

|                          |   |       |                  |                          |
|--------------------------|---|-------|------------------|--------------------------|
| Geol. Paläont.<br>Westf. | 9 | 27 S. | 1 Abb.<br>5 Tab. | Münster<br>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 Xanthene, 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 Almwassers 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-

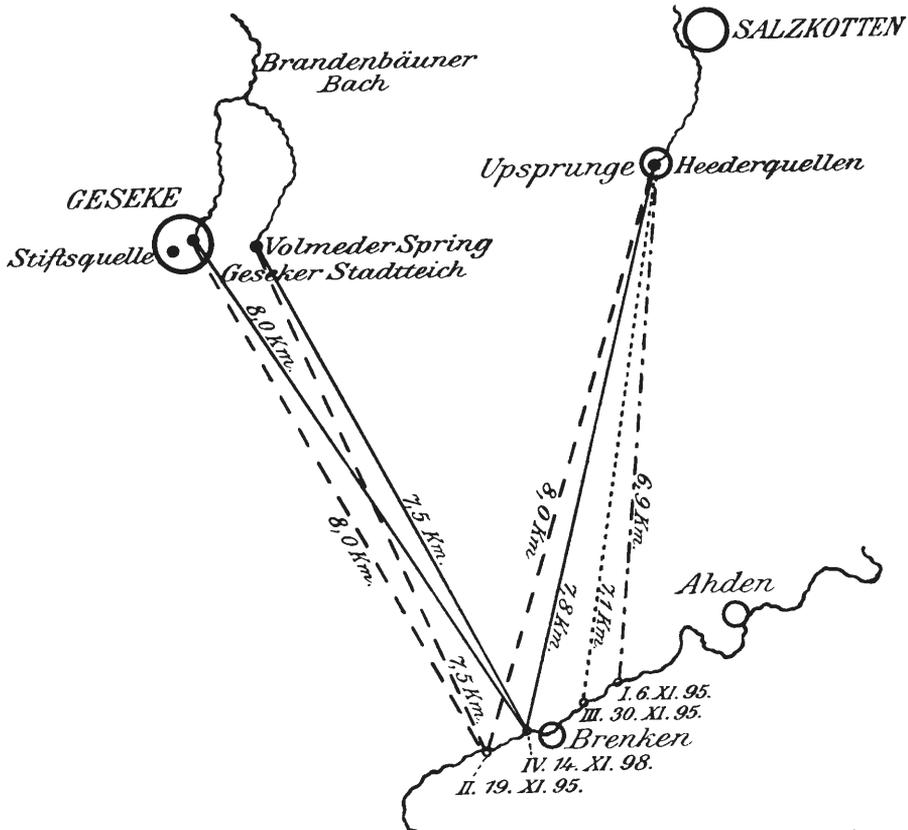


Abb. 1: Die frühesten Markierungsversuche Westfalens im Almetal. Aus: GÄRTNER (1902).

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 Massenkalksegmentes 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 Probenahmeestelle 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 Impfvorsuches [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 Massenkalksegmentes. 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 Schutzzonen 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<br>alkalischer |
| Alizarin         |                             |

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 Hönnetals 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. Reichsamt 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. Heimatkde. 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<br>(Turon)                    | Uranin AP, 1 kg                                     | +   | KOCH & VOGEL (1981) |
| 1972, Okt.  | Erwitte, Bohrung                 | Oberkreide<br>(Turon)                    | Uranin AP, 3 kg                                     | +   | KOCH & VOGEL (1981) |
| 1972, Okt.  | Erwitte, Bohrung                 | Oberkreide<br>(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.<br>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),<br>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-<br>lagerungen              | Uranin, 2 kg                                        |     | unveröff.*          |
| 1978        | Altenbeken                       | Unterkreide-<br>Sandstein                | Uranin, 5 kg                                        | +   | unveröff.*          |
| 1979        | Kleinenberg                      | Oberkreide                               | Uranin, 5 kg                                        |     | unveröff.*          |
| 1979        | Lippstadt-Lipper-<br>bruch       | Terrassen-Ab-<br>lagerungen              | Uranin, 5 kg; Rhoda-<br>min, 15 kg                  |     | unveröff.*          |
| 1979, Juni  | Erwitte-Eikeloh                  | Oberkreide                               | Uranin AP, 12 kg                                    | +   | KOCH & VOGEL (1981) |
| 1980        | Boke, Delbrück;<br>Lippetal      | Terrassen-Ab-<br>lagerungen              | Uranin, 5 kg                                        |     | unveröff.*          |
| 1980        | Boke, Anreppen;<br>Lippetal      | Terrassen-Ab-<br>lagerungen              | Uranin, 5 kg                                        |     | unveröff.*          |
| 1980        | Salzkotten-Oberntu-<br>dorf      | Oberkreide                               | Uranin, 15 kg                                       | +   | unveröff.*          |
| 1980        | Rüthen                           | Unter-/Ober-<br>kreide                   | Uranin, 3 kg; Rhoda-<br>min, 9 kg                   | +   | unveröff.*          |
| 1980        | Rüthen-Knebling-<br>hausen       | Unter-/Ober-<br>kreide                   | Uranin, 3 kg                                        |     | unveröff.*          |
| 1981        | Herbram (Sintfeld)               | Oberkreide                               | Uranin, 5 kg                                        |     | unveröff.*          |
| 1981        | Altenbeken                       | Oberkreide/<br>Unterkreide-<br>Sandstein | Uranin, 5 kg                                        |     | unveröff.*          |
| 1982, Juli  | Sauer oberhalb<br>Grundsteinheim | Oberkreide                               | Uranin, 3 kg                                        | +   | unveröff.           |
| 1982, Juli  | Ellerbach                        | Oberkreide                               | Bärlappsporen, in<br>2 Farben (4,4 kg u.<br>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;<br>Eosin, 5 kg;<br>Rhodamin, 23 kg | +   | unveröff. |
| 1985, Juli | Sauer westl. Grundsteinheim   | Oberkreide            | Rhodamin B, 2 kg;<br>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<br>Kiessandzug       | Uranin, 5 kg                                             |     | unveröff.*          |
| 1974       | Rheine-St. Arnold        | Münsterländer<br>Kiessandzug       | Uranin, 5 kg                                             |     | unveröff.*          |
| 1975       | Münster-Kinderhaus       | Münsterländer<br>Kiessandzug       | Uranin, 5 kg                                             |     | unveröff.*          |
| 1976       | Münster-Kinderhaus       | Münsterländer<br>Kiessandzug       | Uranin, 5 kg                                             |     | unveröff.*          |
| 1977       | Münster-Hiltrup          | Münsterländer<br>Kiessandzug       | Uranin, 5 kg                                             |     | unveröff.*          |
| 1978       | Münster-Hiltrup          | Münsterländer<br>Kiessandzug       | Uranin, 5 kg; <i>Serratia<br/>marcescens</i> , 1 Kolonie |     | unveröff.*          |
| 1979       | Rheine-St. Arnold        | Münsterländer<br>Kiessandzug       | Uranin, 4 kg                                             |     | unveröff.*          |
| 1981       | Rheine-St. Arnold        | Münsterländer<br>Kiessandzug       | Uranin, 10 kg                                            |     | unveröff.*          |
| 1986, März | Schöppinger Berge        | Campan (Ober-<br>kreide)           | Uranin, Steinsalz                                        | +   | BAUHUS (in Vorber.) |
| 1986, Juni | Baumberge bei<br>Nottuln | mergeliger Kalk-<br>stein (Campan) | Uranin, 0,002 kg                                         | +   | FÄLKER (1986)       |
| 1987       | Schöppinger Berge        | Campan (Ober-<br>kreide)           | Uranin, Eosin                                            | +   | BAUHUS (in Vorber.) |

