

|                                                   |          |              |            |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 119 - 130 | Bern, 1982 |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## ZUR FRAGE DER EINSPEISEMENGENBERECHNUNG FÜR FLUORESZENZTRACER

Ch. Leibundgut und H.R. Wernli, Bern

Geographisches Institut der Universität Bern/CH

Abstract: The quantities of dyes that should be injected into the water in tracer studies can only be approximately calculated or estimated. Nevertheless, such estimates can prevent gross errors. Two methods of estimating the quantities of fluorescent dyes to be injected in studies on interstitial ground water are presented. The first method is suitable for studies in which the flow rate is known, while the second is suited for cases where the flow rate cannot be taken into account. Particular attention is paid to the question of allowance for adsorption. Each method is illustrated by means of an example.

### 1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

In hydrologischen Untersuchungen zu Trinkwasserprospektion und Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen führt man immer häufiger Markierversuche mit fluoreszierenden Tracern durch. In der Schweiz findet die Mehrzahl dieser Versuche im Porengrundwasser des Mittellandes statt.

Ein Hauptproblem bei solchen Versuchen stellt die richtige Bemessung der einzuspeisenden Tracermenge dar. Dies besonders deshalb, weil zu deren Berechnung hydrologische Grundlagendaten meist fehlen. Bei zu geringer Einspeisemenge kann die Tracer-

konzentration an der Entnahmestelle unter die Nachweisgrenze sinken. Neben vergeblichem Aufwand birgt dies auch die Gefahr gänzlich falscher Versuchsinterpretation in sich. Auch zu hohe Einspeisemengen wirken sich störend aus. Im Extremfall müssen Trink- und Brauchwasserfassungen vorübergehend stillgelegt werden. Bei hohen Konzentrationen müssen die Proben vor der Messung verdünnt werden. Dies führt zu erheblichem Mehraufwand. Auch aus Gründen des Gewässerschutzes sollte möglichst wenig Tracersubstanz eingespeist werden.

Die Schwierigkeit beim Bemessen der Einspeisemenge besteht darin, dass dazu Parameter bekannt sein müssten, welche durch den Versuch erst ermittelt werden sollen. Die richtige Einspeisemenge kann also letztlich nur geschätzt werden. Weitere Komplikationen ergeben sich, weil Versuche in verschiedenen Medien auch unterschiedliche Berechnungsarten verlangen. So wird ein Versuch in Lockergesteinsmassen nicht einem solchen in Karst- oder Kluftgrundwasser gleichgesetzt werden können. Versuche in Fliessgewässern und Seen verlangen ohnehin eine besondere Berechnungsart. Im allgemeinen ist das Problem in diesen Bereichen der Tracerhydrologie aber etwas einfacher zu lösen.

Die Suche nach solchen Schätzformeln ist so alt wie die Tracertechnik selbst. BENDEL L. (1948) gibt in einem Lehrbuch der Ingenieurgeologie erstmals eine Uebersicht zum Problem der Einspeisemengenberechnung. Ebenfalls in einem Lehrbuch stellt SCHOELLER H. (1963) eine Reihe von Formeln zusammen. Die Wirksamkeit der angegebenen Berechnungsarten ist eher bescheiden. CLASSEN H.J. (1964) sagt denn auch in seiner "Methodik von Färbversuchen" vorsichtigerweise, dass sich keine Regel für die Bemessung der Einspeisemenge geben liesse.

Dennoch haben unsere bisherigen Erfahrungen mit Versuchen im Porengrundwasser gezeigt, dass zumindest für diesen Bereich näherungsweise Berechnungen der Einspeisemenge möglich sind. Berechnungsverfahren drängen sich seit einigen Jahren auch deshalb vermehrt auf, weil die modernen analytischen Möglichkeiten etwas mehr Spielraum bei den nachzuweisenden Tracerkonzentrationen und somit auch bei der Bemessung der Einspeisemenge lassen. Im Folgenden werden zwei Berechnungsarten vorgestellt, welche auch bei Fehlen wichtiger hydrologischer Parameter noch die richtige

Grössenordnung der Einspeisemenge zeigen sollen.

## 2. BISHER VERWENDETE BERECHNUNGSFORMEL

Eine von LEIBUNDGUT Ch. (1974) entwickelte und bei vielen Versuchen bewährte Formel geht davon aus, dass zwischen den verschiedenen Abstandsgeschwindigkeiten ( $v_{\max}$ ,  $v_{\text{int}}$ ,  $v_{\text{med}}$ ,  $v_{\min}$ ) eine regelhafte Beziehung besteht. Dies bedeutet, dass damit die Form einer Farbdurchgangskurve einigermaßen vorausgesagt werden kann.

Die durch diese Kurve eingeschlossene Fläche berechnet sich zu

$$F = \int_0^t K(t) \cdot dt$$

Für die Berechnung der Einspeisemenge wird nun das Integral der Farbdurchgangskurve vereinfacht durch ein ungleichschenkliges Dreieck approximiert (Fig. 1). Als dessen Höhe ( $K$  = Ordinatenwert der Farbdurchgangskurve) wird die gewünschte bzw. erlaubte maximale Konzentration eingesetzt.

Es ergibt sich folgende einfache Gleichung:

|                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $EM_{[\text{kg}]} = \frac{t_{[\text{h}]} \cdot K_{[\text{mg}/\text{m}^3]} \cdot Q_{[\text{m}^3/\text{h}]} \cdot \text{Adk} \cdot \text{Sf}}{2 \cdot 10^6}$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

wobei  $EM$  = Einspeisemenge

$t$  = geschätzte Zeitdauer des Farbdurchgangs

$K$  = Maximalkonzentration bei Entnahmestelle

$Q$  = Pumpleistung oder Quellschüttung pro Zeiteinheit

$\text{Adk}$  = Adsorptionskoeffizient

$\text{Sf}$  = Sicherheitsfaktor.

Adsorptionskoeffizient und Sicherheitsfaktor sind Korrekturverfahren, mit denen die Einspeisemenge je nach verwendetem Farbstoff, Rahmenbedingungen und anderen Versuchseinzelheiten nach oben oder unten korrigiert wird.

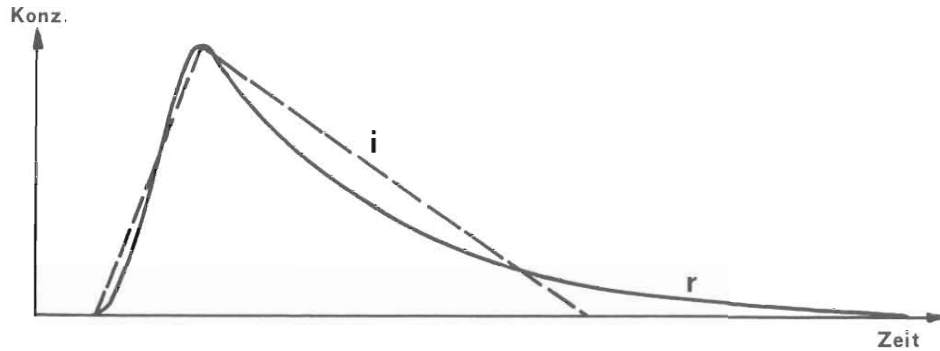


Fig. 1: Reelle(r) und idealisierte(i) Tracerdurchgangskurve in schematischer Darstellung

Real(r) and idealised(i) concentration-time-curve in a schematical graph.

Die Formel eignet sich besonders für jene Fälle, bei denen die Schüttung (Q) über die ganze Versuchsdauer bekannt ist, geregelt oder sogar konstant gehalten werden kann. Erfahrung erfordert das Schätzen der Farbdurchgangsdauer (t). Die Praxis hat aber gezeigt, dass in den meisten Fällen gut auswertbare Versuchsergebnisse zu erhalten sind.

Die Adsorption wird in der Formel nur in einfacher Weise berücksichtigt. Dies ist dann nachteilig, wenn Farbstoffe mit starker Adsorptionsneigung eingesetzt werden müssen oder wenn Versuche über grosse Distanzen und eventuell noch in adsorptiv ungünstigen Medien durchgeführt werden.

Im weitem gibt es auch Versuche, für die Einspeisemengen nicht mit Hilfe der Schüttung berechnet werden können. So beispielsweise, wenn die Erhebungen mittels Schöpfproben aus Piezometerrohren erfolgen müssen. Deshalb erscheint es sinnvoll, das Problem der Einspeisemengen - Berechnung noch von einer anderen Seite her anzugehen.

### 3. NEUE BERECHNUNGSFORMEL

Bei der neuen Formel wird die Adsorption besser berücksichtigt, zudem braucht die Farbdurchgangsdauer nicht mehr geschätzt werden. Grundsätzlich gilt:

$$\text{Einspeisemenge} = \frac{\text{Wasservolumen}}{\text{Zeit}} \cdot \text{Tracerdurchgangsdauer} \cdot \text{mittl. Konzentration}$$

Die ersten beiden Ausdrücke lassen sich anhand einer quaderförmigen Wassermasse erläutern (Fig. 2).

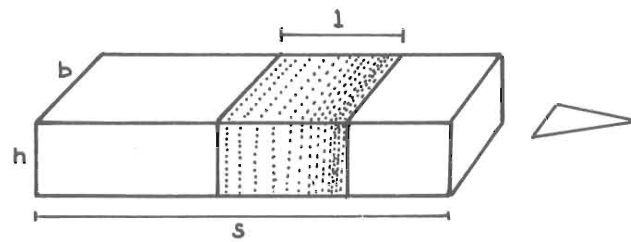


Fig. 2: Quaderförmige Wassermasse mit markiertem Bereich  
Cube-shaped waterbody with traced part

Es gilt:

$$\text{Wasservolumen/Zeit} = \frac{h \cdot b \cdot l}{t} = h \cdot b \cdot \bar{v}$$

t = Farbdurchgangsdauer

$\bar{v}$  = mittlere Abstandsgeschwindigkeit

l = Länge der markierten Wassermasse

s = Abstand zwischen Einspeise- und Probeentnahmestelle (Fig.2)

h = Höhe des Aquifers

b = Breite des Aquifers

Für die Tracerdurchgangsdauer gilt folgendes:

Nach bisherigen Erfahrungen im Porengrundwasser ist die gesamte Tracerdurchgangsdauer im Mittel etwa 3 mal so lang wie die Zeit bis zum Medianwert. Der Medianwert ist die Zeit, bei der die Hälfte der (wiedergefundenen) Tracermenge ausgebracht ist. Er repräsentiert die mittlere Geschwindigkeit des Wassers. Es ergibt sich also:

$$t = \frac{s}{\bar{v}} \cdot 3$$

Dieser Faktor "3" ist ein empirisch ermittelter Wert aus bisherigen Versuchen in verschiedenen Versuchsgebieten. Er repräsentiert mittlere hydrologische Verhältnisse, wie z.B. ein Porenvolumen von 20 - 30 %. Bei grösserem Porenvolumen wäre der Farbdurchgang kompakter, der Faktor wäre dann nicht mehr "3", sondern z.B. nur noch "2". Das Porenvolumen spielte nur dann eine direkte Rolle in der Berechnung, wenn man das tatsächliche

Volumen der markierten Wassermasse bestimmen müsste. Dann müsste auch ihre tatsächliche Länge [l] bekannt sein (Fig. 2). Dies erübrigt sich jedoch, da sich [l] eliminieren lässt ( $l/t = \bar{v}$ , mittlere Geschwindigkeit). Der Klarheit halber sollte man nicht mehr von der Wassermasse, sondern vom "markierten Aquifer" sprechen.

Nach unseren Erfahrungen beträgt die mittlere Farbkonzentration meistens etwa 1/3 der maximalen Konzentration.

$$K_{\text{mittel}} = K/3$$

Fasst man nun die drei Ausdrücke zusammen, so ergibt sich nach Kürzen:

$$I) \quad EM = h \cdot b \cdot s \cdot K$$

K = maximale Konzentration

Ein besonderer Vorteil dieser Formel ist es, dass sich die schwierig zu schätzende Abstandsgeschwindigkeit wegekürzen lässt. Die Mächtigkeit [h] des Aquifers muss gemessen oder geschätzt werden. Für die Bestimmung der Breite [b] setzten wir einen Farbfächer mit einem Öffnungswinkel  $\alpha$  voraus. Nun wird sich die Farbwolke aber nicht beliebig verbreitern. Man kann annehmen, dass sie sich nach einer bestimmten Distanz [ $s_1$ ] in eine ungefähr parallele Strömungsrichtung einspurt (Fig. 3). Diese allgemeine Annahme muss natürlich bei jedem Versuch neu überlegt werden.

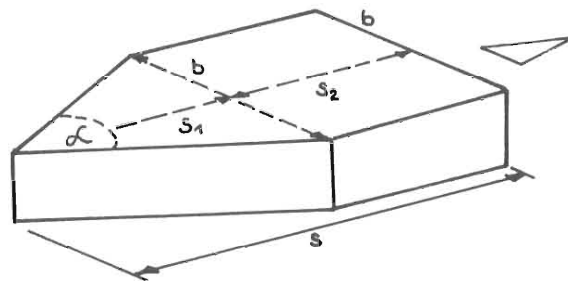


Fig. 3: Angenommene Form eines markierten Aquifers  
Supposed form of a traced aquifer.

Es gilt:

$$b = 2s_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad \text{in Gleichung I) eingesetzt:}$$

$$\text{II) } EM = 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot s_1 \cdot h \cdot s \cdot K$$

Zur Kompensation der Adsorptionsverluste muss das Gesamtvolumen des durchströmten Aquifers mit der pro Kubikmeter adsorbierten Farbmenge multipliziert werden. Die pro Kubikmeter adsorbierte Farbmenge lässt sich durch Laborversuche (LEIBUNDGUT Ch., 1981a) nachbestimmen.

Es ergibt sich somit:

$$\begin{aligned} \text{III) adsorbierte Gesamtmenge} &= \text{Aquifervolumen} \cdot \text{adsorbierte Menge/m}^3 \text{ [AM]} \\ &= \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h (s_1^2 + 2s_1s_2) \cdot AM \end{aligned}$$

Addiert man den Adsorptionsverlust zu Gleichung II) hinzu, so erhält man nach Kürzen und Umformen bereits die Schlussgleichung:

$$EM = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h \cdot s_1 [2s \cdot K + AM(2s - s_1)]$$

EM = Einspeisemenge (mg)

h = Aquifermächtigkeit (m)

$s_1$  = Fächerlänge (m)

s = Abstand Einspeisestelle - Entnahmestelle (m)

K = maximale Farbkonzentration (mg/m<sup>3</sup>)

AM = adsorbierte Farbmenge (mg/m<sup>3</sup>)

Die Einspeisemenge hängt also von der Fließstrecke, der Aquifermächtigkeit und von der Adsorption ab, drei Variablen, die gemessen werden können. Der Winkel  $\alpha$  beträgt nach unseren Erfahrungen häufig etwa 30°, eine Einspeisung über die ganze Aquiferhöhe und eine kräftige Nachspülung vorausgesetzt. BEHRENS H. et al (1980) berichtet allerdings auch von Versuchen, in denen geringere Öffnungswinkel festgestellt wurden.

Die Länge des Fächers [ $s_1$ ] mit dem Öffnungswinkel  $\alpha$  muss geschätzt werden. Die maximale Farbkonzentration wird vorgewählt, meistens darf aber die Sichtbarkeitsgrenze nicht überschritten werden. Für Uranin wird man also etwa 10 [mg/m<sup>3</sup>] einsetzen können.

Mit dieser auch in der Praxis anwendbaren Gleichung dürfte man im Porengrundwasser in vielen Fällen zumindest die richtige Grössenordnung bei der Einspeisemenge treffen. Die Berechnungs- bzw. Schätzmethode ist besonders dann zweckmässig, wenn mit der beprobten Stelle nur ein schmaler Ausschnitt eines in grösserer Breite markierten Wasserstromes erfasst werden kann und wo Schüttungsangaben keine brauchbaren Berechnungsgrundlagen ergeben.

Tabelle 1 zeigt für einige ausgewählte Distanzen die berechneten Einspeisemengen für Uranin in einem 1 m mächtigen Aquifer. Die Adsorption betrage 1 [mg/m<sup>3</sup>], dieser Wert entstammt einem Laborversuch mit Uranin in gewaschenem Bausand (LEIBUNDGUT Ch., 1981a).

Tabelle 1: Einspeisemengen für Uranin  
Injection quantities for Uranin

| Fliesstrecke s<br>(m)                                                                                                                                | Einspeisemenge<br>(g) | Fliesstrecke s<br>(m) | Einspeisemenge<br>(g) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 10                                                                                                                                                   | 0.6                   | 200                   | 116                   |
| 20                                                                                                                                                   | 2.3                   | 500                   | 294                   |
| 50                                                                                                                                                   | 14.2                  | 1000                  | 591                   |
| 100                                                                                                                                                  | 56.7                  | 2000                  | 1185                  |
| Aquifer = 1 m, $K = 10 \text{ mg/m}^3$ , Adsorption = 1 mg/m <sup>3</sup><br>Oeffnungswinkel $\alpha = 30^\circ$ , Fächerlänge $s_1 = 100 \text{ m}$ |                       |                       |                       |

In der Praxis verwendet man selbstverständlich gerundete Farbstoffmengen, je nach Rahmenbedingungen wird auf- oder abgerundet.

#### 4. BESONDERE PROBLEME

Sind im Aquifer schnelleitende Wasserbahnen vorhanden, so treten im Extremfall karstähnliche Verhältnisse auf. Der Farbdurchgang wird kompakter und es ergeben sich höhere Maximalkonzentrationen als erwartet. Probleme treten auch auf, wenn das Grundwasser durch einzelne Rinnen im Stauer (wie sie Molasse aufweisen kann) "kanalisiert" wird. Je nach Lage der beprobten Stelle treten dann zu hohe oder zu niedrige Konzentrationen auf oder

der Farbstoff ist nur noch sporadisch bei Grundwasserhochstand nachzuweisen (LEIBUNDGUT Ch. et al, 1981b). Probleme ergeben sich auch bei stockwerkartig aufgebautem Aquifer, bei uneinheitlicher Grundwasserfliessrichtung usw. Allgemein gilt, dass grössere Inhomogenitäten im Untergrund jede Art von Einspeisemengenberechnungen verunmöglichen.

Ein Problem anderer Art stellt der "Chromatographieeffekt" dar. Seine Ursache ist die reversible Adsorption. Bei einem stark adsorbierten Farbstoff wird ein Teil der Farbe an der Farbwolkenfront adsorbiert, dies bis zur Sättigung des Aquifers. Nachträglich wird durch das nachströmende noch farbfreie Grundwasser wieder ein Teil der Farbe herausgespült. Es findet eine Verlagerung von Farbstoff im Fliessvorgang von vorne nach hinten statt. Dies führt zu einer Deformierung der Tracerdurchgangskurve und damit meist auch zu einer Verschiebung des Medianwertes. Die mit der Medianzeit errechnete mittlere Wassergeschwindigkeit wird damit zu niedrig (Fig. 4).

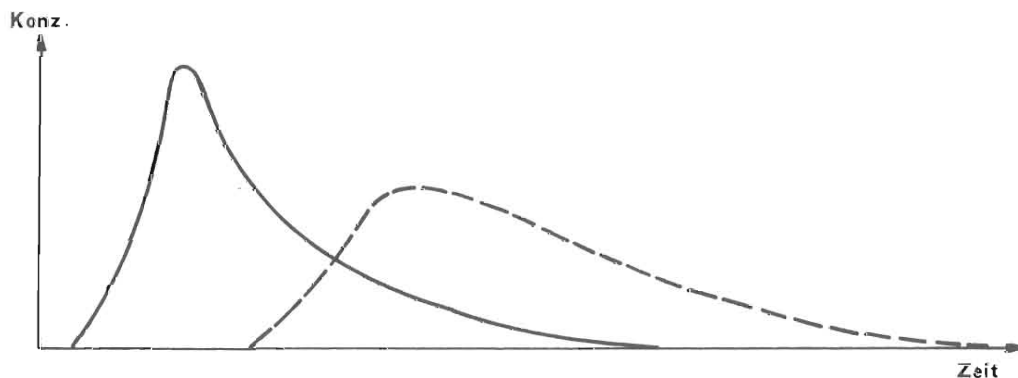


Fig. 4: Farbdurchgangskurve bei geringer und starker Adsorption  
Concentration-time-curves with low and strong adsorption

Gleichzeitig wird die Farbdurchgangskurve verflacht. In Fällen starker Adsorption, wenn die Konzentration an der Farbfront unter die Nachweisgrenze sinkt, wird auch die errechnete maximale Abstandsgeschwindigkeit zu niedrig.

## 5. BERECHNUNGSBEISPIEL

Ein im Jahre 1975 durchgeführter Markierversuch (LEIBUNDGUT Ch., 1975) soll als Beispiel für beide Berechnungsmethoden dienen. Es sind nur die für Berechnung und Diskussion wichtigen Daten aufgeführt.

Distanz  $s = 80 \text{ m}$   
Schüttung  $Q = 1.7 \text{ m}^3/\text{min} = 102 \text{ m}^3/\text{h}$   
Gewünschte maximale Konzentration  $= 10 \text{ mg/m}^3$   
Farbstoff  $= \text{Uranin}$   
Geschätzte Farbdurchgangszeit  $[t] = 30 \text{ Tage} = 720 \text{ h}$

Formel der ersten Methode:

$$EM_{[\text{kg}]} = \frac{t_{[\text{h}]} \cdot Q_{[\text{m}^3/\text{h}]} \cdot K_{[\text{mg}/\text{m}^3]} \cdot \text{Adk} \cdot \text{Sf}}{2 \cdot 10^6}$$

Damit errechnet sich die Einspeisemenge zu 0.367 kg. Die Adsorption des Farbstoffes wurde als unbedeutend angesehen. Im Sinne eines Sicherheitsfaktors (Sf) wurde auf eine Einspeisemenge von 500 g aufgerundet.

Ergebnisse:

Total ausgebrachter Farbstoff  $= 412 \text{ g} = 82.4 \%$   
Maximale Konzentration  $K = 27,8 \text{ mg/m}^3$   
Farbdurchgangszeit  $t = 69 \text{ Tage}$

Formt man die tatsächliche Farbdurchgangskurve in ein flächengleiches Dreieck um (vgl. Fig. 1), so ergibt sich nur noch ein  $t$  von 12 Tagen!

Der Grund für den kompakteren Farbdurchgang wurde in schnellleitenden Wasserbahnen gesehen. Deshalb stieg die maximale Konzentration denn auch auf fast  $30 \text{ mg/m}^3$  statt der in der Formel eingesetzten  $10 \text{ mg/m}^3$ .

Berechnet man die Einspeisemenge nach der zweiten Methode, so ergibt sich nach

$$EM = \text{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h \cdot s_1 [2s \cdot K + \text{AM} (2s - s_1)] \quad \text{eine Menge von } 144 \text{ g}$$

$$\begin{array}{llll}
\text{wobei} & \alpha & = & 30^{\circ}, \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 0.268 \\
& h & = & 4 \text{ m} \\
& s = s_1 & = & 80 \text{ m} \\
& K & = & 10 \text{ mg/m}^3 \\
& AM & = & 1 \text{ mg/m}^3
\end{array}$$

In der Praxis hätten wir 150 g oder 200 g eingesetzt. Mit der zweiten Methode lässt sich für dieses Beispiel ungefähr die richtige Einspeisemenge berechnen. Dazu muss aber die Einschränkung berücksichtigt werden, dass es sich im vorliegenden Fall um einen hochdurchlässigen Aquifer handelt. Bei mittleren Durchlässigkeiten müsste eine 2-3 mal geringere maximale Konzentration resultieren. Auch damit ergäbe sich aber immer noch eine sehr gut auswertbare Tracerdurchgangskurve. Dies mag auch illustrieren, dass für die einzuspeisenden Tracermengen ein gewisser Spielraum besteht, den wir als "optimale Bandbreite der Einspeisemenge" bezeichnen möchten. Sie liegt innerhalb einer Zehnerpotenz.

Die beiden Rechnungen zeigen insgesamt, dass man mit einer Berechnung der Einspeisemenge immerhin zu brauchbaren Versuchsergebnissen gelangt. Die zahlreichen von uns durchgeführten Markierversuche bestätigen dies.

#### ZUSAMMENFASSUNG:

Es werden zwei Methoden zur näherungsweisen Berechnung der Einspeisemengen für Markierversuche im Porengrundwasser vorgestellt. Die Wahl der Berechnungsart richtet sich nach den vorhandenen hydrologischen Grundlagendaten und nach den Gegebenheiten des Versuches. Mit beiden Methoden kann die Größenordnung der Tracermenge mit guter Sicherheit ermittelt werden. Dem erfahrenen Praktiker können die Berechnungsmethoden zur Kontrolle seiner eigenen Ueberlegungen dienen, besonders wenn Farbstoffe mit starker Adsorptionsneigung eingesetzt werden müssen. Krasse Fehler lassen sich so vermeiden.

### Literatur:

- BEHRENS H., SEILER K.-P., 1980: Hydrogeologische Erfahrungen bei Grundwasseruntersuchungen mit Tracern in quartären Kiesen Oberbayerns. Traceruntersuchungen in Hydrogeologie und Hydrologie, R 250. GSF - Inst. für Radiohydrometrie, Neuherberg
- BENDEL L., 1948: Ingenieurgeologie. Wien
- CLASSEN H.J., 1964: Methodik und Beispiele von Färbversuchen. Hannover
- LEIBUNDGUT Ch., 1974: Anwendung von Markierfarbstoffen in der Hydrologie, unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse; ihre Bedeutung für die Lösung komplexer hydrologischer Probleme. Interner Bericht, Geogr. Institut Uni Bern
- LEIBUNDGUT Ch., 1975: Färbversuche im Grundwasser des Oberaargaus. Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee
- LEIBUNDGUT Ch., 1981a: Zum Adsorptionsverhalten von Fluoreszenztracern. Festschrift J. Zötl, Graz
- LEIBUNDGUT Ch. et al, 1981b: Tracerhydrologische Untersuchungen im Langetental (CH). Sonderdruck aus: Steir. Beiträge zur Hydrogeologie, Graz
- SCHOELLER H., 1963 : Les eaux souterraines. Paris.

|                                                   |          |              |            |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 131 - 134 | Bern, 1982 |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## FLUORESZIERENDE SPOREN ALS MARKIERUNGSMITTEL

Werner Käss, Freiburg/Br.

