ellerbach bei Schwaney	Oberkreide	Bärlappsporen, 3,0 kg	+	unveröff.
1985, Juli	Sauer oberhalb Grundsteinheim	Oberkreide	Uranin AP, 3 kg	+	unveröff.

Tabelle 2

**Markierungsversuche im Münsterländer Kreidebecken**

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1974	bei Ochtrup	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1974	Rheine-St. Arnold	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1975	Münster-Kinderhaus	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1976	Münster-Kinderhaus	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1977	Münster-Hiltrup	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 5 kg		unveröff.*
1978	Münster-Hiltrup	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 5 kg; <i>Serratia marcescens</i> , 1 Kolonie		unveröff.*
1979	Rheine-St. Arnold	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 4 kg		unveröff.*
1981	Rheine-St. Arnold	Münsterländer Kiessandzug	Uranin, 10 kg		unveröff.*
1986, März	Schöppinger Berge	Campan (Ober- kreide)	Uranin, Steinsalz	+	BAUHUS (in Vorber.)
1986, Juni	Baumberge bei Nottuln	mergeliger Kalk- stein (Campan)	Uranin, 0,002 kg	+	FÄLKER (1986)
1987	Schöppinger Berge	Campan (Ober- kreide)	Uranin, Eosin	+	BAUHUS (in Vorber.)

Tabelle 3

## Markierungsversuche im Nordsauerland

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1938, 30. März	Deilinghofen, Nieringser Bach	Massenkalk, Schiefer	Uranin, 1 kg; Steinsalz 200 kg; Serratia, „9,8 Billionen“	+	TÄTZLER (1971)
1956	Plettenberg-Siesel, Lennetal	Talschotter	Steinsalz, 250 kg	+	unveröff.
1962	Letmathe, westl. der Dechenhöhle	Massenkalk	Uranin	-	unveröff.*
1962 oder 1963	Deilinghofener Hochfläche	Massenkalk	Farbstoff	+	PIELSTICKER (1964)
1963	Hagen-Holthausen	Massenkalk, z.T. dolomitisiert	Bärlappsporen, 4,5 kg; Steinsalz	+	BOLSENKÖTTER (1965) und unveröff.*
1965, April	Asbecker Tal/ Hönnetal	Kulm-Platten- kalk, Massen- kalk	Uranin, 2 kg	-	TÄTZLER (1971)
1967, Jan.	Asbecker Tal/ Hönnetal	Kulm-Platten- kalk, Massen- kalk	Uranin, 12 kg	+	TÄTZLER (1971)
1967	Warmen/Ruhr	Talschotter	Steinsalz, 200 kg		unveröff.*
1968	Iserlohn-Kesperm, Lägertal	klüftige Festge- steine des Mitteldevon	Uranin, 10 kg	+	unveröff.*
1969, Mai	Deilinghofener Hochfläche	Massenkalk	Detergentien (Marlon A),	+	SCHMIDT (1970), PIELSTICKER (1971)
1969, Sommer	Deilinghofener Hochfläche	Massenkalk	Detergentien (Marlon A), 15 l	+	SCHMIDT (1970), PIELSTICKER (1971)
1970	Hohenlimburg, Lennetal	Talschotter	Uranin, 2 kg	+	unveröff.
1972	Hachen	Bachsotter	Uranin, 0,3 kg		unveröff.*
1973	Hönnetal bei Binolen	Massenkalk	Uranin, 2 kg	+	unveröff.*
1975	Plettenberg, Lennetal	Talschotter	Uranin, 1 kg		unveröff.*
1975/76	Hagen-Holthausen	Massenkalk	Uranin	(-)	KERSBERG (1977)
1976	Iserlohn-Letmathe, Knitterhöhle	Massenkalk	Uranin	-	unveröff. (mdl. Mitt.)
1978	Volkringhausen/ Hönnetal	Obere Honseler Schichten, Massenkalk	Uranin	+	ZYGOWSKI (1987)
1980	Altena	Untere Honseler Schichten	Uranin, 4 kg; Rhoda- min, 9 kg		unveröff.*
1980	Wenholthausen, Wennetal	Sparganophyl- lum-Kalk, Flinz- Schichten des Mitteldevon	Uranin, 0,5 kg; Rhoda- min, 1 kg		unveröff.*
1980	Wenholthausen, Wennetal	Sparganophyl- lum-Kalk, Flinz- Schichten des Mitteldevon	Uranin, 2 kg; Rhoda- min 6 kg		unveröff.*
1980	Deilinghofener Hochfläche, Feld- birkenbach	Massenkalk	Uranin	-	WEBER (1984)