Tabelle 3

**Markierungsversuche im Nordsauerland**

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

Fortsetzung: Tabelle 3

| Datum      | Ort/Gebiet                           | Gestein                | Markierungsmittel                  | Er. | Quelle       |
|------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------------|-----|--------------|
| 1981, Aug. | Deilinghofener<br>Hochfläche, Brock- | Massenkalk<br>lochbach | Uranin                             | +   | WEBER (1984) |
| 1981, Dez. | Deilinghofener<br>Hochfläche, Brock- | Massenkalk<br>lochbach | Uranin                             | +   | WEBER (1984) |
| 1984       | Hemer, nördl. des<br>Felsenmeer      | Massenkalk             | Uranin, 5 kg; Rhoda-<br>min, 15 kg | +   | unveröff.    |
| 1985       | Dechenhöhle,<br>Iserlohn             | Massenkalk             | Uranin, 0,2 kg                     | -   | unveröff.    |
| 1985       | Heinrichshöhle,<br>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.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 27. Mai  | Brilon-Nehden                                      | Massenkalk | Uranin, 3 kg                          | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 27. Mai  | Brilon-Thülen, Untreue                             | Massenkalk | Viehsalz, 625 kg                      | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 1. Juni  | Brilon, Hunderbeke (2 Eingabestellen)              | Massenkalk | Uranin, je 1 kg                       | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 2. Juni  | Brilon-Rösenbeck, Hollenloch-Schwinde              | Massenkalk | Viehsalz, 1500 kg                     | +    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 7. Juni  | Brilon, Hunderbeke                                 | Massenkalk | Uranin, 3 kg; Ammoniumsulfat, 1875 kg | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 15. Juni | Brilon, Hunderbeke                                 | Massenkalk | Viehsalz, 1500 kg                     | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 29. Juni | Bleiwäsche, Wolfsknappschwinde                     | Massenkalk | Uranin, 2 kg                          | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 29. Juni | Bleiwäsche, Schwinde östl. der Straße nach Madfeld | Massenkalk | Viehsalz, 1800 kg                     | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 23. Juli | Brilon, Schwinde am Tettler                        | Massenkalk | Viehsalz, 2400 kg                     | (+)  | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 18. Aug. | Briloner Aa, Kleinschmidt's Mühle                  | Massenkalk | Viehsalz, 10.000 kg                   | +    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1943, 18. Aug. | Briloner Aa, Brandige Mühle                        | Massenkalk | Uranin, 12 kg                         | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1944, 12. Mai  | Bleiwäsche, Schwinde östl. der Straße nach Madfeld | Massenkalk | Uranin, 2 kg                          | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1944, 9. Juni  | Brilon-Thülen                                      | Massenkalk | Uranin, 2 kg                          | -    | unveröff.<br>(BANSE 1948)                 |
| 1944           | Briloner Hochfläche                                | Massenkalk | Salz, „Rhodankalium“ u.a.             |      | unveröff.<br>(BANSE 1948)<br>- vgl. Text! |
| 1972, April    | Brilon-Thülen                                      | Massenkalk | Uranin, 10 kg                         | +    | unveröff.                                 |

Fortsetzung: Tabelle 4

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

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologie und Paläontologie in Westfalen](#)

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Zygowski Dieter W.

Artikel/Article: [Hydrologische Markierungsversuche in Westfalen Ein historischer Überblick 39-65](#)