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg Freiburg/BRD

**Abstract:** Fluorescent spores had been proved to be very advantageous in many an aspect compared with spores dyed with pigmentcolours. The advantage mainly lies in the investigation of the samples. The technique of dyeing, application, and the technique of taking samples don't differ from the conventional methodics.

An efficient fluorescence-microscope with enough power is needed for the investigation. Modern fluorescence-microscopes are supplied with various excitation- and fluorescence combinations. Spores dyed with various fluorescence colours can be detected side by side with them.

Contrary to the method with pigment-colours a saving of time can be gained by the factor 10 to 20.

Die in der Markierungstechnik von Karstwässern seit langem eingeführte Methode der Sporentrift hat sich in zahlreichen Versuchen gut bewährt. Nachdem die Färbetechnik die Sporen mit 5 verschiedenen Farben anzufärben im Stande war, konnte man damit 5 verschiedene Eingabestellen bedienen. Dies erspart zeitraubende und kostspielige Nachuntersuchungen, weil man in den Proben die 5 verschieden gefärbten Sporen auseinanderhalten kann. Als wesentliche Einschränkung bei der Sporentriftmethode ist die sehr zeitaufwendige Durchsicht der Sporenpräparate im Ste-

reomikroskop zu bezeichnen. Bei sehr verschmutzten Proben kann die Durchmusterung einer einzigen Probe einen ganzen Arbeitstag beanspruchen.

Bei Sporentriftversuchen werden bei den zu beobachtenden Wasser-  
austritten Planktonnetze eingesetzt. Dabei wird zwar durch ein  
Drahtgitter grösseres Getreibsel ferngehalten. Im Netz werden  
jedoch alle Triftkörper zurückgehalten, die grösser als 0,01 mm  
sind. Dadurch wird die Untersuchung der Netzproben erschwert.

Um Sporen besser auffinden zu können, wurden vom Verfasser mehr-  
fach Versuche mit Sporen durchgeführt, die mit Fluoreszenzfar-  
ben angefärbt wurden. Bei der Untersuchung mit dem Fluoreszenz-  
mikroskop sind die fluoreszierenden Sporen sehr viel leichter  
zu erkennen, weil sie sich vom Untergrund viel besser abheben  
als bei der üblichen Methode.

Die Anfärbung geschieht am einfachsten mit dem in der Fluores-  
zenzmikroskopie bewährten Acridinorange. Für den Anfärbevorgang  
kann folgende Kurzanleitung gegeben werden:

1 kg Lycopodiumsporen werden im 5 l-Becherglas langsam  
mit einer Lösung aus 0,1 % Acridinorange und 5 % Deter-  
gentien versetzt und durchgeknetet. Dazu wird etwa  
3/4 l Lösung verbraucht. Nachdem die Masse homogen ist,  
wird weiter Lösung zugegeben, bis sie rührfähig ist.  
Gleichzeitig wird langsam erwärmt und schliesslich kurz  
aufgekocht. Nach dem Stehen über Nacht wird zweimal mit  
Leitungswasser dekantiert. Danach wird 1 l einer 5 %igen  
Formalinlösung zugegeben und kurz aufgekocht. Nach wei-  
terem zweimaligen Dekantieren mit Leitungswasser wird  
die nunmehr intensiv orangefarbene Sporenmasse in Alumi-  
niumschüsseln getrocknet.

Am Einspeiseort werden die Sporen wieder mit Wasser zu einem  
Brei angerührt und zur Eingabe in den Untergrund durch ein Sieb  
passiert.

Die üblichen Vorsichtsmassnahmen gegen Verschleppung, wie sie  
in der Fachliteratur erwähnt ist, müssen selbstverständlich  
auch hier beachtet werden (ZÖTL J., 1974). Zur Entnahme von  
Sporenproben hat BAUER F. (1967) ausführliche Anleitungen ge-  
geben.

Für die Bereitung von Untersuchungspräparaten wird ein kleiner  
Filtrierapparat verwendet (Fig. 1). Seine zwei Teile werden  
durch Spannfedern zusammengehalten. Dazwischen legt man ein

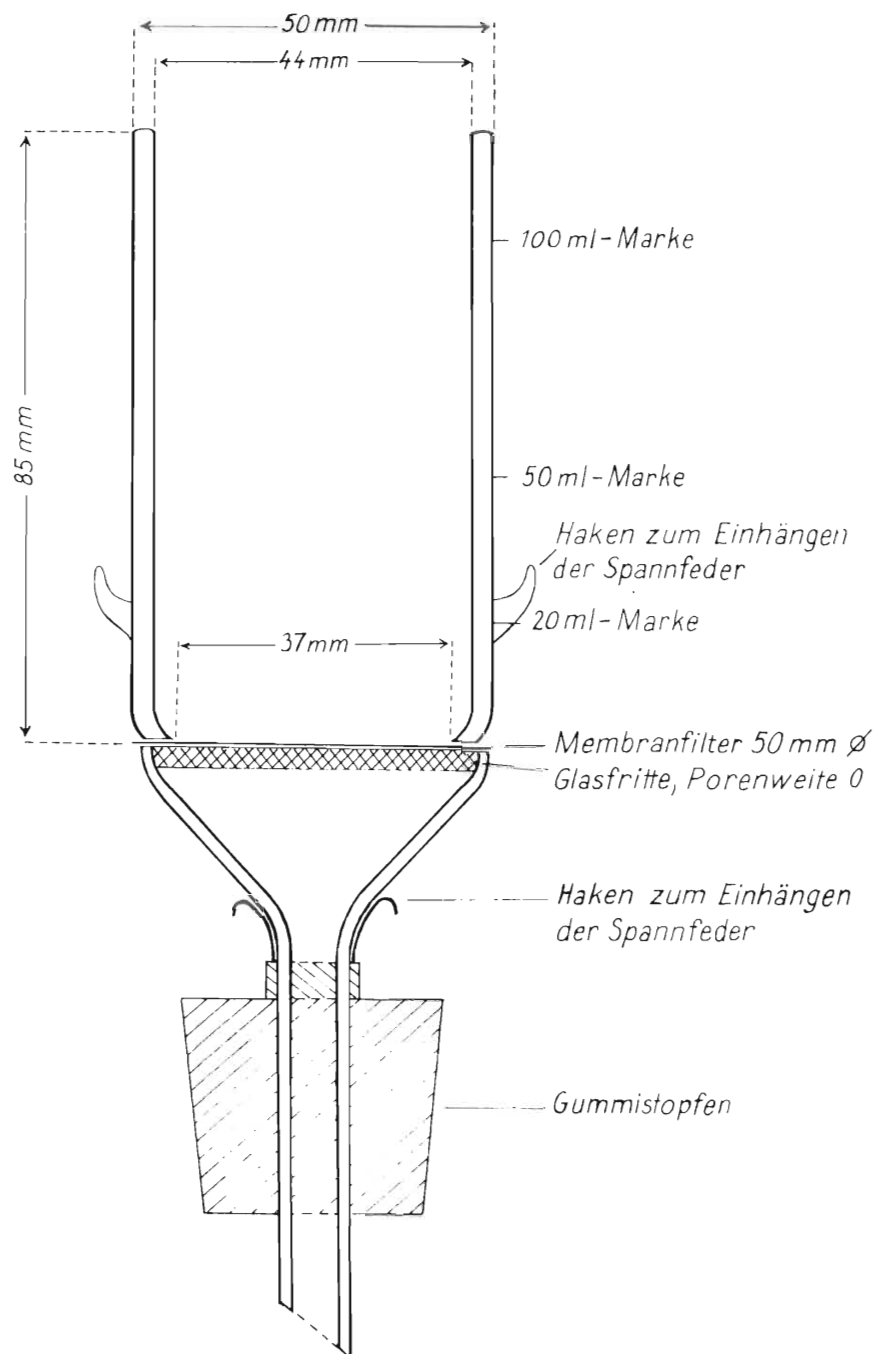


Fig. 1: Filtrierapparat aus Glas zum Absaugen von Planktonnetzproben durch Membranfilter

schwarzes Membranfilter mit Gitternetzaufdruck. Mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe wird soviel an Untersuchungssuspension durchgesaugt, bis eben noch der Gitternetzaufdruck zu erkennen ist. Zweckmässig ist es, die Suspension zuvor durch ein Metallnetz-sieb zu giessen, um gröbere Bestandteile zu entfernen. Diese würden bei stärkeren Vergrösserungen u.U. mit dem Objektiv in Berührung kommen. Das Membranfilter wird nass auf den Objekt-träger gelegt und ohne Deckglas untersucht. Dazu ist ein Kreuz-tisch mit mindestens 50 x 50 mm Beweglichkeit erforderlich. Markierungen am Rand des zylindrischen Trichters mit 20, 50 und 100 ml erleichtern die Berechnung der aliquoten Teile, wenn grössere Sporenzahlen anfallen.

Moderne Fluoreszenzmikroskope enthalten mehrere Anregungs-Fil-ter-Kombinationen. Die beste Untersuchungsbedingung erhält man bei der Anregung 485 nm und Beobachtung durch ein Sperrfilter mit der kurzwelligen Kante bei 510 nm.

Das nicht belegte Membranfilter bleibt tiefschwarz, Substrat er-scheint dunkelbraun. Die mit Acridinorange angefärbten Sporen leuchten hell grüngelb. Sie sind auch bei schwächerer Vergrös-serung rasch erkennbar. Lediglich zur Identifizierung bei Ein-zelvorkommen werden stärkere Vergrösserungen benötigt. Ihre ty-pischen tetraedrischen Formen sind gut zu erkennen. Netzstruk-turen auf den Kalotten beobachtet man selten.

Vereinzelt kommen grüngelb fluoreszierende Mineralkörper vor. Diese fluoreszieren bei UV-Beleuchtung (366 nm) nicht mehr grüngelb, sondern schwach bläulich. Rot fluoreszierende Körner stammen von Chlorophyllkörpern.

Ziel weiterer Versuche ist die Anfärbung mit unterschiedlichen Fluoreszenzfarben. Dadurch könnten wie bei der Anfärbung mit Pigmentfarben mehrere Einspeisestellen zugleich bedient werden. Trotz mehrerer Anläufe ist es bis jetzt noch nicht gelungen, optische Aufheller mit Lycopodiumsporen zu verbinden. Die Ver-suche werden fortgesetzt.

#### Literatur:

- BAUER F. (1967): Die Durchführung und Auswertung von Sporen-triftversuchen - Steirische Beiträge zur Hydrogeologie, 1966/67, S. 249-266, Graz  
ZÖTL J. (1974): Karsthydrogeologie, Wien

|                                                   |          |              |            |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 135 - 142 | Bern, 1982 |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## DIE NOTWENDIGKEIT DER DOKUMENTATION VON TRACERVERSUCHEN

Klaus Cramer, München

Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München

Abstract: The author shows the necessity of registering the data of all tracer tests (especially tests in subterranean waters) in central public archives not only in Bavaria, but also in other countries. He explains a simple registration technique and recommends and asks for a cooperation in this subject.

### 1 WARUM IST EINE DOKUMENTATION NOTWENDIG ?

Die Bedeutung des Wassers im Naturgeschehen und in allen den Menschen bedeutsamen Lebensvorgängen ist allgemein erkannt worden. Und da unser Wissen vom Wasser gar nicht groß genug werden kann, erscheint es nicht nur notwendig, sondern auch berechtigt, mit sämtlichen brauchbaren Untersuchungsmethoden zu arbeiten.

Tracermethoden sind heute bei der hydrogeologischen Forschung unentbehrlich. Wenn auch schon in früheren Jahrzehnten, jedoch eher gelegentlich, Markierungsstoffe zur Lösung hydrologischer

Probleme eingesetzt wurden, so erleben wir seit rd. 20 Jahren durch die intensive Zusammenarbeit zwischen Hydrologen, Wasserbauingenieuren und Hydrogeologen eine starke Zunahme in der Anwendung von Tracermethoden. Jedes größere wasserwirtschaftliche und wasserbauliche Problem wird heutzutage mit einem Markierungsversuch abgesichert, z.B. Erkundung, Verbleib und Beeinträchtigung von Wasservorkommen, Trinkwassererschließung, Trinkwasserschutz, Wärmebelastung von Gewässern, Warndienst für die Gewässergüte, Hochwasserfreihaltung, Sperrenbauten usw. Jeder einzelne Tracerversuch - ob gelungen oder nicht - bringt zur Lösung der gestellten Aufgabe, aber auch darüber hinaus zahlreiche Daten und Erkenntnisse grundsätzlicher Art. Leider gelangen in unserer schnelllebigen Zeit viele solcher Ergebnisse nicht mehr zur Kenntnis anderer Forscher. Ja gerade wegen der ständig größer werdenden Flut an Fachschriften unterbleibt oft eine Veröffentlichung oder sie erreicht den Interessierten nicht. Eine zentrale Auskunftsstelle über Tracerversuche könnte diesen Mangel beheben.

Sachgerechte Markierungsversuche sind sehr zeit- und kostenaufwendig. Die Möglichkeit, unter Verzicht auf eigene Markierungen auf vorliegende Untersuchungsergebnisse zurückgreifen zu können, setzt eine Ordnung und Zugänglichkeit der vorhandenen Daten voraus.

Tracer-Rückstände früherer, insbesondere nicht sachgerecht ausgeführter Markierungsversuche mit den wenigen, überall anwendbaren Tracern können nachfolgende Versuche stören und ihre Ergebnisse verfälschen. Auch hier benötigt der Planer neuer Versuche geeignete Vorinformation, d.h. eine Übersicht über bisher in seinem Arbeitsgebiet durchgeführte Versuche. Unsachgemäße Markierungen können nachteilige Auswirkungen auf verschiedene Bereiche der Wasserwirtschaft haben. Hier erscheint allein aus praktischer Sicht sogar eine gewisse Kontrolle notwendig.

Diese weiter zunehmenden Schwierigkeiten können durch Einrichtung und Unterhaltung eines allgemein zugänglichen Archives bewältigt werden. Mit Ausnahme von vereinzelt für begrenzte Gebiete zusammengestellten Auflistungen von Markierungsversuchen - z.B. von

SCHULZ G. (1957) rd. 140 Versuche zwischen 1945 und 1955 in Südwestdeutschland - ist bisher keine Dokumentation von Tracerversuchen in der Art eines öffentlichen Archives bekannt geworden. Hier sind selbstverständlich nicht die privaten Archive und Dateien gemeint, die von jenen Institutionen geführt werden, die ständig Tracermethoden anwenden. Vor zwei Jahren wurde am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft in München mit der systematischen Sammlung und Sichtung der Daten aller in Bayern durchgeführten Grundwassermarkierungsversuche begonnen.

Bei der gleichen Behörde wird ein ähnliches Archiv für die Ergebnisse von Tracerversuchen in oberirdischen Gewässern eingerichtet.

Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft in München bietet als zentrale Fachoberbehörde im Bereich der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung und mit seinen Verbindungen zu den wissenschaftlichen Institutionen die besten Voraussetzungen für solche Materialsammlungen.

## 2 WELCHE WASSERRECHTLICHEN GESICHTSPUNKTE SIND ZU BEACHTEN ?

Diese Materialsammlungen haben auch noch einen wasserrechtlichen Aspekt. Nach Ansicht des Bayerischen Staatsministeriums des Innern, dem die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung untersteht, ist jedes Einbringen oder Einleiten von Markierungsstoffen in Grund- und Oberflächenwässer zur Durchführung von Messungen nach dem Tracer- oder Verdünnungsprinzip ein wasserrechtlicher Tatbestand und zwar eine erlaubnispflichtige Gewässerbenutzung. Dies beruht auf einschlägige Bestimmungen des für die ganze Bundesrepublik geltenden "Gesetzes zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz)", insbesondere auf § 2 Abs. 1 "Eine Benutzung der Gewässer bedarf der behördlichen Erlaubnis ..." und § 3 Abs. 1 Nr. 4 "Benutzungen ... sind ... Einbringen und Einleiten von Stoffen in oberirdische Gewässer ..." bzw. Nr. 5 "...Einleiten von Stoffen in das Grundwasser." Das Bayerische Wassergesetz sieht für solche Fälle nach Art. 17 BayWG die Möglichkeit zur Erteilung einer "Beschränkten Erlaubnis" vor.

Im Vollzug der Wassergesetze muß daher vor jedem vorgesehenen Tracerversuch seitens des verantwortlichen Versuchsleiters eine wasserrechtliche Genehmigung bei der jeweiligen Wasserbehörde, d.i. die regional zuständige Kreisverwaltungsbehörde, im allgemeinen also das Landratsamt, eingeholt werden. Behörden und Institute, die ständig in ganz Bayern Markierungsversuche durchführen, können auch eine pauschale auf mehrere Jahre befristete Erlaubnis erhalten.

Die bloße Anmeldung eines Versuches bei der Polizei oder einem Wasserwirtschaftsamt genügt nicht.

Diese Erfordernis ist nach den bayerischen Erfahrungen den Verantwortlichen z.B. in Ingenieurbüros und Hochschulinstituten vielfach nicht bekannt. Leider wird im einschlägigen Fachschrifttum auf die entsprechenden Wassergesetze nicht hingewiesen. Eine Ausnahme macht hier lediglich MOSER und RAUERT (1980, S. 76).

Der Problembereich Grundwasser- und Oberflächenwassermarkierungen erfordert also eine Regelung, die sich entgegen der bisher oft geübten Praxis an den gesetzlichen Anforderungen orientieren muß. Das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft rechnet daher mit einer steigenden Zahl von Anfragen der zuständigen Verwaltungsbehörden. Wenn ein Antrag auf Genehmigung eines Versuches mit nichtradioaktiven Tracern gestellt wurde, holen sich diese Behörden fachliche Stellungnahmen vom amtlichen Sachverständigen, d.i. das örtlich zuständige Wasserwirtschaftsamt. Für radioaktive Tracer ist das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft unmittelbar zuständig. In allen Fällen setzt die fachgerechte Beurteilung die nötige Erfahrung und Detailkenntnis voraus, die auf übersichtlichen und leicht zugänglichen Unterlagen, einer Dokumentation aufbauen kann. Derzeit werden vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft Vorschläge für eine einheitliche und möglichst praxisnahe Regelung (voraussichtlich in Form eines Merkblattes) ausgearbeitet, wonach zukünftig die entsprechenden Anträge auf einfache Weise abgefaßt und behandelt werden können.

### 3 AUFBAU UND INHALT DER DOKUMENTATION

Ausgehend von einer groben Ordnung des bisher gesammelten Materials und von der am Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft vorliegenden Erfahrung hat sich folgender Aufbau eines Archives als sinnvoll erwiesen:

#### Karteiblatt

Nach Möglichkeit wird für jeden Markierungsversuch (jede einzelne Einleitung) ein Karteiblatt im Format A 5 ausgefüllt. Dessen Vorderseite ist übersichtlich als Vordruck für die wichtigsten Angaben gestaltet, die Rückseite findet fallweise für zusätzliche Bemerkungen Verwendung (siehe Fig. 1). Die obere Hälfte des Karteiblattes enthält die Antworten auf die Fragen wo, wann, wie, warum und wer. Die untere Hälfte soll immer das Literaturzitat oder den Empfänger/Auftraggeber des Berichtes/Gutachtens nachweisen. Einzeldaten des Versuchsergebnisses können, müssen jedoch nicht angegeben werden, damit das Urheberrecht voll gewahrt bleibt.

#### Listen

Geordnet nach den sieben bayerischen Regierungsbezirken und den Landkreisen ist für jeden Markierungsversuch eine Zeile vorgesehen. Angegeben sind die Gemeinde, der Ort der Einleitung, das Datum des Versuchsbeginns, der Name der ausführenden/berichtenden Stelle, Stichworte zur Aufgabe, der Art des Tracers und des Grundwasserleiters (siehe Fig. 2).

#### Übersichtskarte

In eine kleinmaßstäbliche Karte 1 : 500 000 werden die Tracer-einleitungsstellen mit einer internen Ordnungsnummer zum schnellen Auffinden durchgeführter Markierungsversuche eingezeichnet.

Fig.1  
Karteiblatt des Archivs  
für Grundwasser-  
markierungen  
in Bayern

|                                                                                |              |                                                                                                                                                      |                                                                                |                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Lfd. Nr.                                                                       | Versuchs-Nr. | Regierungs-bez.                                                                                                                                      | Land-kreis                                                                     | Gemeinde                                                                     |
| Beschreibung der Einleitungsstelle<br>Ort, Gebiet                              |              | GK 25                                                                                                                                                | TK 50                                                                          | R H                                                                          |
| Datum der Einleitung                                                           |              |                                                                                                                                                      |                                                                                |                                                                              |
| Unzeit                                                                         |              |                                                                                                                                                      |                                                                                |                                                                              |
| Ende der Beobachtung                                                           |              |                                                                                                                                                      |                                                                                |                                                                              |
| Art des Markierungsmittels                                                     |              | Menge Kg                                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> in fester Form<br><input type="checkbox"/> als Lösung | Spülwasser m <sup>3</sup><br>vorher m <sup>3</sup><br>nachher m <sup>3</sup> |
| Problem, Aufgabe                                                               |              | Art des Grundw.-Leites <input type="checkbox"/> Poren- <input type="checkbox"/> Kluf.- <input type="checkbox"/> Karst-<br>Geologie                   |                                                                                |                                                                              |
| Ausführung durch<br>Firma, Institut, Behörde                                   |              |                                                                                                                                                      |                                                                                |                                                                              |
| Dokumentation in Bericht, Gutachten<br>Veröffentlichung, Autor, Jahr, Standort |              |                                                                                                                                                      |                                                                                |                                                                              |
| Ergebnis                                                                       |              | Nachweis <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> erstmals am <input type="checkbox"/> nein<br>Abstand von der Einleitungsstelle L = H = |                                                                                |                                                                              |
| Austrittsstelle                                                                |              | Fließgeschwindigkeit m/d<br>maximale<br>große Konzentration<br>Schwerpunkt                                                                           |                                                                                |                                                                              |
| Fließrichtung                                                                  |              | Wiederanstieg Menge oder %<br>Weitere Angaben umseitig!                                                                                              |                                                                                |                                                                              |

Fig.2  
Liste

| Lfd. Nr. | Lage der Einleitungsstelle |          |     | Datum der Ausführung und |               | Problem | verwendete<br>Tracer Kg | Grund-<br>wasser-<br>leiter |
|----------|----------------------------|----------|-----|--------------------------|---------------|---------|-------------------------|-----------------------------|
|          | Landkreis                  | Gemeinde | Ort | Einleitung               | Dokumentation |         |                         |                             |
|          |                            |          |     |                          |               |         |                         |                             |
|          |                            |          |     |                          |               |         |                         |                             |
|          |                            |          |     |                          |               |         |                         |                             |

## Berichtssammlung

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden Originale, Sonderdrucke oder Kopien von Veröffentlichungen, Kopien von Berichten oder Gutachten und sonstige Unterlagen gesammelt

Literaturkartei.

Vollständiges Zitat. Fundort.

## 4 AUFRUF ZUR DOKUMENTATION VON TRACERVERSUCHEN

Diese Ausführungen soll ein doppelter Aufruf abschließen. Zum einen werden alle in Bayern tätigen Hydrologen und sonstige Gutachter, die Markierungsversuche durchführen, um laufende Mitarbeit an den nunmehr eingerichteten zwei Archiven für Markierungsversuche in Bayern, d.h. um die Meldung der Versuche und wenn möglich um Überlassung von Kopien der Untersuchungsberichte gebeten. Diese Mitarbeit soll auf freiwilliger Basis und auf dem Prinzip der Gegenseitigkeit beruhen. Jedem dieser Mitarbeiter wird die Möglichkeit geboten, vollen Einblick in die Datensammlung zu nehmen.

Zum anderen wird angeregt, auch in anderen Ländern solche öffentlichen Archive bzw. Dokumentationen einzurichten und zu führen, damit sie evtl. auch über Ländergrenzen hinweg für die hydrologische Forschung genutzt werden können.

Die Dokumentation soll helfen, das Feld der Tracermethoden in der Hydrologie für alle Beteiligte überschaubar zu erhalten und die Belastung der Gewässer mit Markierungsstoffen so klein wie möglich werden zu lassen.

Literatur:

CRAMER K. (1981): Ein Archiv für Grundwassermarkierungsversuche in Bayern.- Informationsberichte des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft, Nr. 3/81, S. 137-138, München.

MOSER H. u. RAUERT W. (1980): Isotopenmethoden in der Hydrologie.- Berlin/Stuttgart.

SCHULZ G. (1957): Färb- und Salzungsversuche an unterirdischen Wässern in Südwestdeutschland.- Jh. geol. Landesamt Baden - Württemberg 2, S. 333-412, Freiburg i.Br.

|                                                   |          |              |            |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 143 - 146 | Bern, 1982 |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## EIN VERFAHREN ZUR DATENERFASSUNG VON MARKIERUNGSVERSUCHEN

Werner Käss, Freiburg/Br.

Geologisches Landesamt Baden-Württemberg Freiburg/BRD

Abstract: This report shows a technique to collect data from tracing experiments.

### Formblatt 1 (Tab. 1): Allgemeine Angaben

Jeder Markierungsversuch erhält eine fortlaufende Nummer. Mehrere Eingabestellen mit demselben Markierungsmittel, auch wenn sie nicht gleichzeitig bedient werden, können als ein Versuch behandelt werden. Gleichzeitige Eingaben mit verschiedenen Markierungsmitteln müssen auch verschiedene Nummern tragen.

### Formblatt 2 (Tab. 2): Beobachtung

Für jede Beobachtungsstelle wird ein gesondertes Formblatt benötigt. Die Beobachtungsstellen werden von 1 an durchnumeriert. Auf der Vorderseite können 10 positive Messwerte, auf der Rückseite 30 Messwerte untergebracht werden.

### Formblatt 3 (Tab. 3): Auswertung

Hier ist Raum für die Dokumentation von Auswertergebnissen z.B. von Fließgeschwindigkeiten, Durchlässigkeitsbeiwerten, Dispersionskoeffizienten usw.