Fortsetzung: Tabelle 3

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1981, Aug.	Deilinghofener Hochfläche, Brock-	Massenkalk lochbach	Uranin	+	WEBER (1984)
1981, Dez.	Deilinghofener Hochfläche, Brock-	Massenkalk lochbach	Uranin	+	WEBER (1984)
1984	Hemer, nördl. des Felsenmeer	Massenkalk	Uranin, 5 kg; Rhoda- min, 15 kg	+	unveröff.
1985	Dechenhöhle, Iserlohn	Massenkalk	Uranin, 0,2 kg	-	unveröff.
1985	Heinrichshöhle, Hemer	Massenkalk	Uranin, 0,1 kg	-	unveröff.

Tabelle 4

## Markierungsversuche im Ostsauerland

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1906	Warstein, Enkebach	Massenkalk	Uranin (?)	+	RICHTER (1944)
1909	Brilon, Aa	Massenkalk	Uranin (K-Fluorescëin), 24 kg	-	unveröff.
1913, Mai	Brilon, Aa	Massenkalk	Uranin (K-Fluorescëin), 3 kg	+ (?)	unveröff.
1913, Aug.	Brilon, Aa	Massenkalk	Steinsalz, 950 kg	+ (?)	unveröff.
1942, 15. Nov.	Warstein, Enkebach	Massenkalk	Uranin, 1 kg	-	RICHTER (1944)
1942, 16. Nov.	Warstein, Enkebach	Massenkalk	Uranin, 2 kg	+	RICHTER (1944)
1942, 21. Nov.	Warstein, Enkebach	Massenkalk	Steinsalz, 250 kg	+	RICHTER (1944)
1942, 21. Nov.	Warstein, Enkebach	Massenkalk	Uranin, 1 kg	+	RICHTER (1944)
1942, 21. Nov.	Warstein, Wester-Bach	Massenkalk	Uranin, 0,05 kg	-	RICHTER (1944)
1942, 26. Nov.	Warstein, Enkebach	Massenkalk	Ammoniumsulfat, 72 kg	+	RICHTER (1944)
1942, 30. Nov.	Warstein, Enkebach	Massenkalk	<i>Serratia marces.</i> , 80 l	+	RICHTER (1944)
1943, 22. Mai	Brilon-Nehden	Massenkalk	Uranin, 1 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 27. Mai	Brilon-Nehden	Massenkalk	Uranin, 3 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 27. Mai	Brilon-Thülen, Untreue	Massenkalk	Viehsalz, 625 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 1. Juni	Brilon, Hunderbeke (2 Eingabestellen)	Massenkalk	Uranin, je 1 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 2. Juni	Brilon-Rösenbeck, Hollenloch-Schwinde	Massenkalk	Viehsalz, 1500 kg	+	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 7. Juni	Brilon, Hunderbeke	Massenkalk	Uranin, 3 kg; Ammoniumsulfat, 1875 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 15. Juni	Brilon, Hunderbeke	Massenkalk	Viehsalz, 1500 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 29. Juni	Bleiwäsche, Wolfsknappschwinde	Massenkalk	Uranin, 2 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 29. Juni	Bleiwäsche, Schwinde östl. der Straße nach Madfeld	Massenkalk	Viehsalz, 1800 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 23. Juli	Brilon, Schwinde am Tettler	Massenkalk	Viehsalz, 2400 kg	(+)	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 18. Aug.	Briloner Aa, Kleinschmidt's Mühle	Massenkalk	Viehsalz, 10.000 kg	+	unveröff. (BANSE 1948)
1943, 18. Aug.	Briloner Aa, Brandige Mühle	Massenkalk	Uranin, 12 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1944, 12. Mai	Bleiwäsche, Schwinde östl. der Straße nach Madfeld	Massenkalk	Uranin, 2 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1944, 9. Juni	Brilon-Thülen	Massenkalk	Uranin, 2 kg	-	unveröff. (BANSE 1948)
1944	Briloner Hochfläche	Massenkalk	Salz, „Rhodankalium“ u.a.		unveröff. (BANSE 1948) - vgl. Text!
1972, April	Brilon-Thülen	Massenkalk	Uranin, 10 kg	+	unveröff.