Datei Markierungsversuche

A - Allgemeine Angaben

|                  |                            |                   |                 |                 |                    |                                |
|------------------|----------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------------------------|
| Lfd. Nr. Versuch | Ort und nähere Bezeichnung | FDS: 237          | KN: 335         | Alb-Donau: 425  | WMA-Bezirk         | Ge-Teil-Flußgebiets-kennziffer |
| S: 111           | Hohenlohe: 126             | RA: 216           | FR-Stadt: 311   | WT: 337         | Bodensee: 435      | WMA-Bezirk                     |
| BB: 115          | Schw-Hall: 127             | HD: 221           | BRsg-Hoch-      | RV: 436         | SIG: 437           | Beigheim: 1 KN: 2 WT: 5        |
| ES: 116          | Main-Tauber: 128           | Neckar-Oden-      | Schwarzwid: 315 | RT: 415         | MA-Stadt: 222      | Ellwangen: 2 KA: 3             |
| GP: 117          | HDH: 135                   | wald: 225         | OT: 416         | UL: 421         | VS: 326            | Kirchheim: 4 OG: 2             |
| LB: 118          | 05ab: 136                  | Rhein-Neckar: 226 | EM: 316         | OT: 416         | MA-Stadt: 222      | Künzelsau: 5 RV: 1             |
| Rems-Murr: 119   | BAD: 211                   | PF-Stadt: 231     | Ortenau: 317    | zollernalb: 417 | VS: 326            | Schw-Hall: 6 RT: 2             |
| HN-Stadt: 121    | KA-Stadt: 212              | GW: 235           | RW: 325         | UL: 421         | VS: 326            | FR: 1 HD: 2 RW: 4              |
| HN-Land: 125     | KA-Land: 215               | Enzkreis: 236     | TUT: 327        | BC: 426         | FDS: 1 HN: 3 UL: 3 |                                |

|                                                                   |                                                                                                |                                                                                         |                                                                 |                                                                                         |                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Versuchszweck                                                     | Geolog. Bearbeiter                                                                             | Gutachten - Nr.                                                                         | Batz und Versuch, mündigkeits-Nr.                               | Ausbringen %                                                                            | Bemerkungen zum Versuch, Schrifttum usw. (Forex. A3 uF)                 |
| S: Schutzgebiets-<br>abgrenzung<br>V: hydrologische<br>Verbindung | U: Überfiltration<br>A: Verbleib Abw<br>W: WWA<br>D: Ortschaft<br>K: Kreis<br>L: Landesbehörde | B: Bundesbehörde<br>I: Ingenieurbüro<br>P: Privater<br>J: Justizbehörde<br>F: Forschung | Zahl der<br>Eingabestellen<br>Zahl der Beob-<br>achtungsstellen | Witterungsverhältnisse<br>S: sehr trocken<br>T: trocken<br>W: weicherhart<br>F: feuchte | C: Hochwasser mitteln im<br>Versuch<br>D: Hochwasser am<br>Versuchsende |

E - Einspeisung. Allgemeine Angaben und Bemerkungen

|                         |                                                                |                                                                      |                                                                                                                     |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Markierungs-<br>mittel: | U: Uranin<br>E: Eosin<br>R: Rhodamin<br>M: Serratia marcescens | A: Amidorhodamin<br>T: Tinopal<br>G: B. acidocaldarius<br>H: E. coli | L: Lithiumchlorid<br>C: Lycopodiumsporen, natur<br>Q: Lycopodiumsporen, rot<br>grün X: -<br>braun Y: -<br>Fluoresz. |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                    |                                |                                        |                                                                                                                       |               |                             |             |
|--------------------|--------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|-------------|
| 1. Einspeisestelle | Nr. falls<br>GW-Meß-<br>stelle | Nähere Bezeichnung der Einspeisestelle | Einheit: K: kg, T: t, L: l, N: Anzahl, M: Mole, B: Bequerel, O: Millionen, P: Milliarden, Q: Billionen, S: Trillionen | Tag Mon. Jahr | Einspeisung g<br>Std (min.) | Dauer Menge |
| TK 25              |                                |                                        |                                                                                                                       |               |                             |             |

|            |          |         |             |            |          |         |                              |                                                                                        |
|------------|----------|---------|-------------|------------|----------|---------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Rechtswert | Hochwert | NN-Höhe | Wasserst. M | Rechtswert | Hochwert | NN-Höhe | Haude -<br>Grundwasserleiter | Art der Eingabestelle:<br>R: GW-Beobachtungs-<br>rohr<br>B: Brunnen<br>N: Offene Klufe |
|            |          |         |             |            |          |         |                              |                                                                                        |

|                                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 2. Einspeisestelle (wie Karten E1 und E2) u.s.w. |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Tab. 1: Allgemeine Angaben / general information

B - Beobachtung

Ø : Allgemeine Angaben zur Beobachtungsstelle

[illegible]

c: Einzelwerte

[illegible]

Datei Markierungsversuche  
C - Auswertung

|     |     |   |
|-----|-----|---|
| $M$ | $C$ | 1 |
| $M$ | $C$ | 2 |
| $M$ | $C$ | 3 |
| $M$ | $C$ | 4 |
| $M$ | $C$ | 5 |
| $M$ | $C$ | 6 |
| $M$ | $C$ | 7 |
| $M$ | $C$ | 8 |
| $M$ | $C$ | 9 |
| $M$ | $C$ | 0 |

KÄSS W. (1981): Ein Verfahren zur Datenerfassung von Grundwasseranalysen - Jh.Geol. Landesamt Baden-Württemberg, Nr. 22, S. 35-58, Freiburg/Br.

KÄSS W. (im Druck): Ein Verfahren zur Datenerfassung von Markierungsversuchen.

## ANWENDUNGEN IM KARSTWASSER

Die regionale Vielfalt der Beiträge zu diesem Fragenkomplex weist deutlich darauf hin, dass die Erforschung des Karstes dank der Tracermethoden vielerorts sehr weit gediehen ist. Mit dem gemeinsamen Einsatz mehrerer künstlicher und der Verwendung natürlicher Tracer (Umweltisotope, chemische und physikalische Eigenschaften des Wassers, Organismen) sowie der verstärkten Hinwendung zu einer umfassenden hydrologischen Gesamtbetrachtung versucht man, die noch bestehenden Lücken in der karsthydrologischen Forschung weiter zu schliessen.

Die Karte zum Bericht QUINLAN ist am Schluss des Bandes 28 I beigefügt.

## APPLICATIONS IN KARST

The regional variety of the contributions to this field demonstrates how far karst hydrology has advanced thanks to artificial tracers. By the combined application of different artificial tracers and the use of natural tracers (environmental isotopes, chemical and physical water properties, organisms), as well as by a comprehensive hydrological study it is tried to make further progress in the understanding of processes in the karst.

The map to the report QUINLAN is added at the end of volume 28 I.



|                                                    |          |              |            |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRAEGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 149 - 160 | Bern, 1982 |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## AN OUTLOOK ON TRACER APPLICATIONS IN KARST HYDROLOGY OF TURKEY

Ünal Öziş, Izmir

Civil Engineering Faculty of Ege University

Yücel Yurtsever, Ankara

Hydrology Department of Electrical Power Resources Survey  
Administration (EIE)

Abstract: Karstified formations are predominant along the entire southern coastland and the eastern regions of the country, affecting more than one third of the water resources and almost one half of the water power potential of Turkey. Tracer techniques using dyes, radioactive and environmental isotopes, and natural ions have been applied to investigate karst hydrologic features in Turkey during the last two and half decades. Furthermore, some mathematical techniques, using the quantitative features of spring discharges as tracing element, have been developed for a better evaluation of the karst hydrologic system.

### 1. Introduction

Karstified formations of soluble, mainly carbonate rocks cover large parts of Turkey (EROSKAY and GÜNAY 1980). They affect more than one third of the water resources and almost one half of the water power potential of Turkey, there being large karst spring effluents along the entire southern coastland and the eastern regions (ÖZİŞ and KELOĞLU 1976). Studies concerned with karst hydrology and hydrogeology are, therefore, extremely important for the efficient planning and operation of Turkey's water re-

sources (ÖZİŞ 1980; YEVJEVICH 1980 and 1981). During the last two and a half decades, various tracer techniques have been applied to evaluate the karst hydrologic and geologic features of these water resources, as summarized in the following sections; the general location of the case studies is shown in Fig. 1.

## 2. Dyes

### 2.1 Fluoresceine test at Beyşehir Lake

Due to the sinkholes mainly at the northwestern rim, some of them acting as estavellas, the water balance of Beyşehir lake shows a deficit, estimates ranging from a few hundred million  $m^3$  to over one billion  $m^3$  per year (ACATAY 1966a and b; DİNÇER and PAYNE 1967; YEVJEVICH 1980). A dye test was carried out to investigate whether these water losses feed the large karst springs of Manavgat and Köprüçay basins, 50 - 100 km south of the lake (ACATAY 1966a and b). The test failed to produce such evidence; it should rather be considered as inconclusive, however, because of the extremely long mean residence time (about 20 - 30 years in these karst aquifers) and relatively low dye concentration.



Fig. 1 Location of tracer application case studies in karst hydrology of Turkey.

## 2.2. Uranine

### 2.2.1 Test at Haydarbaba Sinkhole

The dye test, along with a radioisotope test (ACATAY 1966a and 1967) to investigate whether the semi-thermal waters of Kokarhamam disappearing at Haydarbaba sinkhole later feed the downstream colwater springs, have not yielded any proof of such connections.

### 2.2.2 Test at Keban dam

After the impoundment of the reservoir from an elevation of 685 m up to 789 m a.s.l., several new springs emerged at the left bank, at 755-765 m a.s.l. and 2 km downstream of the dam (AKLAN 1976). The increase in the discharge of these springs followed the increases in reservoir level with time lags of about 20 days (ALPASLAN 1980). The dye test proved the leakage under the left bank grout curtain (KARACAOĞLU 1975; I.C.O.L.D. 1976; AKLAN 1976) this appeared at several control points downstream of the dam, but not at the new springs.

### 2.2.3 Test at Eynif polje

A dye test to investigate the relation between water losses through sinkholes at the southeastern part of the lower Eynif polje (elevation 940 m a.s.l.) and various springs of the Manavgat basin located south and southwest of the polje at distances of 5-15 km (GÜNAY et al. 1976 and 1978a) proved the relation between the polje and most, though not all, of the springs.

The earliest appearance was at Sevinç and Yarpuzlu springs (el. 185 m) 7 days after the injection indicating an apparent propagation velocity of 2 cm/s. There were seven appearances at Yarpuzlu springs, with the main peak occurring 12 days after injection, one fifth of the dye injected being recovered. During the observation period of seven weeks, almost 90 % of the dye was recovered, half of it being at Yarpuzlu, one sixth at Sevinç.

Significant amounts of dye were also recovered at Kelbakıt (el. 300 m) after 7-8 days and at Düdensuyu springs (el. 406 m) after 13 and 21 days. Furthermore, rather continuous appearances of dye were observed, beginning 8-9 days after injection, during

several weeks at Yaysuyu (el. 650 m) and Düden (el. 450 m) springs.

#### 2.2.4 Test at Kovada lake

A dye test showed that water losses through sinkholes at the southwestern rim of Kovada lake feed the karst spring Gökpınar, 6 km south of them (GÜNAY et al. 1978b). Three peaks have been observed 25 to 34 hours after dye injection, resulting in the order of 6 cm/s for apparent propagation velocity.

#### 2.2.5 Tests at Bıyıklı and Yağca sinkholes

A dye test showed that the waters of Küçüksu springs and a part of the Kırkgözler springs disappearing in the Bıyıklı sinkhole are in relation with the Varsak collapsed doline and contribute to the discharge of Düdenbaşı underground river (GÜNAY et al. 1977).

The dye first appeared at Düdenbaşı, located 18 km southeast, 83 hours after injection, reaching its peak 50 hours thereafter with a propagation velocity of 4 cm/s. The appearance at the much closer located Varsak collapsed doline was several hours after that at Düdenbaşı.

Another test showed that waters lost from the Yağca sinkhole also feed the Düdenbaşı underground river as well as several small springs west of Antalya (ATALAY and SİPAHİ 1980).

### 2.3. Rhodamine test at Dumanlı spring

In order to determine the discharge of Dumanlı spring (el. 64 m) which will be impounded by the Oymapınar dam (up to el. 184 m) on the Manavgat river, an indirect discharge measurement technique was applied (GÜNAY and KARANJAC 1978; KARANJAC and GÜNAY 1980). It showed that, at the end of the low flow season, Dumanlı spring discharge made 35 m<sup>3</sup>/s out of 50 m<sup>3</sup>/s at Homa gauging station. With regard to the annual average flow of 150 m<sup>3</sup>/s of Homa and wet season flows, it is estimated that the annual average discharge of Dumanlı spring is about 55-70 m<sup>3</sup>/s, maximum discharges up to 80-100 m<sup>3</sup>/s, thus making it the largest karst spring of the world issuing from one single orifice (YEVJEVICH 1981).

### 3. Artificial radioisotopes

#### 3.1. Natrium $^{24}\text{Na}$ tests at May dam

Two tests were carried out in order to detect the main sinkhole zones which appeared after the impoundment of the May reservoir (ACATAY 1966a). The dominant flow directions of density currents, not conforming to the opposite wind direction, disclosed the three main zones of water losses.

#### 3.2. Brome $^{82}\text{Br}$ test at Haydarbaba sinkhole

Along with the uranine test, the use of this radioisotope was also inconclusive (ACATAY 1966a and 1967).

### 4. Environmental isotopes

#### 4.1. Survey of basins in the Antalya region

The precipitation station at Antalya has been included in the IAEA/WMO global monitoring network since 1963 and shows a deuterium-excess (intercept) of 16,4 ‰ (YURTSEVER 1978 and 1980). With few exceptions, most of the karst spring effluents show  $^{18}\text{O}$  values of -5 to -9 ‰ and deuterium values of -30 to -50 ‰, expressed as ‰ deviations from SMOW, indicative of recharge primarily from coastal precipitation (DİNÇER and PAYNE 1971; YURTSEVER 1978 and 1980), although recharge through leakages from inland lakes is thought to be operative. Only in the case of Köprüçay is the isotopic composition indicative of such a recharge, with about one third of the Köprüçay flows probably being fed from Beyşehir and/or Eğirdir lakes (DİNÇER and PAYNE 1971). On the other hand, the comparison of altitude and  $^{18}\text{O}$  values of Dumanlı spring (el. 64 m) and Homa flows (el. 35 m) of Manavgat river indicates that they are fed from subsurface flows of basins with an average elevation of about 1000 m (YURTSEVER 1978 and 1980).

Based on tritium contents, the mean residence or turn-over time of the underground reservoirs feeding the Manavgat springs is calculated to be of the order of 15-25 years, resulting in reservoir volume estimates of 16-24 billion  $\text{m}^3$  (DİNÇER and PAYNE

1971; YURTSEVER 1978 and 1980). These values were found to be 30 years and 20 billion m<sup>3</sup> for Köprüçay; 100 years and 22 billion m<sup>3</sup> for Kırkgözlü springs (DİNÇER and PAYNE 1971) whereas the turn-over time for Beyşehir lake is estimated to be 3,5 yrs. and for Eğirdir lake 5,5 years (DİNÇER and PAYNE 1967; ŞENTÜRK et al. 1970).

#### 4.2 Survey of springs in the Manisa region

The survey of about twelve springs in the Manisa region resulted in <sup>18</sup>O values of -6 to -8 ‰, deuterium values of -40 to -45 ‰, with an intercept of 15 ‰ (ÇONGAR et al. 1973; ERTAN 1977). In combination with their tritium content, which is nil in some cases and indicative of huge underground reservoirs, these springs could be classified into four groups.

#### 4.3 Survey of springs downstream of Keban dam

The investigations of a possible relation of Euphrates river water and the recharge of springs downstream of the Keban dam before and after the impoundment (ERTAN 1975 and 1979; AKLAN 1976; I.C.O.L.D. 1976) yielded rather close results with regard to stable isotopes; <sup>18</sup>O values around -10 to -11 ‰ before and -10 ‰ after, deuterium values around -55 to -65 ‰ before and -65 to -68 ‰ after the impoundment of the reservoir.

The tritium contents showed, however, that springs just downstream of the dam site, inundated by the tailwater after operation of the power plant, were recharged from a system different from the Euphrates river water. However, after the impoundment, increases in their discharges as well as in their tritium contents were indicative of additional recharge from the reservoir through a very diffuse system.

The springs first emerged at Keban creek valley after the impoundment of the reservoir and are entirely recharged from there. Although the variation in tritium content suggested a propagation velocity of 5 m/day (ERTAN 1975 and 1979), the hydraulic response time lag between reservoir level and springs discharge was of the order of 20 days, yielding a velocity of 120 m/day (ALPASLAN 1980).

The water of the huge crab cavity, which was later concreted to a great extent, showed tritium contents different from Euphrates river before impoundment (ERTAN 1975). After the impoundment and the resurgence of Keban creek springs, large vortices have been observed near the left bank and a huge new cavity, not completely filled with water, was discovered under the reservoir (KARACAOĞLU 1979).

## 5. Chemical indicators

### 5.1. Natural chloride content of waters around Keban dam

Before the impoundment of the reservoir, the chloride content of Euphrates river was about 20-40 ppm, that of the downstream springs 6-8 ppm: after impoundment, the mean for the reservoir was about 18 ppm and the chloride content of the downstream springs, including the newly emerged Keban creek springs, increased to that level, indicating recharge from the reservoir (YALÇIN 1976; AKLAN 1976; I.C.O.L.D. 1976; AĞACIK 1979).

### 5.2. Ion composition of springs in the Manisa region

The comparison of the ion composition of springs in the Manisa region, through Schoeller diagrams, EC and pH values (ÇONGAR et al. 1973), confirms the classification according to environmental isotopes and even leads to the subdivision of one group.

## 6. Physical indicators

### 6.1. Temperature of Oymapınar dam downstream springs

The water temperature of 25 small springs issuing downstream of the Oymapınar dam served as an indicator to classify them into three groups (KARANJAC and ALTUĞ 1980; KARANJAC and GÜNAY 1980b). The first group maintain a temperature of about 16°C all year round, the springs of the second group have a temperature of about 16,5°C during the dry season, but it drops soon after storm rains down to 10,5°C; the springs of the third group, with the largest discharges, show similar temperature fluctuations between 13,5°C and 10,5°C respectively.

## 6.2. Seismic activity at Keban dam

The comparison of the increase in discharge of the Keban creek springs and in the earthquake activity after the impoundment of the reservoir led to the conclusion that the seismic activity enhanced the creation of leakage ways toward the springs (AKLAN 1976; I.C.O.L.D. 1976).

## 6.3. Geobomb experiment at Bıyıklı sinkhole

A geobomb experiment was carried out at Bıyıklı sinkhole (ATALAY and SİPAHİ 1980), but the previous dye test proved to be much more conclusive.

## 7. Biological indicators

Although karst ground water resources can much more easily polluted than alluvial groundwater, in several coastal towns at karst regions of Turkey, wastewater is discharged directly underground through scattered cracks and channels. An investigation of *Eschericia coli* bacteria in Antalya, as a tracer of pollution, have not disclosed natural marine outfalls of polluted karst groundwater near the shore line (YÜCEL 1979).

## 8. Hydrologic indicators

### 8.1. Recession hydrograph analysis in the Antalya region

The quantity of water discharge by a karstic spring can be conceived as a natural tracer and some mathematical techniques will shed light on the karst recharge system and yield also results directly usable in water resource development (ÖZİŞ 1979/1980).

The recession hydrograph analysis is successfully applied to spring discharges, as in the cases of Duraliler (KARANJAC and GÜNAY 1977), Kırkgözler (GÜNAY and YAYAN 1979) and Oymapınar downstream springs (KARANJAC and ALTUĞ 1978 and 1980) or to run-off with large karst springs effluents, as in the cases of Köprüçay (KARANJAC 1976), Kadıncık and Dicle (E.U. 1980) and Manavgat (KARANJAC and ALTUĞ 1980; E.U. 1980; ÖZİŞ et al. 1980; ÜNAL 1981).

## 8.2. Rainfall-runoff and reservoir level-runoff relations in the Manisa and Antalya regions

For the comparison of these discharges with precipitation, either cumulative as in the case of springs near Manisa (ÖZİŞ and BENZEDEN 1972) or with time lags as in the cases of Manavgat (ÇULTU and ALTINBİLEK 1971; ÖZİŞ and KELOĞLU 1976 and 1980), Sarıkız springs near Manisa (ÖZİŞ and ECE 1975), Eşençay (ÖZİŞ 1975) and with time-lagged lake levels as in the cases of Beyşehir-Manavgat (ÇULTU and ALTINBİLEK 1971; E.U. 1980), Beyşehir-Köprüçay (E.U. 1980), and Keban (ALPASLAN 1980) classical techniques were used. The use of linear systems with parametric kernels in order to set up the transfer function from precipitation to karst runoff is a rather sophisticated technique applied to Eşençay (USLU 1978).

## 8.3. Runoff-runoff relations in southern and eastern Turkey from Dalaman to Dicle

The concept of reversible regression parameters between runoff processes, developed especially for the identification of base flow from karst aquifers (ÖZİŞ 1975; ÖZER et al. 1978; ÖZİŞ and BENZEDEN 1979) is applied to Eşençay (ÖZİŞ 1975), Dalaman (ÖZER 1976), Manavgat, Göksu and Dicle (E.U. 1980).

### References:

- ACATAY,T.(1966a): "Mümkün olduğu nisbette radyoaktif maddeler kullanarak; Türkiye düdenlerinden dört tanesinin etüdü". Ankara, DSI Araştırma Dairesi, n. PR-357.
- ACATAY,T.(1966b): Beyşehir gölü-Manavgat ırmağı ilişkisi. Ankara, DSI, "Teknik Bülten", n.9, pp.1-24.
- ACATAY,T.(1967): Denizli-Haydarbaba düdeni. Ankara, DSI, "Teknik Bülten", n.10, pp.88-111.
- AĞACIK,G.(1979): Keban barajı kaçaklarının kimyasal analizler yoluyla araştırılması. Ankara, DSI, "Su mühendisliğinde izotop tekniği ve kimyasal yöntemlerin uygulanmasına örnekler konulu seminer tebliğleri", n.699, Böl.B-V, 9p.
- AKLAN,T.(1976): "Keban baraj yerinde su kaçakları ile ilgili çalışmalar".Ankara,DSI Jeoteknik Hiz. ve Yeraltı Suları Dairesi.
- ALPASLAN,A.(1980): "Karst ortamda yeraltısuyu genel akış denklemlerinin belirlenmesi için hidrolojik bir sistem yaklaşımı". İzmir, Ege Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Hidroloji ve Su Yapıları Doktora Tezi n.3 (Yön.: Ü.Öziş).

- ATALAY,M.; SİPAHİ,H.(1980): Explanatory notes on the karst system of Antalya travertines. Ankara, D.S.I., "International Seminar on Karst Hydrogeology, Oymapınar 1979, Proceedings" (ed.: G.Günay), pp.350-354.
- ÇONGAR,B.; GÜNAY,G.; ATUK,G.; DUMLU,O.; SÖZEN,M.(1973): "İzmir Projesi Manisa Kaynakları Hidrojeolojik Etüd Raporu". Ankara, DSI Yeraltı Suları Dairesi.
- ÇULTU,L.; ALTINBİLEK,D.(1971): "Statistical Analysis of Manavgat River Basin Recharge Characteristics". Ankara, Middle East Technical University, 106 p.
- DİNÇER,T.; PAYNE,B.R.(1967): An isotope survey of lakes in the karst region of southern Turkey. Gentbrugge, IASH, "Hydrology of fractured rocks,Dubrovnik 1965, Proceedings", pp.654-661.
- DİNÇER,T.; PAYNE,B.R.(1971): An environmental isotope study of the Southwestern karst region of Turkey. Amsterdam, "Journal of Hydrology", v.14, pp.233-257.
- ERTAN,İ.(1975): "Keban barajı kaçaklarının çevresel izotoplarla incelenmesi". Ankara, DSI Araştırma Dairesi, n.PR-595, 19 p.
- ERTAN,İ.(1977): "İzmir içme suyu projesi kapsamına giren Sarıkız kaynakları geliştirme çalışmasında izotop yöntemlerinin uygulanması". Ankara, DSI Araştırma Dairesi, n.İZ-632, 33 p.
- ERTAN,İ.(1979): Keban barajı ile ilgili izotop çalışmaları. Ankara, DSI, "Su mühendisliğinde izotop tekniği ve kimyasal yöntemlerin uygulanmasına örnekler konulu seminer tebliğleri", n.699, Böl.A-II, 32 p.
- EROSKAY,O.; GÜNAY,G.(1980): Tectogenetic classification and hydrogeological properties of the karst regions in Turkey. Ankara, D.S.I., "International Seminar on Karst Hydrogeology, Oymapınar 1979, Proceedings", pp.1-41.
- E.U.(I.ATIŞ,D.ÖZDAĞLAR,E.ÜNAL)(1980): "Karst su kaynakları 1979/80 yılı için uygulamaları". İzmir, Ege Üniversitesi, İnşaat Fakültesi (Yön.: Ü.Öziş; E.Benzeden).
- GÜNAY,G.; DOĞAN,L.; ALTUĞ,A.; COŞKUN,N.(1977) : "Antalya ovası Bıyıklı boya deneyi raporu".Ankara,DSI,UNDP Projesi,Teknik Rapor, n.18.
- GÜNAY,G.; ATAMAN,Y.; DOĞAN,L.(1978a): "Aşağı Eynif dye test". Ankara, DSI,UNDP Projesi, Teknik Rapor, n.17.
- GÜNAY,G.; KARANJAC,J.; SİPAHİ,H.(1978b): "Kovada gölü ile Gök-pınar arasındaki hidrolik bağıntının fluoressan izleyici teknikleriyle incelenmesi". Ankara, DSI, UNDP Projesi,Teknik Rapor,n.19.
- GÜNAY,G.; KARANJAC,J.(1978): "Dumanlı spring discharge in October 1978 measured by fluorometric techniques". Ankara, DSI, UNDP Projesi, Teknik Rapor, n.26.
- ICOLD Turkish National Committee(1976): Investigation of leakages at Keban Dam. Mexico City,ICOLD, "Douzième Congrès des Grands Barrages", Q.45, R.27, 40 p.
- KARACAOĞLU,B.(1975): "Keban barajı kaçakları ile ilgili boya deneyi raporu".Ankara, DSI Araştırma Dairesi, n.PR-579, 14 p.

- KARACAOĞLU, B. (1979): Prototipler üzerinde araştırma konuları. Ankara, DSI, "Su mühendisliğinde izotop tekniği ve kimyasal yöntemlerin uygulanmasına örnekler konulu seminer tebliğleri", Böl.C., 31p.
- KARANJAC, J. (1976): "Regime of Olukköprü and Kocadere springs of Köprüçay basin based on hydrograph analysis". Ankara, DSI, UNDP Projesi, Teknik Rapor, n.4.
- KARANJAC, J.; GÜNAY, G. (1977): "Note on development potential of Duraliler springs, Antalya". Ankara, DSI-UNDP Projesi, T.R.n.10.
- KARANJAC, J.; ALTUĞ, A. (1978): "Oymapınar dam downstream springs". Ankara, DSI, UNDP Projesi, Teknik Rapor, n.23.
- KARANJAC, J.; GÜNAY, G. (1980): Dumanlı spring, Turkey, the largest karstic spring in the world. Amsterdam, "Journal of Hydrology", V.45, pp.219-231.
- KARANJAC, J.; ALTUĞ, A. (1980): Karstic spring recession hydrograph and water temperature analysis: Oymapınar dam project, Turkey. Amsterdam, "Journal of Hydrology", V.45, pp.203-217.
- ÖZER, A. (1976): "Yukarı Dalaman akımlarının stokastik analizi". İzmir, E.Ü.Mühendislik Bilimleri Fakültesi, Hidroloji ve Su Yapıları Yüksek Lisans Tezi, n.6, 78 p. (Yön.Ü.Öziş).
- ÖZİŞ, Ü.; BENZEDEN, E. (1972): Determination of the relation between spring discharge and precipitation: an application to Sarıkız springs in Turkey. Tokyo, IAH, "Asian Regional Conference 1971, Mémoires", v.IX, pp.181-184.
- ÖZİŞ, Ü.; ECE, A. (1975): Indirektes mathematisches Abflussmodell der karstischen Sarıkızquellen. İzmir, Ege Üniversitesi, "Mühendislik Bilimleri Fakültesi Dergisi", y.3, n.2, pp.1-30.
- ÖZİŞ, Ü. (1975): Stochastic analysis of river flows in karstic regions based upon periodic variations of correlation parameters. İzmir, Ege Üniversitesi, "Mühendislik Bilimleri Fakültesi Dergisi", y.3, Öz.n.1, pp.77-100.
- ÖZİŞ, Ü.; KELOĞLU, N. (1976): Some features of mathematical analysis of karst runoff. Fort Collins, Water Resources Publications, "Karst Hydrology and Water Resources", (V.Yevjevich, ed.), v.I, pp.221-235.
- ÖZİŞ, Ü.; BENZEDEN, E. (1979): Theoretical considerations on simple linear correlations applied to hydrologic processes. Fort Collins, Colorado State University, Third International Hydrology Symposium 1977 Proceedings "Modelling hydrologic processes" (eds.: H.Morel-Seytoux, J.D.Salas, T.G.Sanders, R.E.Smith), Section I-6.
- ÖZİŞ, Ü. (1979): Mathematical appraisal of karstic water resources. Istanbul, "Boğaziçi Üniversitesi Dergisi", v.7, pp.93-108.
- ÖZİŞ, Ü. (tr.: N.HARMANCIOĞLU) (1980): An outlook to karst hydrology studies in Turkey. Ankara, D.S.I. "International Seminar on Karst Hydrogeology, Oymapınar 1979, Proceedings" (ed.: G.Günay), pp.294-304.
- ÖZİŞ, Ü.; KELOĞLU, N. (1980): Stochastic analysis of Manavgat flows. Ankara, D.S.I., "International Seminar on Karst Hydrogeology, Oymapınar 1979, Proceedings" (ed.: G.Günay), pp.305-315.

- ÖZİŞ,Ü.; BENZEDEN,E.; HARMANCIOĞLU,N.; ÜNAL,E.(1980): Baraj göllerinin faydalı hacmine eriyebilen kayaların katkısı. İstanbul, IAEG Türk Milli Komitesi, "II. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu" (sp. preprint, 16 p.).
- USLU,O.(1978): "Karstik akımların parametrik çekirdek fonksiyonlu doğrusal sistemlerle benzetimi".İzmir, Ege Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Doçentlik Tezi, 131 p.
- ÜNAL,E.(1981): Karst bölgelerdeki baraj haznelerinin yeraltı biriktirme hacminin Oymapınar örneğinde alçalma hidrografı yöntemiyle incelenmesi. İzmir, Ege Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Hidroloji ve Su Yapıları Yüksek Lisans Tezi n.13 (Yön.: Ü.Öziş, E.Benzeden), 68 p.
- YALÇIN,H.(1976): Keban barajı kaçaklarının kimyasal analizler yoluyla araştırılması. Ankara, DSI Araştırma Dairesi, n.Kİ-603.
- YEVJEVICH,V.(1980): Investigations of karst hydrogeology, hydrology and water resources in southern Turkey. Ankara, D.S.I., "International Seminar on Karst Hydrogeology, Oymapınar 1979, Proceedings" (ed.: G.Günay), pp.55-117.
- YEVJEVICH,V.(1981): "Karst waters of southern Turkey". Ankara, D.S.I., Final Technical Report of UNDP Project TUR/77/015, 234 p.
- YÜCEL,A.(1979): Antalya kıyı sularının dışkısal yönden kirlenmesi. Antalya Belediyesi, "Antalya kenti kullanılmış suları uzaklaştırma sempozyumu".
- YURTSEVER,Y.(1978): Tabii-izotopların hidrolojide kullanılması esasları ve Antalya civarı karstik bölgede yerüstü-yeraltı suyu ilişkilerinin tabii-izotoplarla araştırılması sonuçları. Ankara, TBTA, "VI. Bilim Kongresi 1977, Mühendislik Araştırma Grubu Tebliğleri", n.384/MAG-49, pp.1061-1078; Ankara, EİE, "EİE Bülteni", n.75-76, pp.51-64.
- YURTSEVER,Y.(1980): Environmental isotopes as a tool in hydrogeological investigations of southern karst regions of Turkey. Ankara, D.S.I., "International Seminar on Karst Hydrogeology, Oymapınar 1979, Proceedings", (ed.: G.Günay), pp.269-287.

|                                                   |          |              |            |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 161 - 168 | Bern, 1982 |
|---------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## DIE ERGEBNISSE EINES MARKIERUNGSVERSUCHES IM OESTLICHEN KOPAIS- BECKEN GRIECHENLAND

A. Dounas, C. Kallergis, A. Morfis, M. Pagounis, Athen

Institut of Geology and Mining Exploration (IGME), Athen

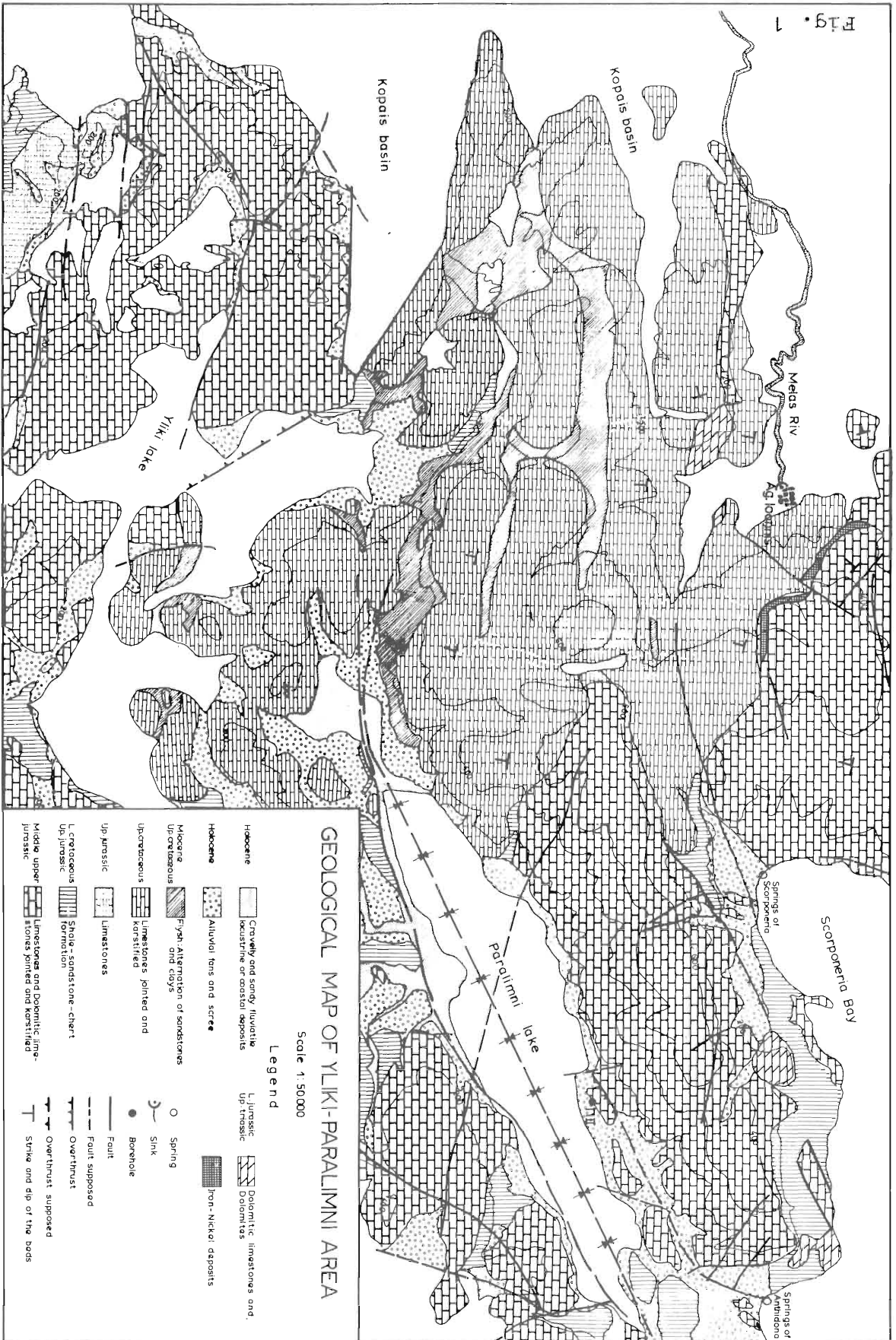
H. Zojer

Institut für Geothermie und Hydrogeologie, Forschungszentrum  
Graz/A

Abstract: In the Eastern part of the Kopais plain river is disappearing into the sinkhole of Agios Ioannis. A combined tracing experiment using potassium sulfate and uranine was carried out in order to follow up the underground water way. On the other hand some 6 kilometers in the East at the seashore there is situated a brackish spring. The experiment showed that a direct connection between these two points is existing. The mean residence time of the subsurface has been calculated with some 12 to 15 days. This reflects that karst groundwater in the vicinity of the Skorponeria bay cannot be used for drinking purposes.

### Einleitung

Etwa 100 km nordwestlich von Athen liegt in einer Höhe von ca. 90 m das Becken von Kopais (Fig. 1). Gegen Südosten ist die Oberfläche in Form von Poljentreppen abgestuft: Yliki bei etwa 50 m und Paralimni bei etwa 30 m. Die Entwässerung des Kopais-Poljes erfolgt heute durch einen künstlichen Stollen vom Südosten her in das Yliki-Becken, das zusammen mit dem Bereich von Paralimni als Speicher für die Wasserversorgung von Athen herangezogen wird.



Der östliche Teil des Kopais-Beckens wird durch den Fluss Melas entwässert, der bei Agios Ioannis Larimna in einer am Beckenrand gelegenen Katavothre verschwindet. An der etwa 6,3 km entfernten Küste treten im Osten die Quellen von Skorponeria als Brackwasserauftriebe aus. Damit war die Zielsetzung der hydrogeologischen Untersuchungen gegeben:

1. Die Abgrenzung des Einzugsgebietes der brackischen Quellen von Skorponeria, da diese Meeresbucht besiedelt werden soll und das an der Küste austretende Wasser weiter landeinwärts mit wesentlich geringerer Salinität erschotet werden könnte (ähnlich wie die Kalamos-Quellen weiter im Süden).
2. Die unterirdische Verfolgung des Melas-Flusses nach seiner Versickerung bei Agios Ioannis.
3. Der Nachweis etwaiger Verbindungen des Melas-Flusses zu tieferliegenden Karstsystemen, etwa zum Paralimni.

#### 1. Der geologische Aufbau

Das Untersuchungsgebiet gehört tektonisch zur subpelagonischen Zone. Seine Gesteine sind mächtige mesozoische Kalke, Dolomite und Schichten der Schieferhornsteinzone mit Ophioliten (Serpentinen). Zwischen dem Becken von Kopais und Paralimni, aber auch gegen den Yliki-See hin, kommen jüngere Formationen vor, wie neogene und quartäre Aufschwemmungen, Hangschutt und rezente Seeablagerungen (Fig. 1).

Altersmässig lassen sich die Formationen folgend untergliedern:

1. Trias: Kalke und Dolomite;
2. Jura und Unterkreide: stark verkarstete und gebrochene Kalke und der Serpentina-schiefer-Hornstein-Komplex;
3. Oberkreide: dickbankige und ungeschichtete Kalke, an deren Liegendem Transgressionskonglomerate und Eisen-Nickelerze vorkommen;
4. Oberkreide - Eozän: Flysch mit Tonschiefer und massigen Sandsteinen;

5. Neogen: am Untergrund des Kopais-Beckens bekannt, tritt oberflächlich nur im Küstengebiet östlich des Paralimni auf und besteht aus Mergeln, Mergelkalken, Tonen, Sandsteinen und Konglomeraten;
6. Quartär: verschiedenartig ausgebildet (See- und Torrentenablagerungen).

Der tektonische Bau ist sehr kompliziert. Er setzte mit der Alpidischen Orogenese ein, der die tertiär-quartäre Bruchtektonik mit ihren Vertikalbewegungen folgte. Dadurch wurde das Untersuchungsgebiet in eine Reihe verschiedener Bruchsysteme erlegt, die sich auch in ihrer unterirdischen Entwässerung wirksam zeigen. Ausserdem beeinflusst die Einschaltung meist wasserdichter Schiefer-Hornstein-Formationen und Flyschzüge zwischen den wasserdurchlässigen und verkarsteten Kalkschollen die Wasserwegigkeit der Gesteine.

Diese verschiedenen Einschaltungen beeinflussen die Grundwasserbewegung und bilden kleinere unabhängige oder nur schwach miteinander verbundene hydrogeologische Einheiten in verschiedenen Niveaus. Die höherliegenden Niveaus entwässern zu den tiefer liegenden mit dem nordeuböischen Golf als Basis. Dort treten einige Brackwasserquellen aus, wie die Quellen von Skorponeria und Athidona.

## 2. Voruntersuchungen

Die Quellen von Skorponeria schütten etwa 80 l/s; Schwankungen wurden nur in geringem Mass beobachtet. Die chemische Analyse vom 20. November 1979 aus dem Labor des IGME, Athen, brachte folgende Ergebnisse:

| Kationen         | mg/l  | meq/l | meq (%) |
|------------------|-------|-------|---------|
| Ca <sup>++</sup> | 156,0 | 7,80  | 22,1    |
| Mg <sup>++</sup> | 51,7  | 4,24  | 12,0    |
| Na <sup>+</sup>  | 523,0 | 22,74 | 64,5    |
| K <sup>+</sup>   | 19,6  | 0,50  | 1,4     |
| Total            | -     | 35,28 | 100,0   |

| Anionen                       | mg/l   | meq/l | meq (%) |
|-------------------------------|--------|-------|---------|
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 293,0  | 4,80  | 13,6    |
| Cl <sup>-</sup>               | 1000,0 | 28,17 | 80,0    |
| SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> | 103,0  | 2,15  | 6,1     |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 5,0    | 0,09  | 0,3     |
| Total                         | -      | 35,22 | 100,0   |

Daraus ist deutlich der Brackwassercharakter mit einem deutlichen Ueberhang des NaCl gegeben. Relativ gering mineralisiert ist das Kalium, was in Anbetracht des geplanten Markierungsversuches von Bedeutung ist.

Eine andere Brackwasserquelle liegt weiter im Süden bei Anthidona mit einer Schüttung von etwa 10 l/s.

### 3. Der Markierungsversuch

Die Auswahl der Tracer hing sowohl von den naturgegebenen Verhältnissen als auch von der Verfügbarkeit der Markierungsstoffe ab. Kochsalz konnte wegen der Meeresnähe nicht eingesetzt werden, Kaliumchlorid stand aus technischen Gründen nicht zur Verfügung. So wurden am 24. November 1979 1500 kg Kaliumsulfat und 25 kg Uranin in die Schwinde von Agios Ioannis in gelöster Form eingespeist. Die Abflussmenge in die Katavothre betrug ca. 50 l/s. Folgende Stellen wurden in die Beobachtung einbezogen:

1. zwei Austrittsstellen der Skoponeria Quellen,
2. Quelle von Anthidona;
3. eine Bohrung am Paralimni (Fig. 1).

Die Probennahme erfolgte zweimal täglich, einmal pro Tag wurden die Aktivkohlesäckchen gewechselt.

### 4. Ergebnisse und Interpretation

Von den eingesetzten Tracern konnte lediglich das Kalium und das Uranin im Labor nachgewiesen werden, nicht aber das Sulfat wegen des hohen Hintergrundes im Meerwasser. Da im Labor des IGME nur

ein Photometer zur Konzentrationsbestimmung des Farbtracers zur Verfügung stand, musste die Eingabe überdosiert werden. Dadurch konnte trotzdem eine Durchgangskurve erwartet werden.

Durchwegs negative Ergebnisse brachten die Analysen bei der Bohrung von Paralimni und bei der Quelle von Anthidona.

Einen klaren Tracerausgang brachte die Beobachtung der Skorponeria Quellen. Der Kalium-Peak wurde am 6. Dezember - 12 Tage nach der Einspeisung - mit etwa 250 mg/l erreicht (Fig. 2), das ist mehr als das 10-fache des natürlichen Hintergrundes. Beachtlich sind die grossen Schwankungen, die wohl mit der Ebbe und Flut zusammenhängen, wobei bei Flut die Tracerausbringung durch den vermehrten Einfluss des Meerwassers verfälscht wird. Auch der Uranindurchgang ist bei den beiden Skorponeria-Austritten eindeutig vorhanden (Fig. 2). Die Spitze tritt etwa einen Tag vor dem Kalium-Peak auf; sie ist auch innerhalb des Quellhorizontes zeitlich etwas verschoben.

Allerdings konnten wegen der mangelnden Laborausrüstung lediglich die Aktivkohleprobe ausgewertet werden. Der tägliche Entnahmerhythmus brachte daher keine Schwankungen wie beim Kaliumdurchgang mit sich.

Was die Tracerausbringung betrifft, war eine annähernde Berechnung nur für das Kalium möglich. Von diesem Markierungsstoff traten bis zum 12. Dezember 1979 etwa 60 % (= 450 kg) der eingegebenen Menge wieder aus, allerdings muss das Meerwasser als Unsicherheitsfaktor bei der Tracermengenberechnung in Betracht gezogen werden.

Mit dem Ergebnis des Markierungsversuches konnten mehrere Fragen bezüglich der Zielsetzung der Untersuchung beantwortet werden:

- Es besteht eine direkte Verbindung zwischen dem bei Agios Ioannis entswindenden Melas-Fluss und dem Quellhorizont von Skorponeria. Die mittlere Fliessgeschwindigkeit dürfte etwa bei 500 m/Tag liegen. Die Wasserwegigkeit des in Jura- und Kreidekalken gelegenen Aquifers ist gegen Süden durch die Einschaltung von Hornblendehorizonten und Flyschstreifen gehemmt. Damit lässt sich auch erklären, warum der Karstwasserkörper

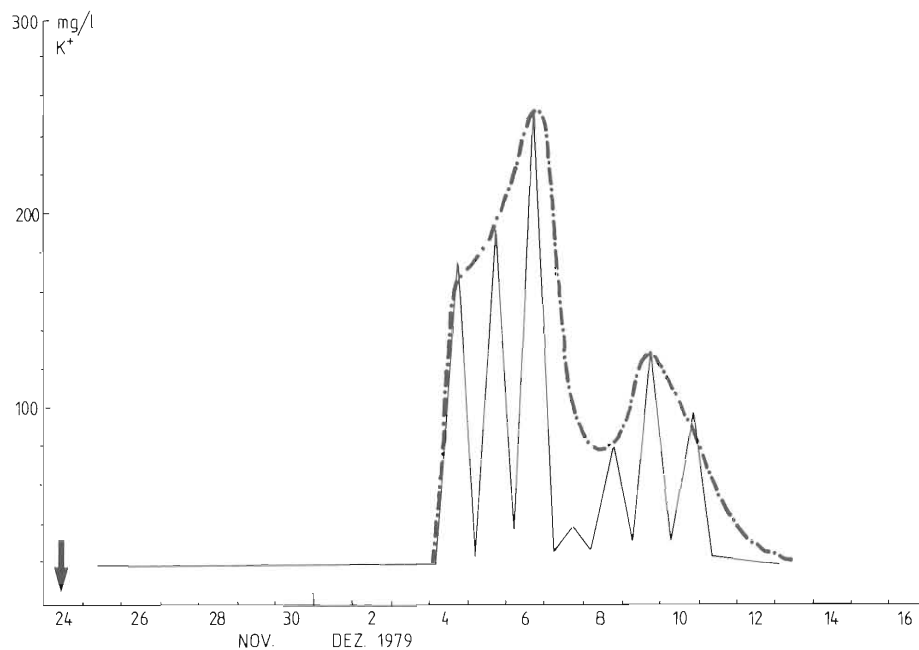


Fig. 2: Der Kaliumdurchgang bei der Probeentnahmestelle Skorponeria B.

The time-concentration curve of potassium at the sampling point Scorponeria B.

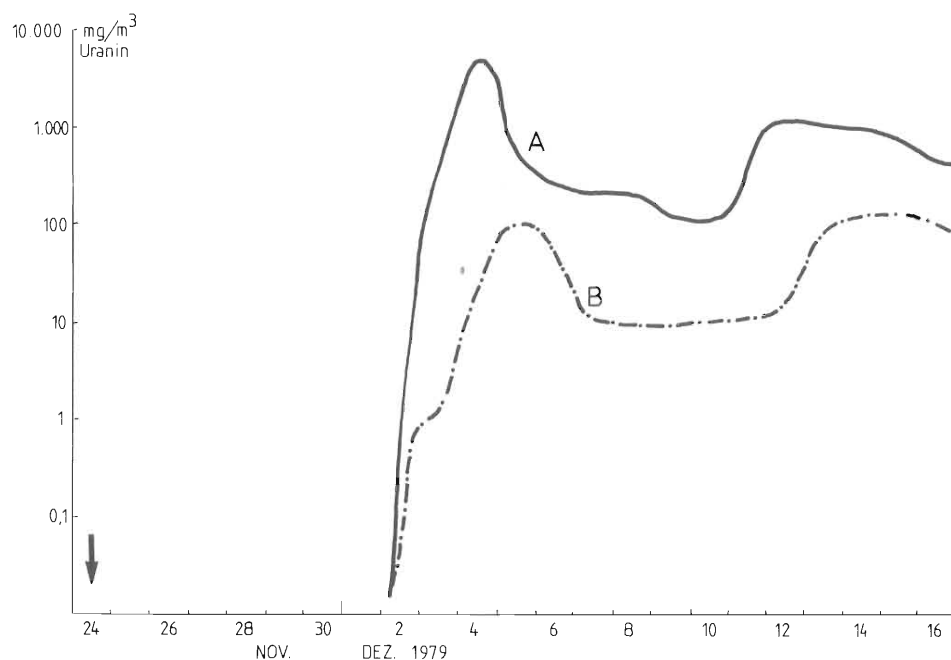


Fig. 3: Der Uranindurchgang aus den Kohleeluaten bei den Probeentnahmestellen Skorponeria A und B.

The time-concentration curve of uranine from charcoal indicators at the sampling points Skorponeria A and B.

von Paralimni und Anthidona nicht vom Melos-Fluss angereichert wird.

- Die Quellen von Skorponeria sind nicht allein wegen ihrer hohen Salinität für Trinkwasserzwecke nicht geeignet, sondern auch, weil sie in hohem Masse der Verschmutzung von der Oberfläche her ausgesetzt sind. Es ist auch nicht zu erwarten, dass sich diese Situation landeinwärts ändert. Eine Trinkwasserversorgung dieses Bereiches ist daher in erster Linie aus dem Gebiet von Paralimni möglich.

## TRACERHYDROLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM KARST VON SLOWENIEN (NW JUGOSLAWIEN)

---

Peter Habič, Rado Gospodarič, Postojna

Institut za raziskovanje krasa, SAZU, Postojna/YU

Abstract: For High Dinaric and Alpine karst the vertical drainage of karst water to the different springs is significant. Because of dominant vertical runoff some hydrologic properties of this karst were developed. Vertical water sinking has been traced 1 - in 70 m thick roof of Planina Cave on Postojna Karst, where an interesting intermingling of vertical trickles in the vadose zone was stated; 2 - in Čepovan brook on Banjšice High karst plateau, where divergently flow off through the vadose and phreatic zone to three opposite directions occurs.

### EINFÜHRUNG

Bei den modernen kombinierten Markierungsverfahren sind die qualitativen und quantitativen Differenzen zwischen den versickernden und den wieder zu Tage tretenden Gewässern die häufigsten Probleme, die es zu lösen gilt. Diese Probleme werden über die quantitative Auswertung von Markierversuchen und über Isotopenanalysen geklärt. Man versucht auch, mit Modellen über die Abflusssysteme in der vadosen und phreatischen Zone die natürlichen Verhältnisse im Karst besser zu verstehen. Für die Erklärung karsthydrologischer Verhältnisse werden auch speläologische Daten sowie die Ergebnisse verschiedener Bohrungen und

Pumpversuche verwendet.