Fortsetzung: Tabelle 4

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1973	Kallenhardt, Lörmecketal	Massenkalk	Steinsalz, 500 kg		unveröff.*
1974, Nov.	Brilon-Alme, Moospring-Quell- gebiet (Bohrung)	Massenkalk	Steinsalz, 1000 kg	-	unveröff.
1974, Nov.	Brilon-Alme, Moospring-Quell- gebiet (Bohrung)	Massenkalk	Uranin, 1 kg	+	unveröff.
1976	Marsberg	Zechstein und verkarstete Oberkreide	Uranin, 10 kg; Amido- rhodamin, 5 kg; Stein- salz, 500 kg; Deter- gentien, 1 kg		unveröff.*
1978, Nov.	Brilon, „Auf'm Loh“ (Bohrung)	Massenkalk	Uranin, 20 kg	+	unveröff.
1978, Dez.	Brilon-Burhagen	Massenkalk	Uranin, 20 kg	-	unveröff.
1979	Brilon-Rösenbeck	Massenkalk, Dia- bas	Uranin, 5 kg	+	unveröff.
1980	Aabach-Talsperre	Flözleeres Ober- karbon, Ober- kreide	Uranin, 1 kg		unveröff.*
1980, Okt.	Brilon-Nehden	Massenkalk	Uranin, 10 kg; Sulfo- rhodamin, 10 kg	+	unveröff.
1982	Warstein	Massenkalk	Eosin, 15 kg; Uranin, 15 kg und 25 kg; Rho- damin FB, 32 kg	+	GÜNTHER et al. (1984)
1984, 13. Juni	Bleiwäsche, Wolfs- knappschwinde	Massenkalk	Uranin AP, 6 kg	-	unveröff.
1984, 18. Aug.	Brilon, Biekeschwinde	Massenkalk	Eosin, 10 kg	- (?)	unveröff.
1984, 18. Aug.	Brilon-Rösenbeck	Massenkalk, Kulmtonschiefer	Rhodamin B, 20 kg; Uranin AP, 12 kg	+	unveröff.

Tabelle 5

**Markierungsversuche im Südsauerland**

Datum	Ort/Gebiet	Gestein	Markierungsmittel	Er.	Quelle
1950, Juli	Hellersen bei Lüdenscheid	Kluftaquifer des Mittel-Devon	NaCl-Lösung, 12 l	+	unveröff.
1955	Hellersen bei Lüdenscheid	Kluftaquifer des Mittel-Devon	Uranin, 1 kg; Prodigiosus-Kultur, 4 l	+	unveröff.
1959	Helden, südöstl. Attendorn	Massenkalk	Uranin, 0,5 kg		unveröff.*
1962	Südsauerland	Kluftaquifer des Mittel-Devon	Steinsalz		unveröff.*
1963	Biggetalsperre	Kluftaquifer des Mittel-Devon	Uranin, 5 kg	+	HEITFELD & TÄTZLER (1967)
1967	Meggen, Lennetal	Talschotter	Steinsalz	+	unveröff.
1979	Helden, Repetal	Massenkalk	Uranin, 7 kg	+	unveröff.*
1981	Fretter/Schönholthausen	Massenkalk	Uranin; Rhodamin		unveröff.*

## **Bisher sind in dieser Reihe erschienen:**

### **Heft 1**

KAMPMANN, Hans:

Mikrofossilien, Hölzer, Zapfen und Pflanzenreste aus der unterkretazischen Sauriergrube bei Brilon-Nehden.

Beitrag zur Deutung des Vegetationsbildes zur Zeit der Kreidesaurier in Westfalen.