Diese Forschungen führen zur Ansicht, dass im Karst zumeist kombinierte Abflusssysteme vorhanden sind. So sind auch im Hochkarst NW-Jugoslawiens die Abflusssysteme sehr verschieden und miteinander verflochten, was im folgenden an zwei typischen Beispielen gezeigt wird.

Zahlreiche Markierversuche in den Karstpolje-Bereichen am Rande des Hochkarstes haben bisher Zusammenhänge zwischen Ponoren und Quellen aufgezeigt. Nicht zuletzt haben auch der kombinierte Markierversuch im Jahre 1975 und die diesbezüglichen Diskussionen anlässlich des 3. SUWT-Symposiums in Bled 1976 die Verflechtung der unterirdischen Flüsse zwischen den Ponoren und den Quellen der Karstpoljen erneut bezeugt und bestätigt (GOSPODARIČ R., HABIČ P., 1976). Die Frage der Sickerwässer, welche die unterirdischen Flüsse von der Karstoberfläche her erreichen, ist damals nur beschränkt behandelt worden.

#### VERTIKALE VERSICKERUNG IN DER VADOSEN ZONE

In der Planinska jama wurde die vertikale Versickerung im Bereich Oberfläche - Decke - Höhle während dreier Jahre näher untersucht. Die Untersuchung befasste sich mit der Schüttung und dem Chemismus der Niederschläge und der Höhlenstrahlgewässer (Abb. 1). Der Versickerungsvorgang wurde mit zwei zeitlich verschieden durchgeführten Markierversuchen verfolgt. Der erste Versuch fand zur Zeit trockener Verhältnisse statt, wobei in die entsprechende Doline oberhalb der Höhle  $14 \text{ m}^3$  Wasser mit darin gelöstem Uranin eingespeist wurden. Der zweite Versuch erfolgte mit Uranin- und Rhodaminlösungen unter natürlichen Bedingungen bei Regen. Es sind in der Planinska jama drei Gruppen von Wasserstrahlen festgestellt worden:

- 1) Strahlen mit Schüttungen bis  $10 \text{ m}^3$  pro Jahr,  $Q_{\min} : Q_{\max}$  bis 1 : 10;
- 2) Strahlen mit Schüttungen von  $10 - 300 \text{ m}^3$  pro Jahr,  $Q_{\min} : Q_{\max}$  1 : 100;
- 3) Strahlen mit Schüttungen von rund  $1000 \text{ m}^3$  pro Jahr,  $Q_{\min} : Q_{\max}$  1 : 1000 und mehr.

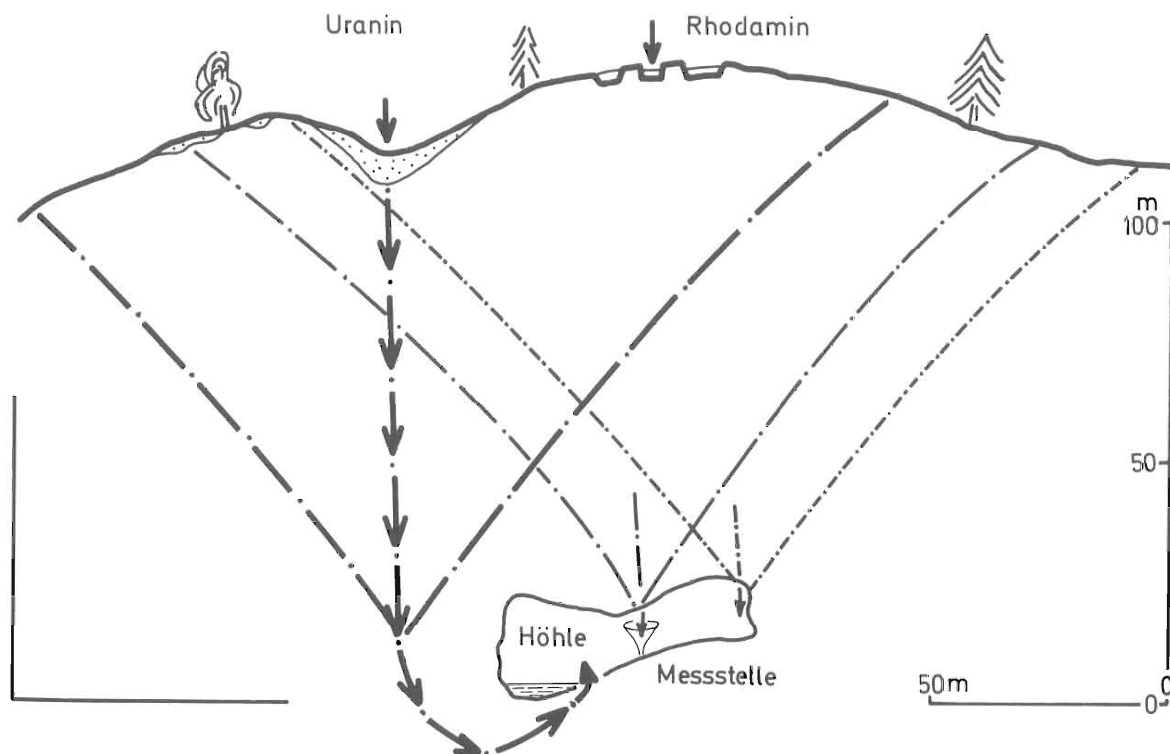


Abb. 1: Die Höhle Planinska jama; auf Grund von Markierungsversuchen und anderer hydrologischer Beobachtungen vermutete trichterförmige Sammelbereiche von kontrollierten Wasserstrahlen. Zu beachten ist der dominante, durch Markierung bewiesene Wasserweg Doline - Höhenquelle.

Die Schüttungen sind von den Klimaverhältnissen, insbesondere von den Niederschlägen und der jeweiligen Feuchte der Versickerungszone stark abhängig. Bei hoher Bodenfeuchte reagiert der Hauptstrahl in der Höhle bei 5 mm Regen schon nach einer Stunde, bei geringer Bodenfeuchte erst bei 70 mm Regen nach sechs Stunden. Die grössten Schüttungsänderungen erfolgen bei starken Niederschlägen. Unter solchen Bedingungen sind auch die Mengen der mitgebrachten Karbonate und Suspensionen im Strahlwasser beträchtlich: eine zweitägige Strahlwasserwelle brachte 7 kg chemisch gelöste und 6 kg mechanisch zersetzte Substanzen in die Höhle. Die Untersuchungen zeigen, dass die Strahlen trichterförmige Sammelbereiche haben und dass die Fliessgeschwindigkeiten sehr variieren (0.5 bis 1.5 cm/s bei 70 m mächtiger Höhlendecke). Die Sickerwege sind nicht immer miteinander verbunden; oft bilden sie selbständige, hydrographisch verschieden wegsame und

wirksame Kanäle. Mittels Markierung wurde festgestellt, dass die versickernden Wässer die Höhle durch die Decke und die Höhlenwände erreichen und dass sie auch unter dem Höhlenflussbett unfassbar fließen. Diese letzte Erscheinung gilt es besonders zu beachten: erstens, weil sie die Verkarstung unter dem Höhlenflussbett anzeigt und zweitens, weil eventuell auftretende katastrophale Hochwässer das unfassbare Karstinnere durch die favorisierten Spalten recht schnell erreichen können.

Es ist anzunehmen, dass in den vadosen Zonen des Hochkarstes

- dominante, tektonisch gebundene Wasserwege und
- weniger durchlässige Klüfte und Schichtflächen mit geringen Versickerungsmöglichkeiten bestehen.

Eine ergiebige Infiltration in die nasse vadoso Zone spiegelt sich im Höhlenniveau mit vielen Wasserstrahlen wieder, eine geringere oder regulierte Infiltration in die trockene vadoso Zone reflektiert sich unterirdisch in den Wasseraustritten entlang der dominanten, mehr oder weniger steilen, tiefen und isolierten Kanälen.

#### ABFLUSSSYSTEM IM HOCHKARSTPLATEAU

Neue Angaben über die Hydrologie des Hochkarstes hat der Markierversuch auf der Banjška planota (Banjšice Hochebene) ergeben. Die Banjšice Hochebene liegt auf 600 - 1300 m ü.M. im westlichen, von den Flüssen Soča und Idrijca umrahmten Teil des Trnovski gozd (Ternowaner Wald). Hier sind mehrere 200 - 300 m tiefe Schächte, aber keine längeren Höhlen bekannt (HABIČ P., 1975). Dieser Hochkarst mit Jura- und Kreidekalken ist von drei Seiten von Dolomit und Flysch umgeben. Undurchlässige Gesteine befinden sich nach PLACER L. und ČAR J. (1974) auch im Autochthon unter dieser sogenannten Trnovo-Decke (Abb. 2).

Der Hauptteil der Niederschläge (rund 2000 mm jährlich) durchfließt die vadoso Zone und speist die phreatische Zone, deren Wasser im Süden in der Quelle im Soča-Flusscanyon auf 60 m ü.M. zu Tage tritt. Ein kleiner Teil kommt auch am Fusse des Nord- und Westrandes des Plateaus zum Vorschein. Dies hat ein Markierversuch im Jahre 1980 bewiesen: Ein Sickerfluss bei Čepovan (600 m ü.M.,  $Q = 10 \text{ l/s}$ ) wurde mit 20 kg Uranin markiert.

# HYDROGEOLOGISCHE QUERPROFILE SOČA ← ČEPOVAN → IDRICA nach geol. Karten Tolmin und Gorica 1:100.000 und M.-versuch 1980 modifiziert von R. Gospodarić und P. Habić 1981 Höhe: Länge = 2:1, SS-Einfließen verfälscht

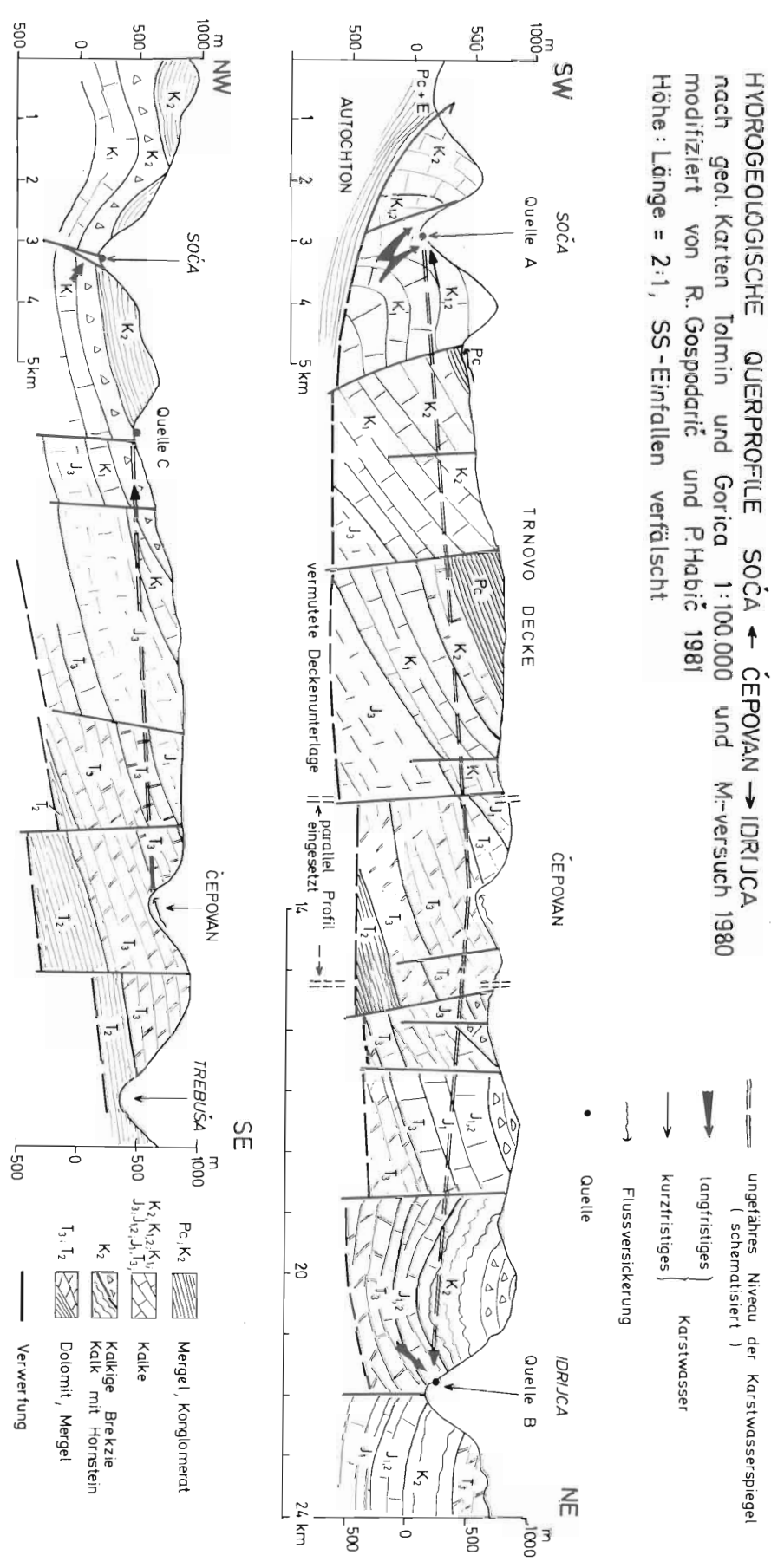


Abb. 2: Hydrogeologische Querprofile der Trnovo-Decke im Hochkarst

Die Beobachtungszeit erstreckte sich über drei Monate. In drei 7 bis 13 km von der Schwinde entfernten Quellen wurden stark verdünnte und ausgedehnte Tracerwellen und nur 25 % des Tracer-inputs beobachtet. Die jährlichen Schüttungskurven, die Temperaturen und die Gesamthärten sind relativ konstant. Es handelt sich um ein langsames Abflusssystem, welches einen tiefen Karst charakterisiert. Von starkem Regen und von der Schneeschmelze beeinflusst, entwässert sich der Hochkarst in drei Richtungen entlang bevorzugter Kanäle. Es ist hier mit grösseren Verweilzeiten und Retentionen zu rechnen.

Die unterschiedlichen und verschieden gerichteten Abflussverhältnisse der Hochkarstebene haben die bisherige Ansicht, dass in solchen Gebieten jede Quelle ihr Einzugsgebiet besitzt (HABIČ P., GOSPODARIČ R., 1972), verändert. Auch im Dinarischen Hochkarst sind hydrologische Systeme mit mehreren, gleichzeitigen Abflussrichtungen vorhanden. Aehnliche Verhältnisse sind in alpinen Bereichen schon seit längerer Zeit bekannt (MAURIN V., ZÖTL J., 1959; ZÖTL J., 1974).

Damit scheint sich das Ergebnis eines Markierversuches im Idrija Gebiet aus dem Jahre 1975 zu bestätigen (HÖTZL H., MAURIN V., ZÖTL J., 1976). Bei diesem Versuch wurde festgestellt, dass ein Bach gleichzeitig zu den Quellen beidseits der orographischen Wasserscheide Schwarzes Meer - Mittelmeer abfließt.

#### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Günstige speläologische und hydrogeologische Verhältnisse in der Höhle Planinska jama bei Postojna ermöglichen, Versickerungsmechanismen in der vadosen Zone zu studieren. Theoretisch wertvoll scheint die Erkenntnis zu sein, dass sich die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Sickerwassers und die Sickervorgänge in der vadosen Zone recht gut dem Niederschlagsregime anpassen und sich mit ihm verändern. Auch die vadosen Zone besteht aus dominanten Drainagewegen und wenig durchlässigen Blöcken; beide zeigen eigene hydrologische Eigenschaften. Die gefundenen Sickergeschwindigkeiten und Wasserstrahleinzugsbereiche sind bei den Pollutionsproblemen an der Karstoberfläche zu beachten. Die teilweise schon publizierten Untersuchungsergebnisse (KOGOVŠEK J., HABIČ P., 1981) sind ohne weiteres auch für Karstregionen

mit ähnlichem geologischen und morphologischen Bau verwendbar. Im Dinarischen Hochkarst ist mit räumlich zusammengesetzten Abflusssystemen, deren Wirkung sowohl durch den geologischen und morphologischen Bau als auch durch das Niederschlagsregime bedingt ist, zu rechnen. Beim untersuchten Banjšice Hochkarstplateau ist das obere, seichtere Abflusssystem direkt von den Niederschlägen abhängig, während das untere, tiefere System von den versickernden Niederschlägen erneuert wird. Dieses Wasser wird während längerer Zeit in verschiedenen Quellen herausgepresst. Das Auseinanderfließen der Karstwässer scheint eine typische, doch noch nicht genug erforschte hydrogeologische Erscheinung der Hochkarstplateaus zu sein.

#### DANK

Für die Durchführung der Fluoreszenzanalysen der Wasserproben aus der Planinska jama und dem Banjšica-Gebiet sprechen wir der Hydrometeorologischen Anstalt in Ljubljana unter der Leitung der Dipl.Ing. Martina Zupan unseren besten Dank aus.

#### LITERATUR

- MAURIN V., ZÖTL J. (1959): Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. Steir. Beiträge zur Hydrogeologie, Jg. 1959, 184, Graz
- HABIČ P., GOSPODARIČ R. (1972): Die hydrologische Problematik und die Erkundung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer im Karst der NW Dinariden. Geol.Jb., C2, 213-226, Hannover
- PLACER L., ČAR J. (1974): Problem podzemeljske razvodnice Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote (The hydrological problematics of the High Karst between Idrijca and Vipava Rivers - Trnovski Gozd, Križna gora and the Plateau of Črni vrh). Acta carsologica SAZU, 6, 79-93, Ljubljana
- ZÖTL J. (1974): Karsthydrogeologie. Springer, 291, Wien-New York
- HABIČ P. (1975): Razlike med alpskim in dinarskim krasom (Differences between the Alpine and the Dinaric Karst). Naše jame, 17, 77-84, Ljubljana
- GOSPODARIČ R., HABIČ P. (1976): Underground Water Tracing. Investigations in Slovenia 1972-1975. Institute Karst Research, 312, Postojna
- HÖTZL H., MAURIN V., ZÖTL J. (1976): Results of the injection of Lycopodium spores. In Underground Water Tracing, Investigations in Slovenia 1972-1975. Institute Karst Research, 167-183, Ljubljana
- KOGOVŠEK J., HABIČ P. (1981): Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame (The study of vertical percolation in the Case of Postojna and Planina Caves). Acta carsologica SAZU, 9(1980), 128-148, Ljubljana.



|                                                    |          |              |            |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BETTRAEGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 177 - 189 | Bern, 1982 |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

GROUNDWATER BASIN DELINEATION WITH DYE-TRACING, POTENTIOMETRIC  
SURFACE MAPPING, AND CAVE MAPPING, MAMMOTH CAVE REGION,  
KENTUCKY, U.S.A.

James F. Quinlan

National Park Service, Box 8, Mammoth Cave, Ky. 42259, U.S.A.

Abstract: Twenty-eight groundwater basins have been delineated in a 2800 km<sup>2</sup> area of gently-dipping (15 m/km) limestone. Boundaries and flow routes are inferred from more than 400 dye tests, 1500 water-level measurements, and 80 km of cave mapping outside of Mammoth Cave National Park. Flow in the headwaters and midreaches of groundwater basins is through a system of dendritic and trellised conduits up to 15 m wide, but distributary flow is characteristic of the lower reaches of most large basins. The largest basin, 740 km<sup>2</sup>, has a distributary 11 km wide which discharges at 52 springs at 19 locations along a 19 km reach of Green River.

INTRODUCTION: No other karst area in America has been as intensively studied by dye tracing, cave mapping and potentiometric surface mapping as the Mammoth Cave Region! This area, also known as the Central Kentucky Karst, is about 4100 km<sup>2</sup> and is shown in Fig. 1. Its boundaries are arbitrarily drawn at major surface streams, chiefly the Barren, Green, Nolin, and Little Barren Rivers and Bacon and Beaver Creeks. Dye-tracing results, groundwater basin boundaries, and the potentiometric surface of the Principal Aquifer are shown in Fig. 2. More than 575 km of cave passage have been mapped, as shown in Fig. 3. A 40 x 56 cm, 4-color map that includes the

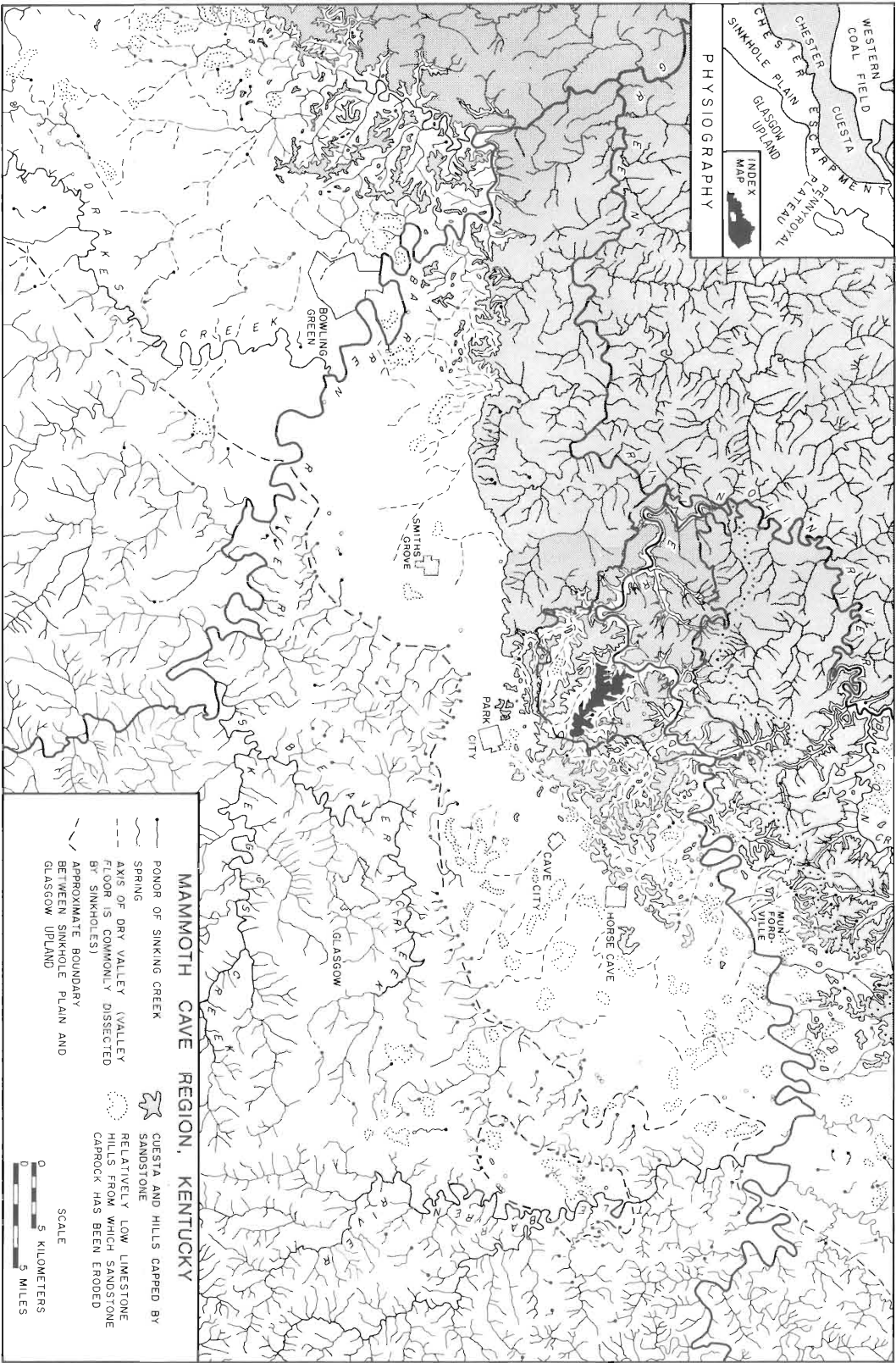


Fig. 1 Landforms, surface drainage, and physiographic divisions of the Mammoth Cave Region, Kentucky. Mammoth Cave Ridge is shown in black.

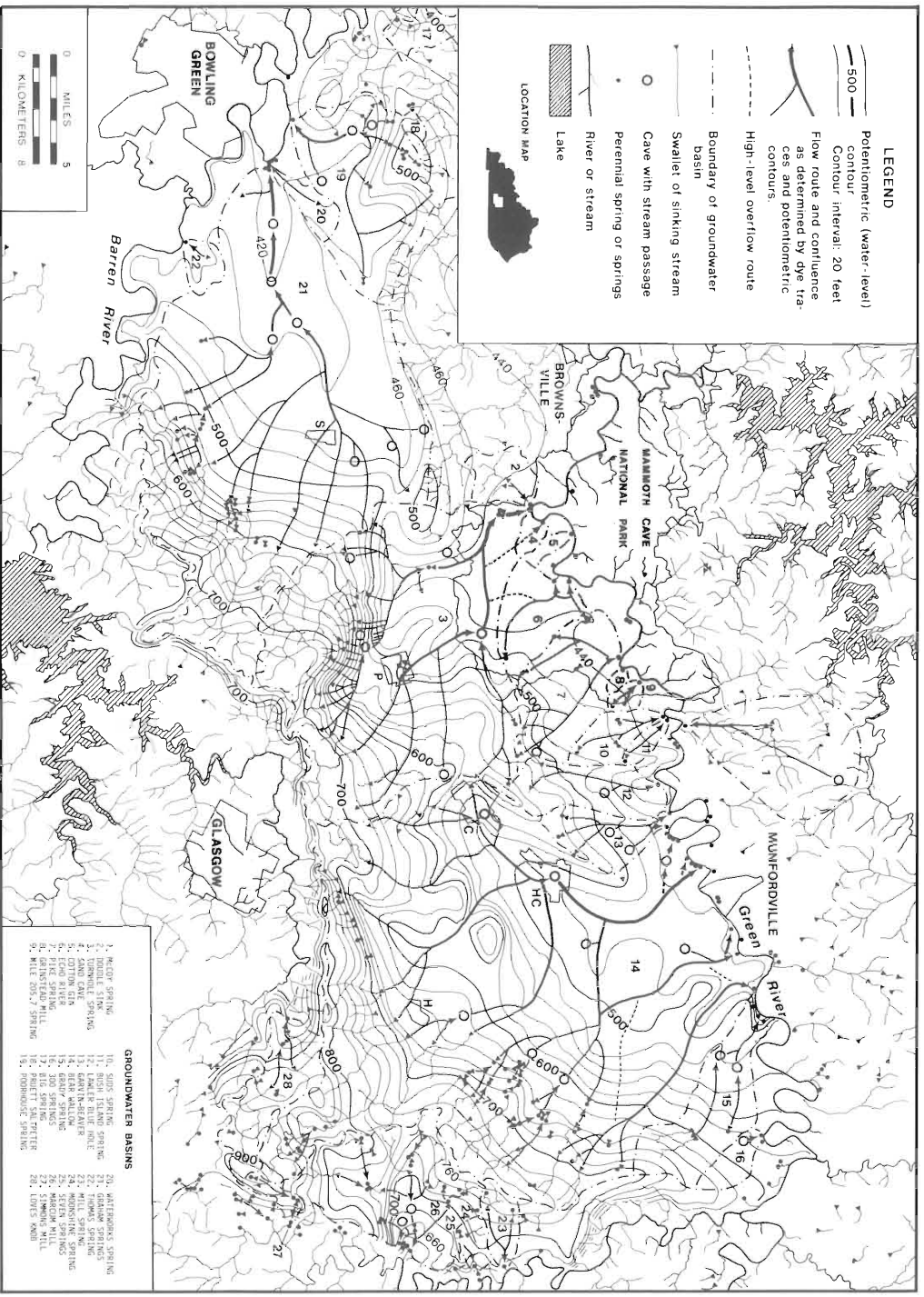


Fig. 2 Groundwater basins, potentiometric surface, subsurface flow routes, and surface drainage in the Mammoth Cave Region, Kentucky. The towns of Smiths Grove, Park City, Cave City, Horse Cave, and Hiseville are identified by the letters, S, P, C, HC, and H, respectively. (After Quinlan and Ewers, 1981.)

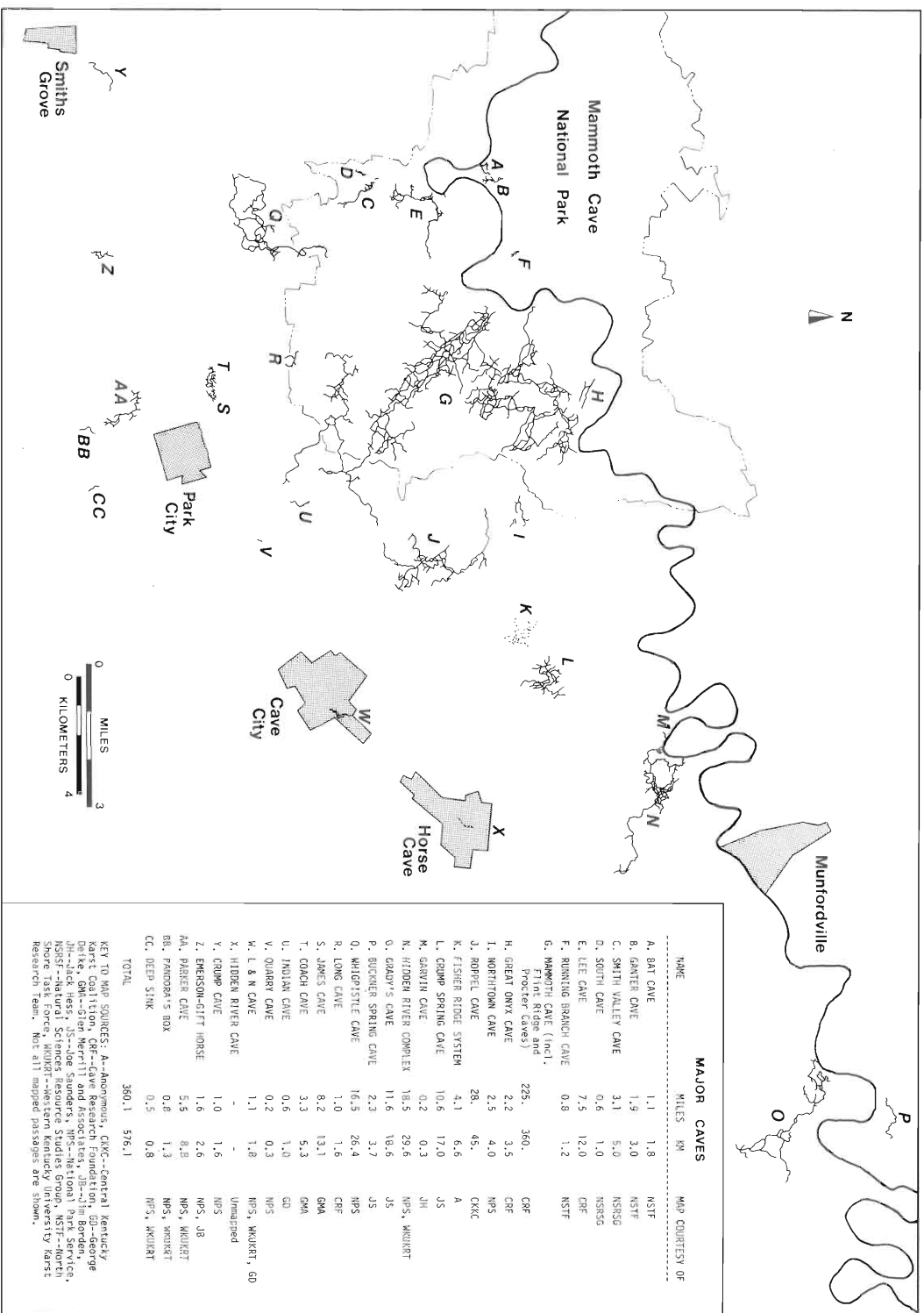


Fig. 3 Caves in part of the Mammoth Cave Region. More than 575 km of passage have been mapped but only about 520 km are shown. (After Quinlan and Ewers, 1981a.)

content of Figs. 2, 3, and 4 has been published by QUINLAN and RAY (1981).\*

The most complete reviews of the hydrology and geomorphology of the Mammoth Cave Region and the literature thereof are by WHITE and others (1970), QUINLAN (1970), and MIOTKE (1975), but many of their hydrologic interpretations are out of date. The most current descriptions of the regional hydrology have been written by QUINLAN and ROWE (1977), QUINLAN and EWERS (1981a), and EWERS and QUINLAN (1981). The geology of Mammoth Cave has been described by PALMER (1981).

The region is in the southeast corner of the Illinois Basin; its structure is discussed by QUINLAN and EWERS (1981a, Fig. 4). Strike ranges from west to north and dip ranges from 8 to 60 m/km and averages about 11 m/km. Several east-trending monoclines are related to probable en echelon faults in the subsurface. Structure and stratigraphy has greatly influenced the width of the Sinkhole Plain and the development of groundwater basins (QUINLAN and EWERS, 1981b).

The karst is developed in the Mississippian age Girkin, Ste. Genevieve, and St. Louis Limestones, 50, 30, and 65 m thick. Limestone outcrops are rare; the terrain is a subsoil karst. The Principal Aquifer consists of chiefly the St. Louis and overlying Ste. Genevieve Limestones. Its groundwater is perched on shales and siltstones near the top of the lower half of the St. Louis and at its contact with the underlying Salem-Warsaw.

The highest recharge area is the Glasgow Upland (Fig. 1). Water flows north and west from swamps and upland areas there to small perennial and ephemeral springs which feed streams that sink at swallets along its margin with the Sinkhole Plain. Water from swallets flows to low-order cave streams which join intermediate-order tributaries and then finally a high-order trunk stream that discharges at a major spring along the Barren, Green, or Little Barren Rivers. The cave streams beneath the

---

\*This 4-color map is available from: Friends of the Karst, Box 8, Mammoth Cave, Kentucky 42259, U.S.A., either for \$3.00 or in exchange for karst-related publications.

Sinkhole Plain are also fed by runoff into sinkholes and by direct infiltration. The cave streams beneath the Chester Cuesta may be fed not only by those draining the Sinkhole Plain, but also by runoff from ridgetops, base flow from the drains of vertical shafts, infiltration from karst valleys, and by spring discharge from a perched limestone aquifer immediately above the Big Clifty Limestone.

Water from numerous sinking streams has been traced as much as 27 km via streams in as many as 3 different caves, 3 karst windows, or a series of caves and windows, as shown in Fig. 4. Most flow is through a dendritic system of tributary conduits that feed trunk streams that are commonly as much as 15 m wide and in which water levels may rise as much as 30 m in response to heavy rains. Flow velocities range from 10 to 400 m/hr. Seventeen of the 19 larger groundwater basins are also characterized by discharge from springs fed by caves with a distributary flow pattern that is 50 m to as much as 11 km wide. The nine other basins without a distributary are relatively small.

SIGNIFICANT RESULTS: The following are our most significant results (in no particular order of rank):

- 1) Delineation of 28 groundwater basins and 7 sub-basins (QUINLAN and RAY, 1981; QUINLAN and EWERS, 1981a).
- 2) Demonstration of flow in dendritic, trellised, and distributary networks -- and mapping of same (Fig. 7).
- 3) Prediction of distributary flow (from interpretation of heavy metal, optical brightener, and conductivity anomalies; QUINLAN and ROWE, 1977) and understanding of same by mapping of more than 29 km of passage.
- 4) Discovery of the suitability of Direct Yellow #96 for dye tracing (QUINLAN, 1976).
- 5) Mapping of the potentiometric surface south of Green River (1700 data points in an 8000 km<sup>2</sup> area). This map (Fig. 2 and QUINLAN and RAY, 1981) has enabled us to efficiently select dye-input points, verify groundwater basin boundaries, and predict flow directions.

METHODS OF STUDY: Dye Tracing: More than 400 qualitative dye tests were run from 1975-81. The following tracers have been used: 1) Fluorescein (Colour Index generic name: Acid Yellow #73), 2) Rhodamine WT (Both dyes are recovered on activated charcoal, eluted with a Smart solution of 43% 1-propanol, 38% NH<sub>4</sub>OH, and 19% H<sub>2</sub>O and examined visually.), 3) optical bright-

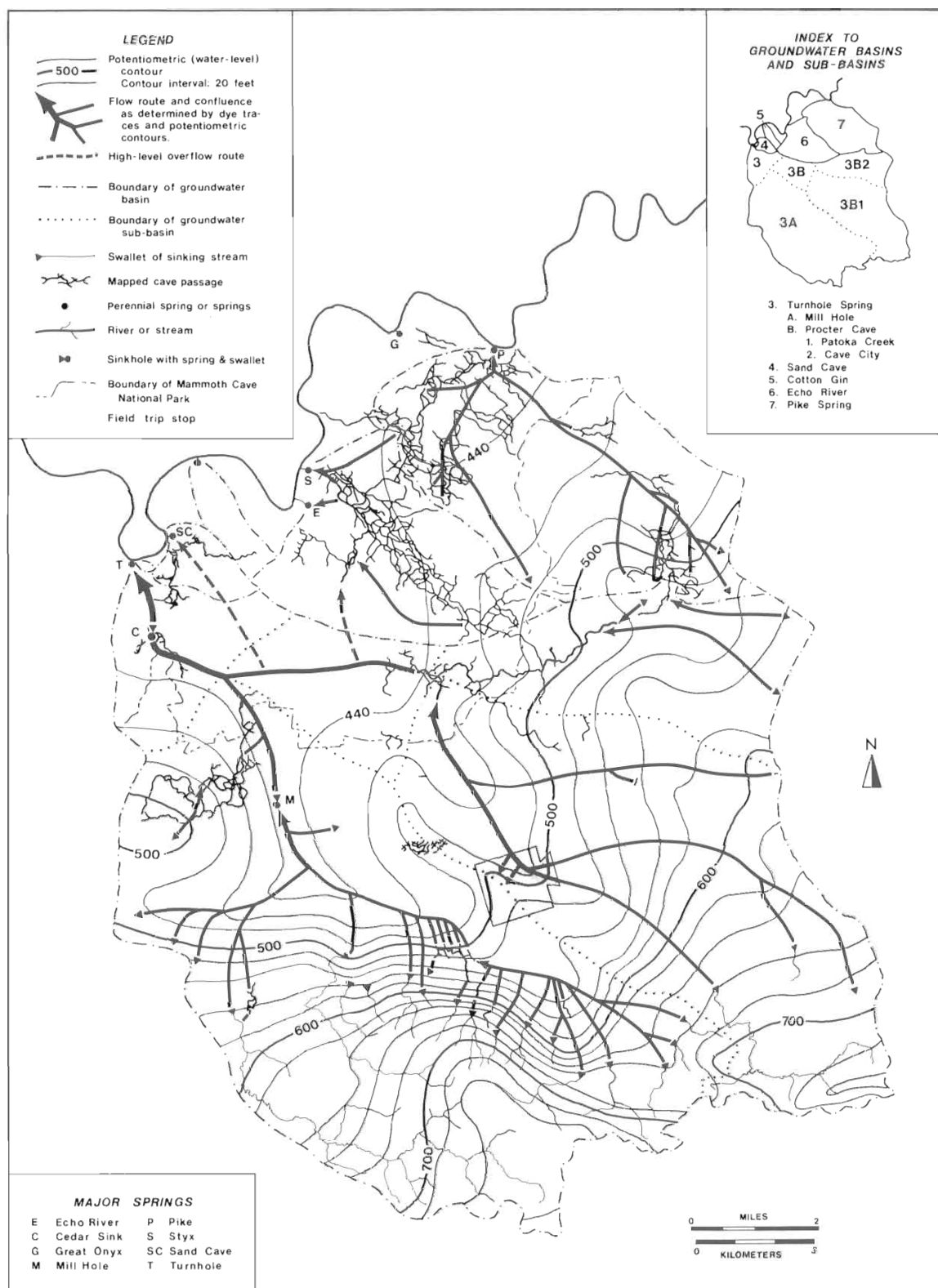


Fig. 4 Hydrogeology of the Turnhole Spring groundwater basin, showing flow routes, potentiometric surface, caves, springs, and basin and sub-basin boundaries. Park City is shown in grey. Caves are identified in Fig. 3. Mammoth Cave is in basins 3B, 3B1, 3B2, 6, and 7; it takes high-level overflow from basins 3B and 3B2.

ener -- both Calcofluor White ST Solution (C. I. Fluorescent Brightener #28, made by American Cyanamid Co.) and Tinopal CBS-X (C. I. Fluorescent Brightener #351, made by Ciba-Geigy Corp.), and 4) Diphenyl Brilliant Flavine 7GFF (C. I. Direct Yellow #96, made by Ciba-Geigy Corp.; described by QUINLAN, 1976). Optical brightener and Direct Yellow #96 are recovered on 5 x 5 x 10 cm pieces of surgical cotton and examined with long-wave ultra-violet light. Nomenclature for these and other water-tracing dyes has been discussed by QUINLAN and SMART (1976).

Visual detectability of fluorescein is greatly enhanced by sending a focused beam of light -- either sunlight or incandescent light from a high-intensity microscope lamp -- through the elutant. Concentrations as low as 1 ppb can be detected with this method.

The evolution of our knowledge of flow routes in just one of many groundwater basins studied is shown in Fig. 5.

It is natural to ask why the dye traces were run qualitatively rather than quantitatively. There are three reasons: 1) For many traces, it was theoretically possible for dye to have come out at any of as many as 20 different springs, 2) The cost of automatic samplers and/or labor for sampling at so many springs was prohibitively high, and 3) There was a great need for as much data as possible on the influence on Mammoth Cave National Park of waste disposal practices in the industrial, urban, and agricultural region adjacent to the Park. Qualitative tracing was the most efficient and productive way to get the maximum amount of information required in the shortest time. The 400+ traces were run seasonally over a 6-year period with the aid of only one full-time assistant. After the groundwater basins had been roughly delineated, as many as 9 tests have been underway in various basins at the same time. Automatic samplers have been purchased, however, and quantitative traces will be run in the various distributary systems.

Mapping of the Potentiometric Surface: An electric tape was used to measure water levels in more than 1500 wells in a 2800 km<sup>2</sup> area south of Green River. Measurements were made during base-flow conditions over a 4.5 year period. Two

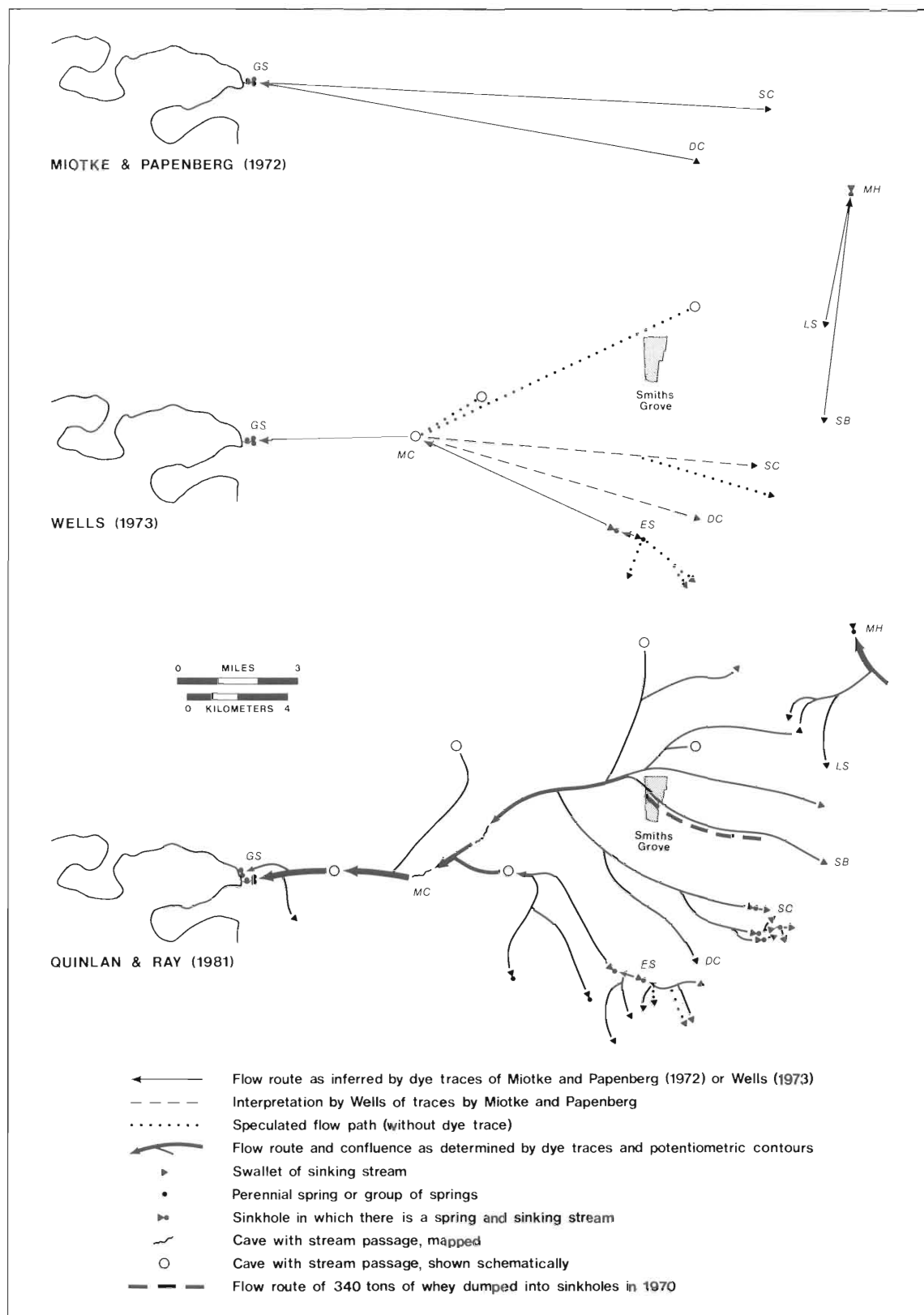


Fig. 5 Evolution of knowledge of flow routes in the Graham Springs groundwater basin. DC -- Doty Creek, ES -- Elk Spring, GS -- Graham Springs, LS -- Little Sinking Creek, MC -- Mill Cave, MH -- Mill Hole, SB -- Sinking Branch, SC -- Sinking Creek.

hundred reported water levels were also used. The results of this project are summarized in Fig. 2 by QUINLAN and RAY (1981). Fig. 6 shows the nature and density of the control points used for contouring. Potentiometric surface mapping and dye-tracing is being continued in the region north of Green River.

The curvilinear flow paths shown in Figs. 2, 4, and 5 were drawn by linking dye-input points and dye-recovery points by lines perpendicular to the potentiometric contours and via the cave rivers, springs, and streams between them. Some of the flow routes, however, could not be drawn perpendicularly but these are rare, local exceptions. The location of a junction on a flow line, unless it is a cave stream or a stream at the bottom of a sinkhole, is conjectural but interpreted from the potentiometric contours. These junctions exist but their location and configuration are unknown.

A significant trough on the surface of a potentiometric map (Figs. 2 and 4) is most readily interpreted to be a locus of maximum flow of groundwater. Four of the larger troughs in Fig. 2 are coincident with large caves that include major underground rivers: 1) between Smiths Grove and Barren River, 2) beneath Park City, 3) 5 km west of Park City, and 4) north-east of Cave City and Horse Cave. Conversely, the location of no major cave river is inconsistent with potentiometric data!

Cave Mapping: Cave mapping has given a unique understanding of the plumbing system in the upper part of the Principal Aquifer -- and how it functions during various flow conditions (Fig. 7). It has also enhanced our understanding of how groundwater basin boundaries can shift during various flow conditions.

I have directed the mapping of approximately 50 km of cave passage beneath the Sinkhole Plain and 30 km beneath the Chester Cuesta. Most mapping has been done by 4-person teams using a hand-held Suunto compass and fiberglass tape. Back-sights were always taken and loop closures of 0.15% have been common.

Instrumentation: Magnetic-induction cave radio has been used

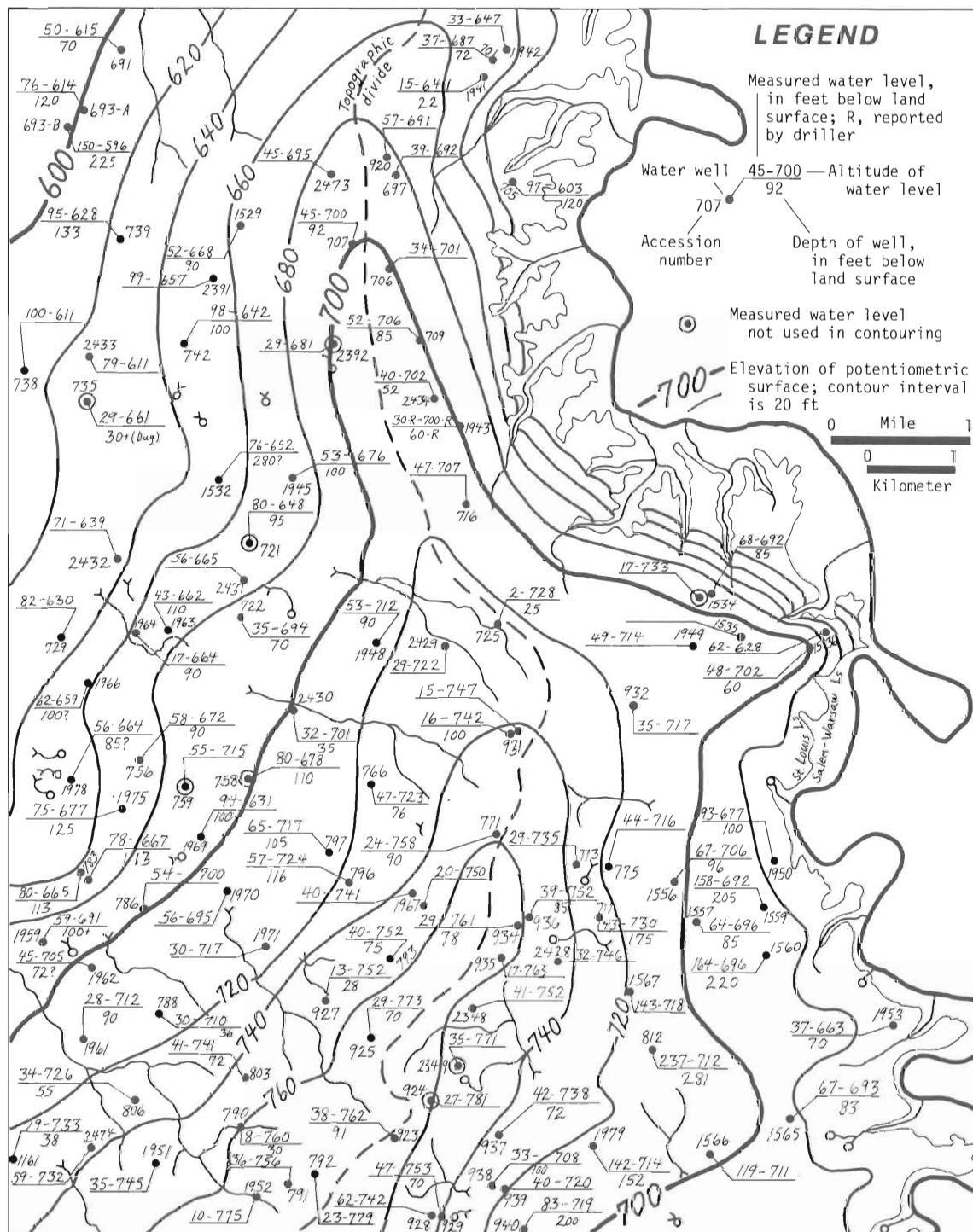


Fig. 6 Representative well data used for construction of the potentiometric surface shown in Figs. 2 and 4. This figure, of an area in the northeast corner of Fig. 2, shows one of the 22 7.5-minute quadrangles mapped.