**Nov. 1983, 146 S., 20 Abb., 1 Tab., 61 Taf.**

**DM 28,00**

### **Heft 2**

MINNIGERODE, Christian; KLEIN-REESINK, Josef:

Das Dörentruper Braunkohleflöz als Zeuge eines fossilen Moores.

Petrographische und palynologische Untersuchungen zur Flözgenese.

**Juli 1984, 68 S., 17 Abb., 12 Tab., 9 Taf.**

**DM 16,00**

### **Heft 3**

BRAUCKMANN, Carsten; KOCH, Lutz; KEMPER, Michael:

Spinnentiere (Arachnida) und Insekten aus den Vorhalle-Schichten (Namurium B; Ober-Karbon) von Hagen-Vorhalle (West-Deutschland).

**Jan. 1985, 132 S., 57 Abb., 23 Taf.**

**DM 25,00**

### **Heft 4**

AVLAR, Hüseyin; DOHMEN, Maria:

Bemerkungen zur Schwarzschiefer-Fazies der Remscheider Schichten und erste Untersuchungsergebnisse der Vertebraten-Fundstelle NE-Kierspe (Sauerland, Rheinisches Schiefergebirge).

SCHALLREUTER, Roger:

Ein ordovizisches Kalksandstein-Geschiebe aus Westfalen.

SPRINGHORN, Rainer; DIEKMANN, Sieghard:

Böden in Lippe.

Anwendung moderner Präparationsmethoden bei der Darstellung ostwestfälischer Bodentypen.

**Mai 1985, 65 S., 14 Abb., 1 Tab., 10 Taf.**

**DM 16,00**

### **Heft 5**

SCHÖNFELD, Joachim:

Zur Lithologie, Biostratigraphie und Fossilführung des Ober-Santon Mergels von Westerwiehe (Ostwestfalen).

SCHALLREUTER, Roger:

Eine weitere kalkschalige Foraminifere aus einem ordovizischen Geschiebe Westfalens.

**Dezember 1985, 56 S., 28. Abb., 2 Tab., 3 Taf.**

**DM 14,00**

### **Heft 6**

JORDAN, Hartmut & GASSE, Wolfgang:

Bio- und lithostratigraphisch-fazielle Untersuchungen des glaukonitisch-sandigen Santon und Campan im südwestlichen Münsterland.

FRIEG, Clemens:

Planktonische Foraminiferen zwischen Ober-Alb und Mittel-Turon im Ruhrgebiet.

ŠVÁBENICKÁ, LILIAN:

Coccolithen aus der Ober-Kreide der Bohrung Werne 8, westlich Hamm in Westfalen (NW-Deutschland).

**August 1986, 88 S., 10 Abb., 3 Tab., 14 Taf.**

**DM 19,50**

## **Heft 7**

Beiträge zur Geschiebekunde Westfalens I

SCHALLREUTER, Roger:

Geschiebekunde in Westfalen

SCHALLREUTER, Roger:

Ostrakoden aus Ordovizischen Geschieben Westfalens I

SCHALLREUTER, Roger & SCHÄFER, Rainer:

Cruminata (Ostracoda) aus Silurgeschieben Westfalens I

SCHALLREUTER, Roger:

Ostrakoden aus silurischen Geschieben Westfalens I

SCHALLREUTER, Roger & SCHÄFER, Rainer:

Gibba (Ostvacoda) aus einem Silurgeschiebe Westfalens

SCHALLREUTER, Roger & SCHÄFER, Rainer:

Karbonsandsteine als Lokalgeschiebe

SCHÄFER, Rainer:

Erfahrungen beim Geschiebesammeln im Münsterländer Hauptkiessandzug

**Mai 1987, 88 S., 8 Abb., 11 Taf.**

**DM 24,00**

## **Heft 8**

NORMAN, David B. & HILPERT, Karl-Heinz mit einem Beitrag von HOLDER, Helmut:

Die Wirbeltierfauna von Nehden (Sauerland), Westdeutschland.

**August 1987, 77 S., 54 Abb., 2 Taf.**

**DM 19,50**

Bestellungen an das

Westf. Museum für Naturkunde

Sentruper Str. 285, 4400 Münster

Tel.: 02 51 / 8 20 84

Preise zuzüglich Porto und Verpackung.