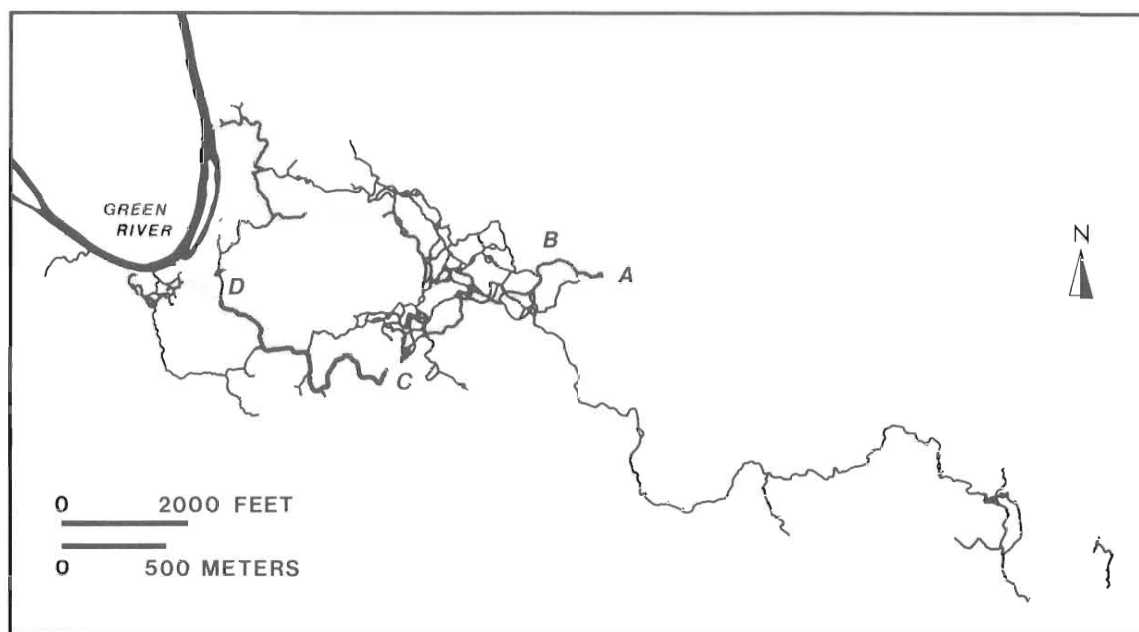


Fig. 7 Hydrology of the Hidden River Complex, a cave system 7 km north of the town of Horse Cave. More than 29 km of passage are depicted. As shown in Fig. 2 and discussed by QUINLAN and ROWE (1977), water and heavy metal-rich effluent from the Horse Cave area flows in an arcuate path from Hidden River Cave to A, a lift-tube that is about 30 m wide and 16 m deep. The flow route during base-flow, from A to 2 springs along Green River, is shown by the grey tone. From C to D is a 2.5 km river segment that averages 12 m wide and 2.8 m deep. During flood conditions water flows through the entire distributary downstream from A and is discharged at 42 springs at 14 locations in the map area. A magnetic-induction cave radio was used to locate an observation well drilled at B. The well, 40 m deep, missed the center of a 9m-wide stream by 18 cm.

to drill 5 observation wells intercepting cave streams at depths of 35 to 50 m. Water level recorders have been installed in them and at various karst windows, wells, springs and surface streams. Instrumentation for continuously monitoring rainfall, water temperature, conductivity, and velocity is being designed in collaboration with Ralph Ewers.

APPLICATIONS: Research results are being applied to planning for: regional sewage disposal, protection of groundwater supplies, responding to emergencies caused by accidental spillage of toxic substances, and protection and interpretation of Mammoth Cave National Park.

ACKNOWLEDGEMENTS: The work described herein was supported chiefly by the National Park Service. It was also supported by

the Kentucky Water Resources Research Institute, the Barren River Area Development District, and 4 local banks that were willing to be "Patrons of Science".

#### REFERENCES CITED:

- EWERS, R. O., and QUINLAN, J. F. (1981): Cavern porosity development in limestone, a low-dip model from Mammoth Cave, Kentucky: International Congress of Speleology, 8th (Bowling Green, Ky.), Proceedings, v. 2, p. 727-731.
- MIOTKE, F.-D. (1975): Der Karst in Zentralen Kentucky bei Mammoth Cave: Geographischen Gesellschaft zu Hannover Jahrbuch für 1973. 360p.
- MIOTKE, F.-D., and PAPENBERG, H. (1972): Geomorphology and hydrology of the Sinkhole Plain and Glasgow Upland, Central Kentucky Karst: preliminary report: Caves and Karst, v. 14, p. 25-32.
- PALMER, A. N. (1981): Geological Guide to Mammoth Cave National Park: Teaneck, N.J., Zephyrus Press. 196p.
- QUINLAN, J. F. (1970): Central Kentucky Karst: Réunion internationale Karstologie en Languedoc-Provence, 1968, Actes: Méditerranée, Étude et Travaux, v. 7, p. 235-253.
- QUINLAN, J. F. (1976): New fluorescent direct dye suitable for tracing ground water and detection with cotton: International Symposium of Underground Water Tracing, 3rd (Ljubljana-Bled, Yugoslavia), 1976, Papers, v. 1, p. 257-262.
- QUINLAN, J. F., and EWERS, R. O. (1981a): Hydrogeology of the Mammoth Cave Region, in Roberts, E. G., ed., G.S.A. '81 Field Trip Guidebooks, v. 3. American Geological Institute, Falls Church, Va. p. 457-506.
- QUINLAN, J. F., and EWERS, R. O. (1981b): Preliminary speculations in the evolution of groundwater basins in the Mammoth Cave Region, Kentucky, in Roberts, T. G., ed., G.S.A. '81 Field Trip Guidebooks, v. 3. American Geological Institute, Falls Church, Va. p. 496-501.
- QUINLAN, J. F., and RAY, J. A. (1981): Potentiometric surface of the principal aquifer, Mammoth Cave Region, Kentucky: Friends of the Karst, Occasional Publication No. 1.
- QUINLAN, J. F., and ROWE, D. R. (1977): Hydrology and water quality in the Central Kentucky Karst: Phase I: Kentucky Water Resources Research Institute Report 109, 93p.
- QUINLAN, J. F., and SMART, P. L. (1976): Identification of dyes used in water-tracing: A suggestion to improve communication: International Symposium of Underground Water Tracing, 3rd (Ljubljana-Bled, Yugoslavia), 1976, Papers, v. 2, p. 263-267.
- WELLS, S. G. (1973): Geomorphology of the Sinkhole Plain in the Pennyroyal Plateau of the Central Kentucky Karst (M.Sc. thesis): Cincinnati, Univ. Cincinnati, 115p.
- WHITE, W. B., WATSON, R. A., POHL, E. R., and BRUCKER, R. (1970): The Central Kentucky Karst: Geographical Review, v. 60, p. 88-115.



|                                                    |          |              |            |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRAEGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 191 - 200 | Bern, 1982 |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## QUANTITATIVE DYE TRACING IN A GLACIERISED ALPINE KARST

C. C. Smart and D. C. Ford

Department of Geography, McMaster University, Hamilton,  
Ontario L8S 4K1, Canada

**Abstract:** The Castleguard karst (Alberta, Canada) is a glacier-ised mountain karst with strong glacier-groundwater interactions. Some  $33\text{m}^3\text{s}^{-1}$  of glacial surface meltwater enter the aquifer either at marginal streams or within the body of the Columbia Icefield. Discharge from the aquifer is through over 100 springs. Fourteen dye tracers were made using a field fluorometer for real-time analysis. Interpretation of results is limited by the complex spring system. However, the data are considered in terms of dispersion, distribution, dilution, convergence and storage. The resulting shaft-conduit model is considered to result from glacial blockage of a major conduit. Emphasis is placed on repeated tracing in the study of karst groundwater systems.

### 1. Introduction

The Castleguard karst, Alberta, Canada, is a high relief, montane karst developed in massive, gently-dipping, Cambrian carbonates. The karst is still partially ice-covered, and the remainder has been heavily glaciated (Fig. 1). The proximity of the Columbia Icefield has resulted in a history of relatively frequent glaciation continuing into the Holocene (Henoeh et al 1979). As a result there are substantial morrainic deposits in the region.

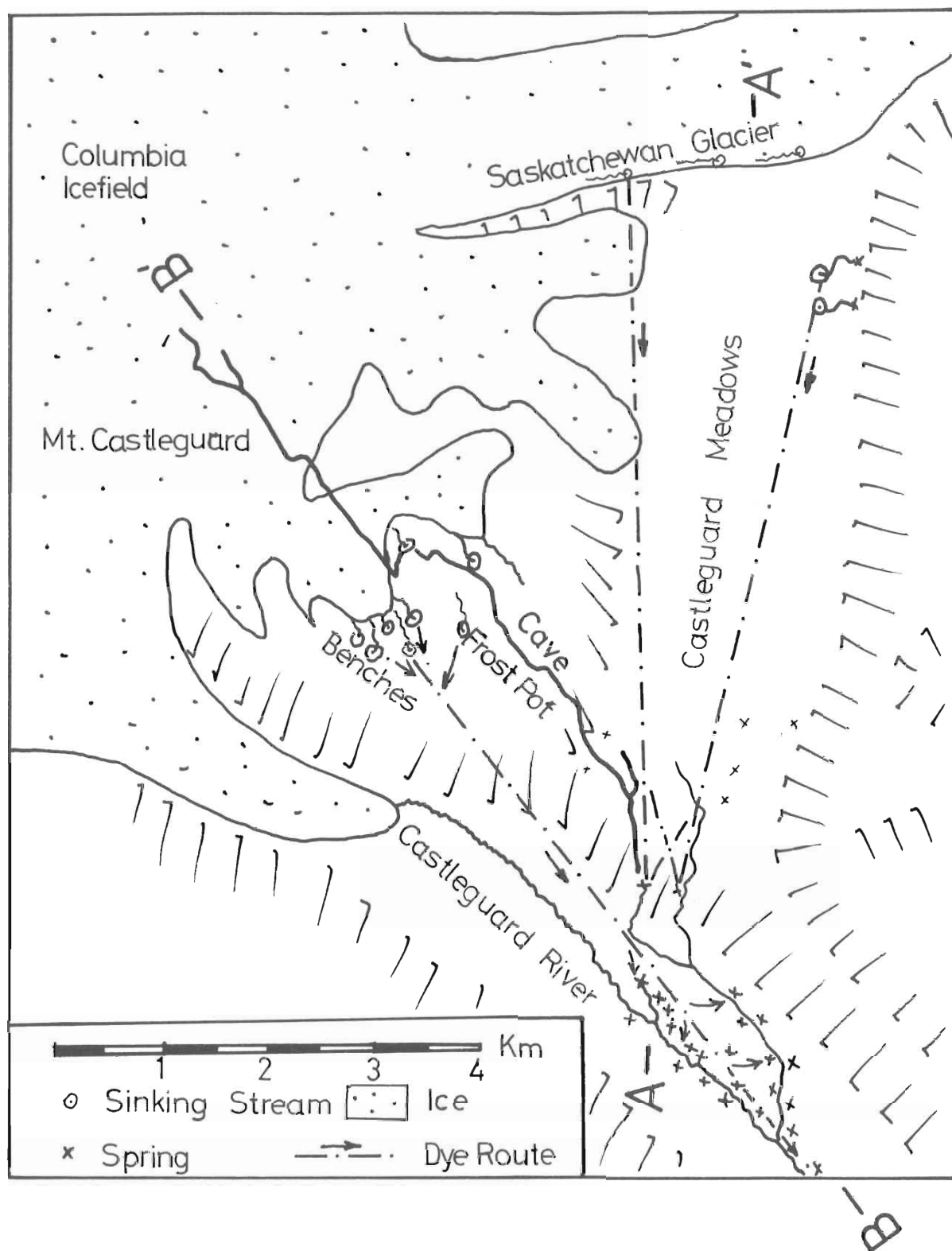


Figure 1. Hydrological elements of the Mount Castleguard Karst. Lines of cross-sections A-A' (Fig. 2) and B'-B (Fig. 3) and the lines of dye traces are also shown.

Although karstification is active, the karst is relatively ancient (FORD D., 1971). Castleguard Cave is a major abandoned trunk conduit, five km of which extend beneath the Columbia Icefield. Palaeomagnetic reversal in speleothems from the cave suggest abandonment at least 700'000 years ago.

Karst water circulation is active. Over  $35\text{m}^3\text{s}^{-1}$  are discharged from more than 100 springs in the Castleguard Valley. However, only some  $2\text{m}^3\text{s}^{-1}$  can be observed as sinking streams in the area. It is hypothesised that the discrepancy in the water balance is accounted for by direct engulfment of meltwaters on the Columbia Icefield (FORD D., 1971) and the upper Saskatchewan Glacier (SMART C., and FORD D., 1981).

## 2. Water Tracing

### 2.1 Methodology

During 1978 - 80 a study of the hydrology of the Castleguard karst was made. Water tracing was performed using the fluorescent dyes Rhodamine WT, Fluorescein, and Lissamine Yellow FF (SMART C. and LAIDLAW I., 1975). Logistical constraints prevented traces being made from the central icefield, and poor weather frequently postponed planned traces. Fourteen traces were made from proglacial streams, however.

Sampling was occasionally only by activated charcoal detectors. More usually, automatic water samplers were employed, sampling at a frequency of one to six samples per hour. Analysis was on the Turner Designs Model 10 Series Fluorometer. This is a low power, ruggedised instrument which was used both for grab sample analysis and in continuous flow fluorometry.

At most five sampling locations were operating simultaneously. With over 100 springs (some intermittent) up to eight km apart on foot, some care and effort was necessary in obtaining a representative sample. Furthermore, discharge data are available from only a few springs, consequently dye measurements are presented in terms of concentration, rather than the preferable units of mass.

## 2.2 Results

Two weakly associated underground systems were identified (Fig. 1). The first is fed by water from small sinks on the northern end of Castleguard Meadows and from marginal melt streams on the upper Saskatchewan Glacier. These waters flow to two springs located high in the side of the Castleguard Valley (Fig. 2). A weak, delayed link to springs in the valley bottom may be either directly underground or result from the subsequent loss of water from the stream fed by the high springs.

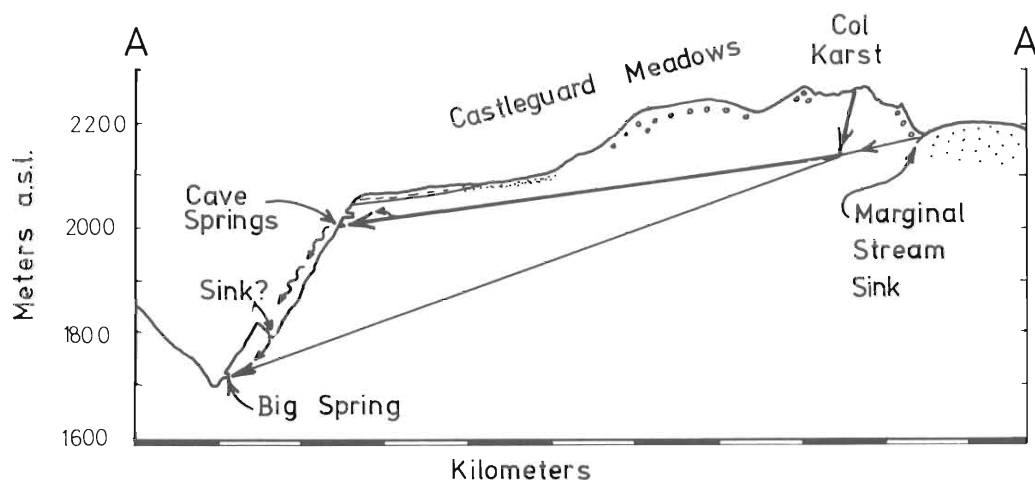


Fig. 2. Cross-section A-A' through Castleguard Meadows. Dye tracing results are also illustrated.

The other underground flow route links sinking proglacial streams south of Mount Castleguard directly to every spring monitored in the floor of the Castleguard Valley. Average tracer velocities reached over  $600 \text{ mh}^{-1}$  (over  $1300 \text{ mh}^{-1}$  first arrival) during peak-flows, falling to some  $200 \text{ mh}^{-1}$  at lower flows (Fig. 3).

The springs are classified into two groups: those along the Castleguard River and those along the Meadows Stream. The grouping is based on distinctive characteristics of the dye breakthrough curve. Within each group only time of arrival and dispersion appear to vary; both characteristic of outlets from a single conduit.

Also, for discussion, two injection areas are considered: the Benches (commonly resulting in a multimodal breakthrough curve), and Frost Pot (producing a mono-modal curve).

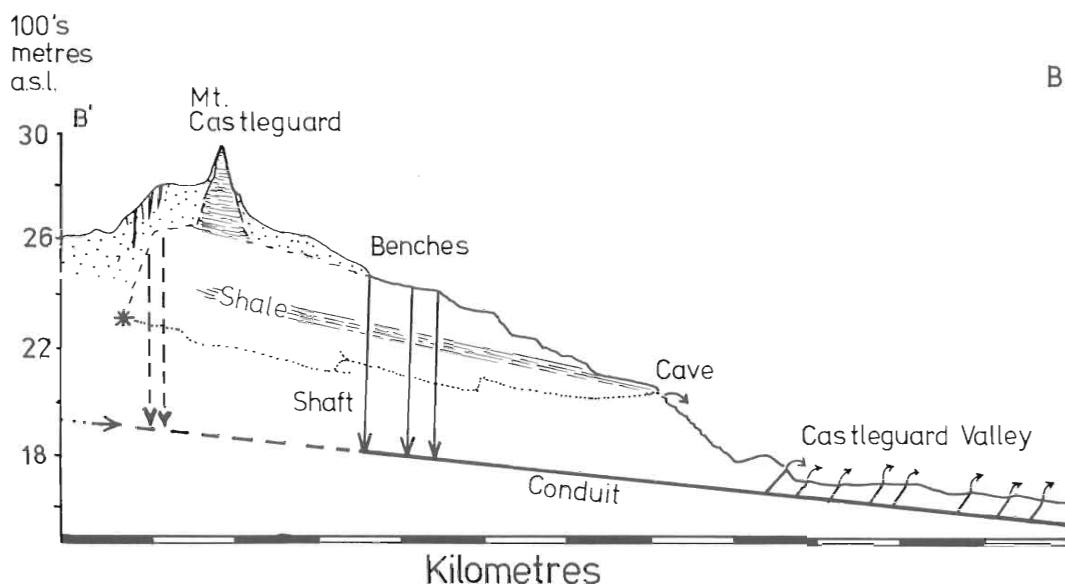


Fig. 3. Cross-section B'-B through Mount Castleguard and the Castleguard River Valley. The traced routes are shown as solid lines. The structure of the route is envisaged as a number of shafts connecting to a horizontal conduit leading to the many springs in the Castleguard Valley. The approximate line of Castleguard Cave is also shown.

Figure 4 shows typical, idealised time-concentration breakthrough curves from the two injection areas, Frost Pot and The Benches, under various flow conditions. The Castleguard River springs and the Meadows Stream springs are represented by broken and continuous lines respectively. The breakthrough characteristics are strongly flow dependent, relative concentration reversing for the spring groups between high and low flow.

The characteristic double peaks of the Benches traces become further separated as discharge falls. Influent meltstreams showed strong diurnal oscillations during anticyclonic, autumnal weather (ie. freezing nights and warm days). Such conditions showed synchronous dye and water pulses at the springs for up to two days after injection.

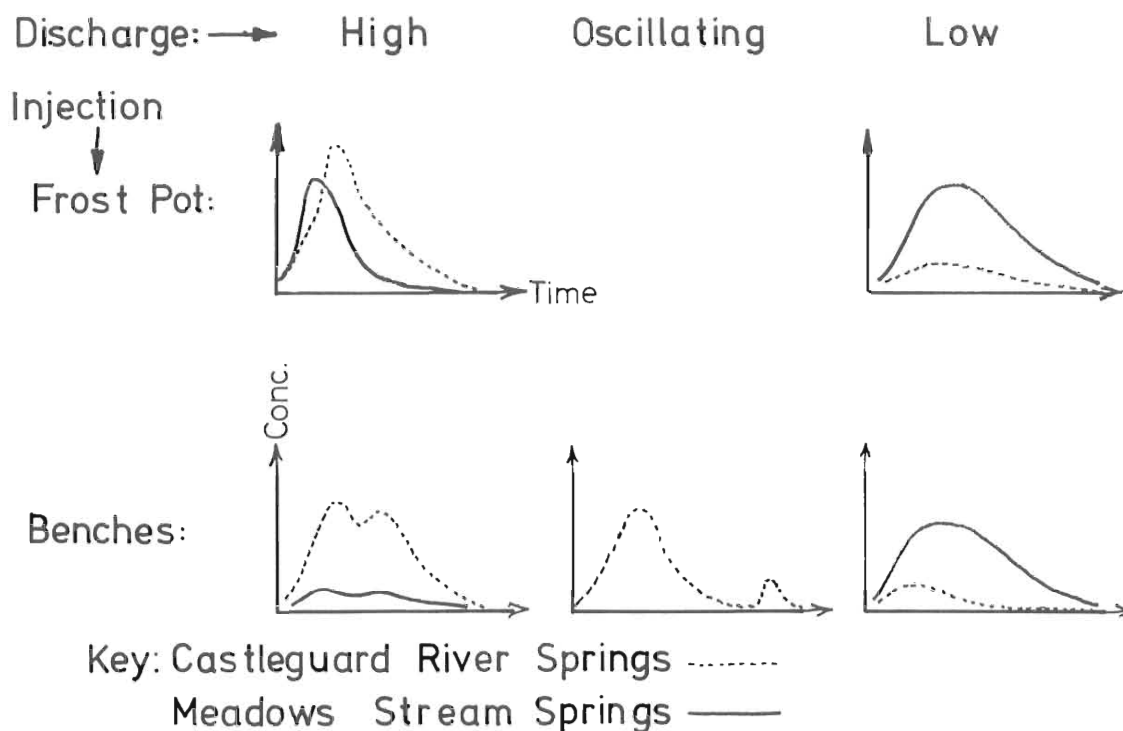


Fig. 4. Time-concentration breakthrough data from the Castleguard River and Meadows Stream springs. Results are shown for two injection zones: Frost Pot and the Benches. Three levels of discharge are shown to result in quite different tracing results.

### 2.3 Interpretation

The numerous springs in the Castleguard Valley imply a highly disorganised, immature drainage of the aquifer. This is curious in such a massive limestone, especially given that Castleguard Cave was such a well integrated conduit. Furthermore, the time since abandonment of the Cave (700 ka) perhaps should have permitted a reasonable maturity in a lower graded system. No conduits are known in the valley wall between the cave and the highest springs, some 280 m below. It is possible that the cave was abandoned not by the development of an alternate water route, but by glacial blockage. Also, the frequency of glacial events might have repeatedly lowered the local base level of the Castleguard Valley, preventing maturation of any one drainage route.

However, the apparently complete distribution of dye between the

springs, and the rapid flow-through times suggest a reasonably well-developed conduit. It is possible that the major moraine (of indeterminate age) occupying the floor of the Castleguard Valley has blocked an ancient conduit. This would have forced water to find alternate routes, the result of which is the present-day spring complex. A similar alluviated system is known elsewhere in the Canadian Rockies at Maligne Valley (BROWN M., 1972).

All observed feeders to the system, both above and below ground, are relatively constricted and immature. Therefore the structural framework for the karst drainage system is conceptualised as a number of vertical shafts entering a trunk conduit system, and debouching as a series of springs in the Castleguard Valley. (See Figure 3). The actual source of the majority of the conduit waters is not the concern of this paper.

The processes acting on a conservative dye pulse travelling through a simple shaft conduit system are, as a first approximation: Dispersion, Distribution, Dilution, Convergence and Storage. These processes all have some characteristic signature in the dye breakthrough data. In dispersion along a single conduit the form of the dye time-concentration curve becomes attenuated with distance, but the area beneath the curve is unchanged. In contrast distribution will show equal areas in concentration terms, but different in mass (unless there is 1:1 discharge ratio between two distributaries for example). If dilution is taking place then the area beneath the time-concentration curve will also be different between two outlets from a common source. Convergence will generally lead to complex breakthrough curves as the travel times in separate conduits will almost certainly be different. Storage is a complex process. Two possible types are mentioned here. Dye may be trapped in an intermittently active conduit, or alternatively driven into "blind" stores from which it will be drawn during recession. The two forms are identifiable by cross-reference to discharge. The former type will produce a dye pulse correlated to discharge, the latter an attenuated pulse will appear during recession. The diurnal dis-

charge fluctuations characteristic of glacier runoff provide a usefull analytical aid in this respect.

Thus a simple structural (shaft-conduit) and process context is available for interpreting the tracing results at Castleguard.

The principal feature of the breakthrough curves in figure 4 is the change in relative dye delivery to the two spring groups between high and low discharge. Two alternative models, perhabs the simplest from a large number of possibilities, are proposed to account for this.

Figure 5.i uses a dilution process whereby the dilution of the Meadows Stream springs becomes relatively less important at low flows. Alternatively, figure 5.ii suggests a finite capacity shaft delivering dye to the Meadows Stream springs. During high flow the majority of the labelled water is routed to the Castle-guard River springs; a variable distribution process.

The multipeaked output from Benches injections is detected at all springs. This suggests a division and convergence before entry into the hypthesised twin conduits. The separation of the peaks at lower flows suggests that one route gradually loses ef-feciency. The dye pulses associated with water pulses during periods of oscillating flow suggest a flushing of dye from this lesser route at higher flows. There is thus an intermittent-conduit type of store in the shaft system (Fig. 5.iii).

These examples are preliminary and highly simplified and require further systematic analysis. Some sophistication is also demanded by complexities in the dye breakthrough curves not considered here.

### 3. Conclusion

The main concern of karst water tracing continues to be the es-tablishment of underground drainage routes. In this case a single trace is sufficient. Quantitative tracing allows a better under-standing of the nature of such a link. However, it is clear that the performance of a karst conduit system is often strongly flow dependent. In such systems repeated tracing under a variety of

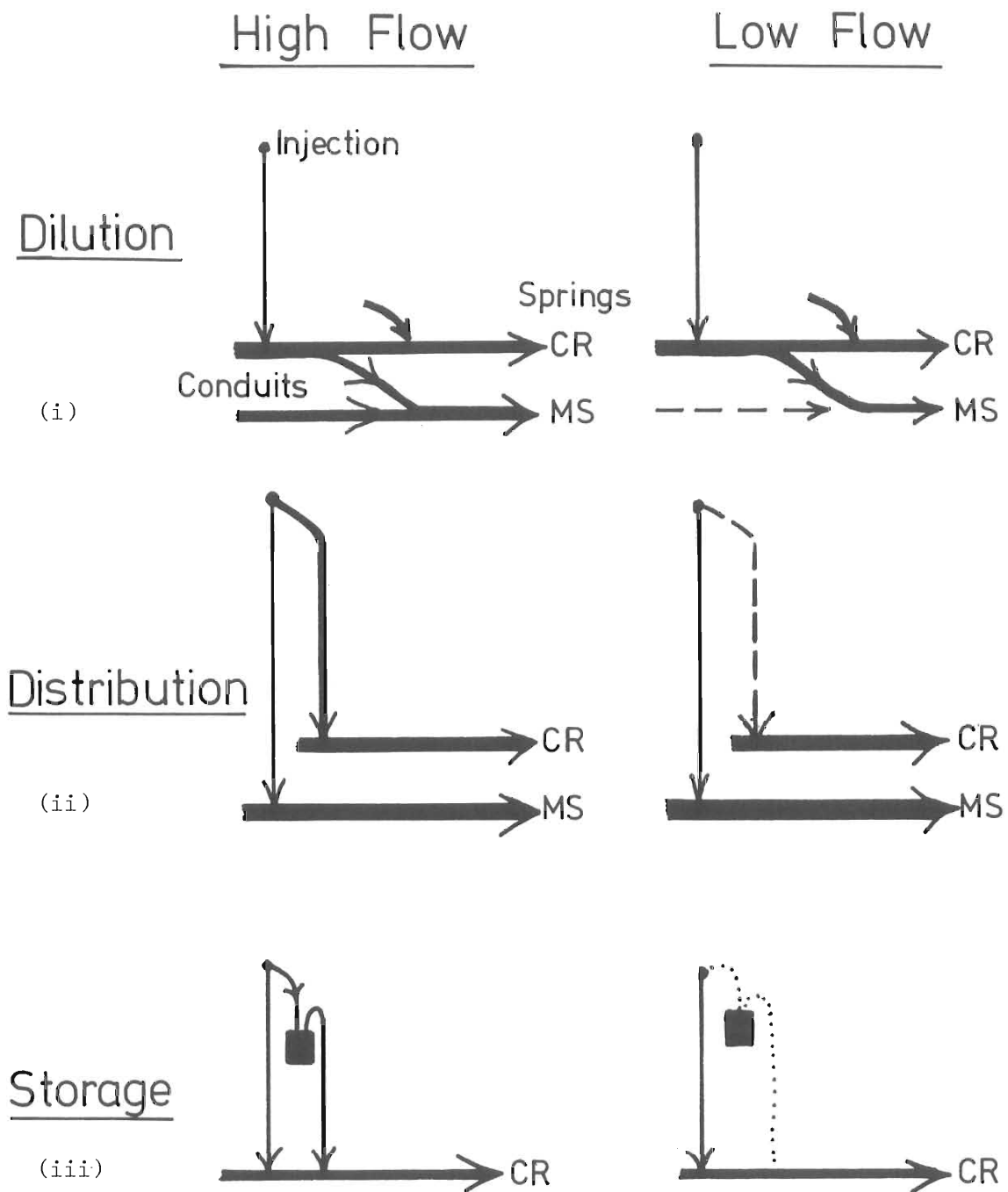


Figure 5. Simple shaft conduit interpretations of the dye tracing data in figure 4.

- (i) Dilution process: the degree of dilution of the Meadows Stream conduit changes with discharge.
- (ii) Distribution process: the dye distribution in the shaft system is contingent on discharge.
- (iii) Storage process: One shaft route is only active under high flow conditions. Dye stored in the shaft in receding flow is flushed by subsequent floods.

conditions is necessary. As this is done (KRUSE P., 1980; MANSIN 1981 pers. comm; SMART P.L., 1981) it becomes clear that a rationale for the interpretation of such experiments is necessary. This paper is an attempt to indicate how such a rationale may developed and applied.

#### References:

- BROWN M.C. (1972): Karst Hydrology of the Lower Maligne Basin-Cave Studies; 13, Cave Res. Assoc., Castro Valley, California 84pp.
- FORD D.C. (1971): Alpine Karst in the Mount Castleguard-Columbia Icefield Area, Canadian Rocky Mountains- Arctic and Alpine Res.3 p239-252.
- HENOCH W.E.S., LUCKMAN B.H., BARANOWSKI S. (1979): A New Holocene Locality from Castleguard Meadows, Banff National Park, Alberta- Zeits. Geomorph. N.F. 23 p383-395.
- KRUSE P.B. (1980): Karst Investigations of the Maligne Basin, Jasper National Park, Alberta- Unpublished MSc. Thesis, Univ. of Alberta, 120pp.
- SMART P.L. (1981): Variation of Conduit Flow Velocities with Discharge in the Longwood to Cheddar Risings System, Mendip Hills- Proc. VIII Int. Cong. Speleol. VI p333-335.
- SMART C.C., FORD D.C. (1981): Glacier-groundwater Interactions and Quantitative Groundwater Tracing in the Vicinity of Mount Castleguard, Banff National Park, Canada- Proc. VIII Int. Cong. Speleol. V.2 p720-723.
- SMART P.L., LAIDLAW I.M.S. (1977): An Evaluation of some Fluorescent Dyes for Water Tracing- Water Resour. Res. V. 13.1 p15-33.

|                                                    |          |              |            |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|
| BEITRAEGE ZUR GEOLOGIE DER<br>SCHWEIZ - HYDROLOGIE | Bd. 28 I | S. 201 - 212 | Bern, 1982 |
|----------------------------------------------------|----------|--------------|------------|

## NATURAL TRACERS AND HYDRODYNAMICS OF KARSTIC AQUIFERS :

### A SAMPLE APPLICATION FOR PUMPING TESTS INTERPRETATION

DROGUE Claude, RAZACK Moumtaz, GIRONA Jean-Marc

Laboratoire d'Hydrogéologie - Université des Sciences et  
Techniques du Languedoc, Place E. Bataillon, 34060 Montpellier  
Cedex - France

Résumé : TRACEURS NATURELS ET HYDRODYNAMIQUE DES AQUIFERES  
KARSTIQUES : un exemple d'application pour l'interprétation des  
pompages d'essai.

On se propose d'examiner la contribution des traceurs naturels  
dans la compréhension de l'hydrodynamique des milieux aquifères  
fissurés et karstifiés.

A ce propos sur un périmètre expérimental d'environ 300 m<sup>2</sup>,  
situé près d'une rivière, comprenant un forage et 4 piézomètres  
foncés dans un aquifère calcaro-dolomitique, un pompage d'essai  
est réalisé. Avant, pendant et après l'essai, des informations  
sont recueillies concernant certains traceurs naturels des eaux  
captées : caractères physico-chimiques, microbiologiques et  
thermiques. L'analyse conjointe de l'ensemble de ces données  
(pompage d'essai et comportement des tracers naturels) a permis  
ainsi une meilleure approche de l'hydrodynamique de l'aquifère  
fissuré étudié.

#### 1. INTRODUCTION

Carrying out pumping tests to yield aquifers' hydrodynamical  
properties has become a basic technique in Hydrogeology. Aq-  
uifer tests' interpretation however originates from analyses of  
flows in porous media and therefore can only uncompletely be  
suitable for understanding of fissured aquifers' functioning,  
due to underground flows' proper forms in such media and due to  
the flow-net's less or more continuous organization.

Our purpose throughout this paper is to examine whether observing and analyzing some natural tracers' behaviour, together with pumping tests, could improve these tests' interpretation in order to get a better knowledge of the fissured aquifer's hydrodynamics. Such natural tracers can be water chemistry, water temperature, water fauna peopling...

A sample application is presented in this paper, dealing with experiences conducted on a test site, located near a river.

## 2. GENERAL DATA

The aquifer, involved in this study, is a part of a general unit known as "CAUSSE DE LA SERANNE" in the South of France (see Fig. 1). Geological formations, from Middle Jurassic to Lower Cretaceous, of calcareous and dolomitic nature, are karstified and contain a drowned area which is drained by the major river Hérault.

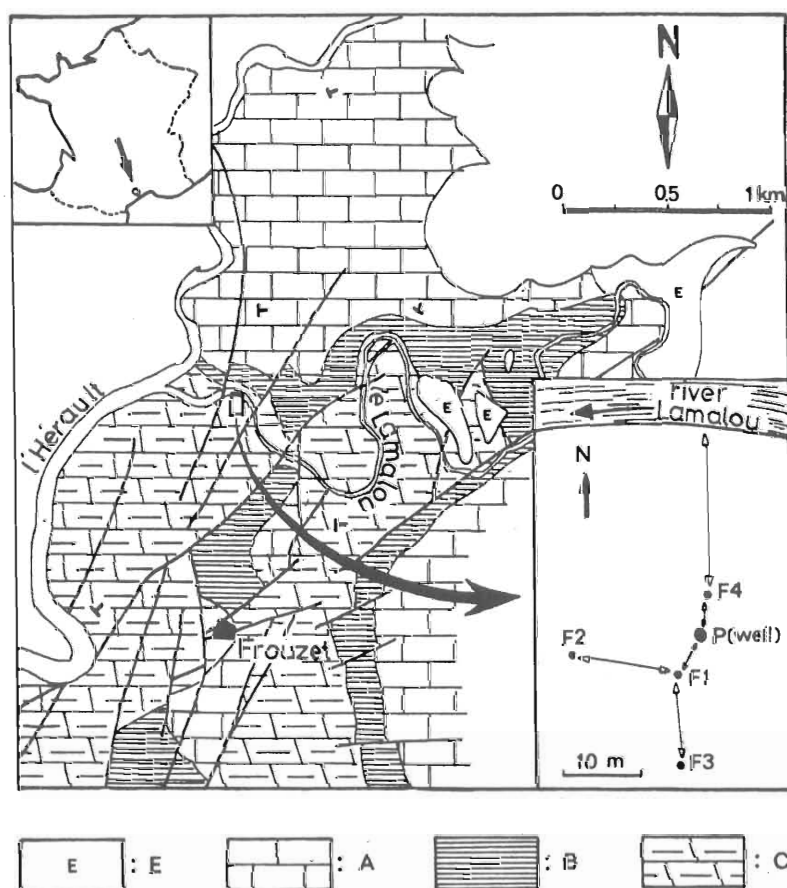


Fig. 1 - Geographical and geological setting of the test site

E: scree - A: limestones - B: marls - C: dolomites  
(the formations are of Middle Jurassic)  
(after the Geological Map of France at 1/50.000° -  
sheet of Saint-Martin de Londres).

On a surface of about 300 m<sup>2</sup> (Fig. 1), on the left bank of river Lamalou (river Hérault affluent) 4 observation boreholes (F1, F2, F3 and F4) were drilled, at first, with a diameter of 135 mm and a depth ranging from 27 m to 45 m, then an abstraction well with a diameter of 450 mm and a depth of 50 m. All the holes were drilled in dolomitic formations, karstified on the boreholes F1, F3 and F4 (cavities of decimetric dimension), and not much karstified on F2. Water levels are situated from 3 m to 7 m under the soil surface according to boreholes.

### 3. PUMPING TESTS AND INTERPRETATION

#### 3.1 Pumping tests on the boreholes

A.C. GRINGARTEN and P.A. WITHERSPOON works (1972) on pumping tests and interpretation methods in fissured aquifers can yet not be of current application (KHIAM H., 1973 ; AUZET J.P., 1975 ; PITARD J., 1976). So, at first approximation, and due to the lack of other more appropriate analysis techniques, classical porous media methods were used for interpreting the tests' data.

The tests on F1, F3 and F4 were carried out during a short time (2 hours to 5 hours), with an abstraction yield included between 15 and 40 m<sup>3</sup>/h. Results are summarized in table 1. We can notice, among the hydraulic parameters values, a certain dispersion, that characterizes the aquifer heterogeneity. The fact that pumpings' influence did not reach borehole F2 strongly marks this heterogeneity.

Table 1 - Pumping tests results on observation boreholes  
(app. T : apparent transmissivity ; app. S : apparent storativity ; app. D : apparent diffusivity)

| pumping hole | Observation hole | app. T (m <sup>2</sup> /s) | app. S            | app. D (m <sup>2</sup> /s) |
|--------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| F1           | F3               | $2 \cdot 10^{-3}$          | $10^{-4}$         | 20                         |
| F3           | F1               | $10^{-3}$                  | $2 \cdot 10^{-4}$ | 5                          |
| F4           | F1               | $10^{-2}$                  | $10^{-2}$         | 1                          |

#### 3.2 Pumping test on the abstraction well

A pumping test was carried out on the well for 95 hours, with an abstraction yield variable from 210 m<sup>3</sup>/h to 80 m<sup>3</sup>/h. Water level's evolution was followed in every 4 boreholes. Corresponding curves are reported in Fig. 2.

Fig. 2 illustrates the fact that it is rather difficult, indeed impossible, to give an interpretation of these specific draw-downs-time curves using classical methods, in order to evaluate aquifer's hydraulic properties.

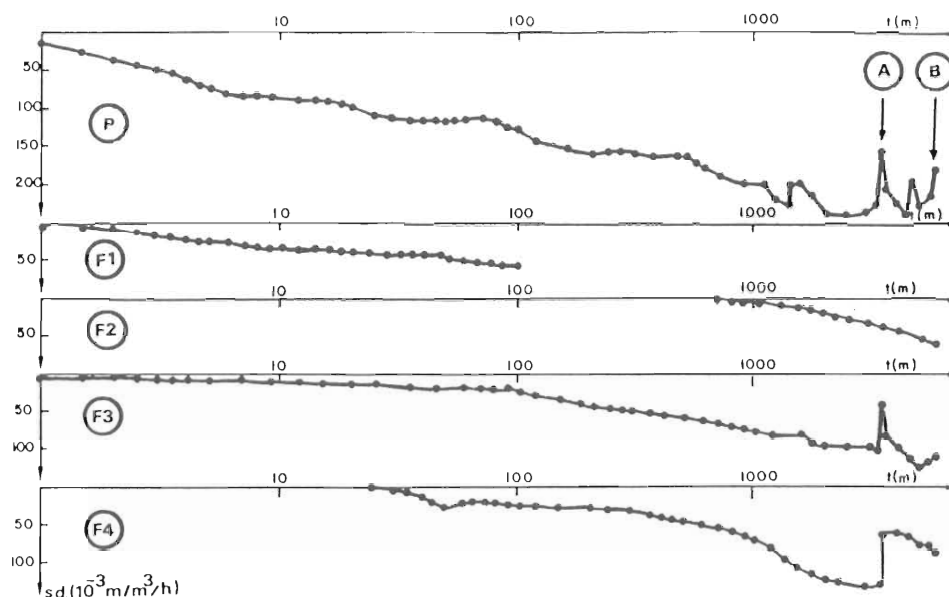


Fig. 2 - Specific drawdowns-time curves on the well and on the boreholes on the curve obtained on the well.  
A: temporary stopping of pumpage for 35 mn  
B: end of pumpage

Nevertheless some qualitative features are noteworthy from these curves:

- Pumpage influence reaches instantly borehole F1 and F3. This may implicate confined conduits' existence, and thus confirms the high value of diffusivity computed before on these two boreholes (see Table 1).
- In borehole F4 zone, it looks as if the terrain has undergone some modifications, involving for this borehole, an uncommon behaviour, which may be attributed to clogging of the terrain during the drilling of the well.
- Borehole F4 water level reacts to pumpage very lately (nearly 25 mn after pumpage commencement). Then the specific drawdowns-time curve is similar to that one which would be obtained in case of a Darcian flow in an infinite media.

Thus the pumping test points out, in such a narrow site, two very different hydrodynamical behaviours, which can be interpreted through the presence of the two following components :

- a) a first component with narrow fissures where apparent transmissivity is very low and which behaves in a normal Darcian way apparently ;
- b) a second component where karstification is well developed, apparent diffusivity high and where flow could be alike to conduit flow.

Juxtaposition of these two components, with such unlike hydraulic properties, remains a basic constant of karstic aquifer's structure, shown by anterior works (C. DROGUE, 1974 ; T.C. ATKINSON, 1977).

It is noticeable, as well, a typical feature linked with this particular structure, and which consists in the inversion of the hydraulic gradient between the narrow fissured zone and the conduit zone. During the 3rd day of the tests, pumpage had been stopped for 35 minutes because of an accidental case. Consequently, on boreholes F3 and F4, water level's recovery occurred, whereas in borehole F2, water level was reached by no influence and continued its evolution normally (see Fig. 2-a).

If basic structure of the aquifer is clearly brought out through the pumping tests, as well as heterogeneity and anisotropy that are inherent in it, different questions related to karst internal storage, its relationship degree with river etc... are yet not determined. Thus to improve the aquifer's knowledge, data about natural tracers were collected and analyzed. Besides, another phenomena was used to confirm or precise some of the pumping tests' results, i.e. the propagation of the river's fluctuation through this aquifer.

#### 4. STUDY OF THE RIVER FLUCTUATIONS' PROPAGATION IN THE AQUIFER

In order to determine a global permeability value of the two karst components and to precise the nature of their relationship with the river, water level's fluctuations in boreholes F2 and F3, and of the river were recorded. River's fluctuations are caused by a dam's manoeuvres, located downstream the experimental site.

These recordings show that (see Fig. 3) :

- a) the river level's variations are transmitted very rapidly and distinctly in borehole F3 ;
- b) borehole F2 is not at all disturbed by the river's fluctuations. Furthermore, during the recordings, its piezometric level was still in recovery time, following pumpage stopping on the well.

It appears through these observations that borehole F3 would be in a very diffusive zone, whereas F2 would be drilled in a zone with low diffusivity.

On borehole F3, water level's fluctuations allow diffusivity computation (J. FERRIS, 1951). In case these fluctuations can be likened to a succession of impulses (rectangular, triangular...) it is possible to compute the aquifer's diffusivity by application of the Operational Calculation (J.C. GARNIER and Cl. CLARION, 1967; M. RAZACK et al., 1980). The method used is the Laplace Transform of a time dependent function. This calculation theory is not developed herein, but can be found in specialised literature (D. PAPIN and A. KAUFMANN, 1963).

The diffusivity's value calculated in such a manner is about  $10^{-1}$  m<sup>2</sup>/s on F3.

Calculations are carried out assuming the following points :

- a) Darcian flow,
- b) homogeneous and isotropic terrain,
- c) Dupuit assumptions verified (i.e. vertical composante of velocity negligible).

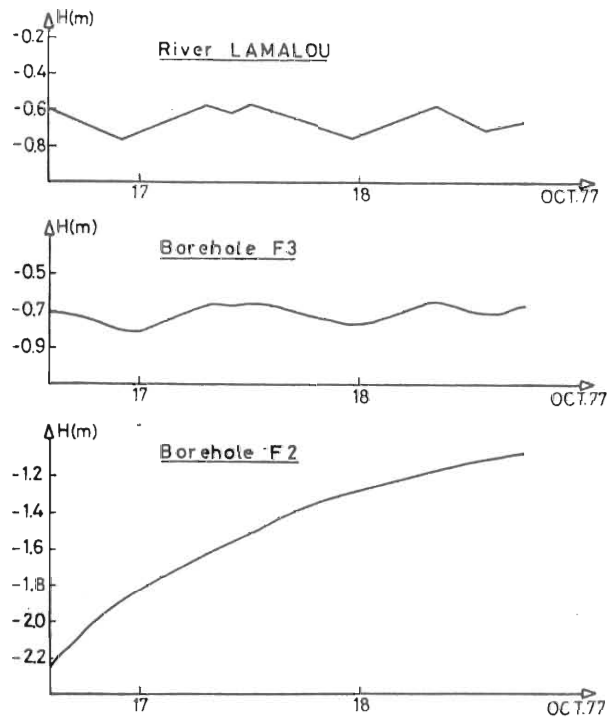


Fig. 3 - Example of water level evolution in river Lamalou and in boreholes F2 and F3 (from 16/10 (2 p.m.) to 18/10 (6 p.m.)).

Borehole F3: river fluctuations are perceptible on this hole

Borehole F2: recording on this hole shows delayed water level recovery due to pumpage stopping on the well on 15/10 at 9.30 a.m.

If the 3rd assumption can be accepted, river Lamalou variations being of weak amplitude (about 20 cm), the first and the second assumptions are naturally not satisfied. This value of diffusivity must then be considered as the one of an equivalent terrain, verifying all the three conditions given above and characterizing the karst in a global fashion.

It is noticeable that this value is very inferior to those evaluated on each borehole. This sets the problem of the real length of the propagation wave's advancing. That length is compared for the calculations to the distance between the bank and the recording point (diffusivity varies as the square of this distance). It is quite obvious that taking into account the media heterogeneity, the length of the wave advancing must be a good deal superior to this distance. That could give an explanation for the low value of diffusivity. Considering a distance twice greater, the computed diffusivity is then about 2 m<sup>2</sup>/s, value which is closer to those obtained after pumping tests.

## 5. GROUNDWATER CHEMICAL AND FAUNISTIC FEATURES DURING PUMPING

Chemical and faunistic studies were achieved in order to find out possible differences between groundwater and river Lamalou surface water on the one hand, and river contributions during the pumpage on the other.

## 5.1 Chemistry

Principal chemical elements were analyzed (Ca, Mg, Na + K, SO<sub>4</sub>, Cl, TH, TAC) in river Lamalou water, and in the well water at the beginning, after 50 hours and at the end of pumping (Fig. 4). Differentiation between profiles of beginning pumping water (Profile n° 2) and of river Lamalou (Profile n° 1) must be noted, particularly due to the Calcium and the Magnesium contents. That would characterize the calcaro-dolomitic terrain water.

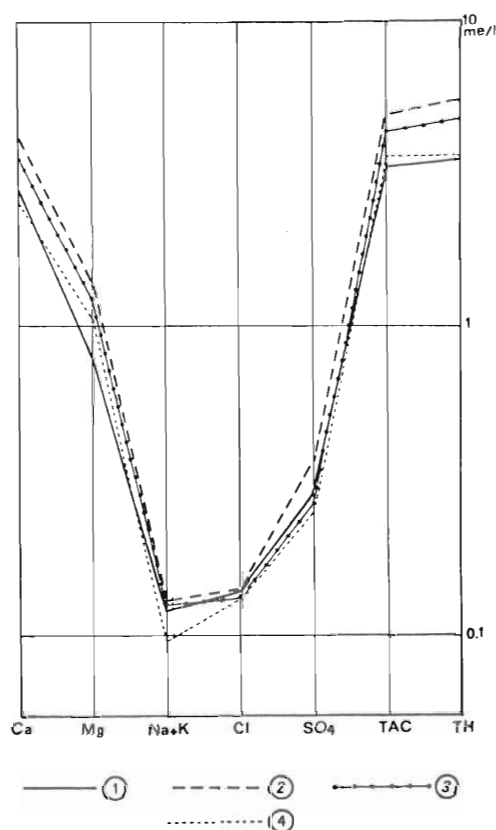


Fig. 4 - Water chemical profiles.

1: River Lamalou                      2: beginning of pumpage  
3: after 50 hours of pumpage        4: end of pumpage

Water chemistry can be identified through the ratio Ca/Mg. For temperatures less than 25°C and at equilibrium this ratio must in theory tends towards the value 1. However, on account of the slowness of equilibrium setting reactions, the ratio Ca/Mg is always greater than 1 in water in contact with dolomite (B.B.

HANSHAW and al., 1971). So its value ranges from 2.4 to 2.9 in caught water, and is equal to 3.5 in the river Lamalou. That would demonstrate comings of water having resided in the dolomitic karst.

Comparison of the 4 chemical profiles emphasizes an evolution of the caught water chemistry towards the river's one. Nevertheless it appears that surface water's influence is slow and gradual. After 50 hours of pumping, so for an extracted volume equal to 7500 m<sup>3</sup>, caught water profile is still distinct from the river's one.

## 5.2. Microfauna study

According to different works (F. LESCHER-MOUTOUE, 1973 ; R. ROUCH, 1974), karstic groundwater can contain a microfauna, the characteristics of which allow, in some cases, a better knowledge of flows' organization. During the pumping on the well, microfauna was collected by almost continuous filtering with a fine-mesh net.

Results and interpretation- Sampling was carried out as following (see Table 2) :

Table 2 - Sampling and collecting of microfauna from groundwater during pumpage

| samples | pumping time before<br>net setting | filtering time |
|---------|------------------------------------|----------------|
| a       | 1 hour                             | 1 h 30 mn      |
| b       | 5 hours                            | 2 h 30 mn      |
| c       | 24 hours                           | 3 h            |
| d       | 27 hours                           | 3 h            |

Microfauna determinations were accomplished by R. ROUCH\* and F. LESCHER-MOUTOUE\*. Two groups were recognized : Harpacticids and Cyclopids. Species for each of them are under-mentioned :

- Harpacticids : nitrocrella and parastenocaris ;
- Cyclopids : diacyclops languidoïdes and Tropocyclops prasinus.

Harpacticids that were collected, are individuals from hypogean origin, so they are specific to underground media. In the other hand, the two species of Cyclopids mentioned above are not typically troglodyte, but anyway they own a natural aptitude to colonize underground media. The joint presence of these two groups, and the absence of any typical form of surface water, would indicate an essentially underground origin concerning the pumped water.

-----  
\*Laboratoire souterrain du C.N.R.S. - 09410 MOULIS (France)

## 6. THERMIC STUDY

Heat transfers in aquifer media are linked in particular to the reservoir characteristics and to the flows. Temperature distributions study can then present a certain interest to define underground circulations regime (B. MATHEY, 1974 ; C. DROGUE and H. UIL, 1977). It is with this object, that temperatures were measured on the holes and on the pumped water.

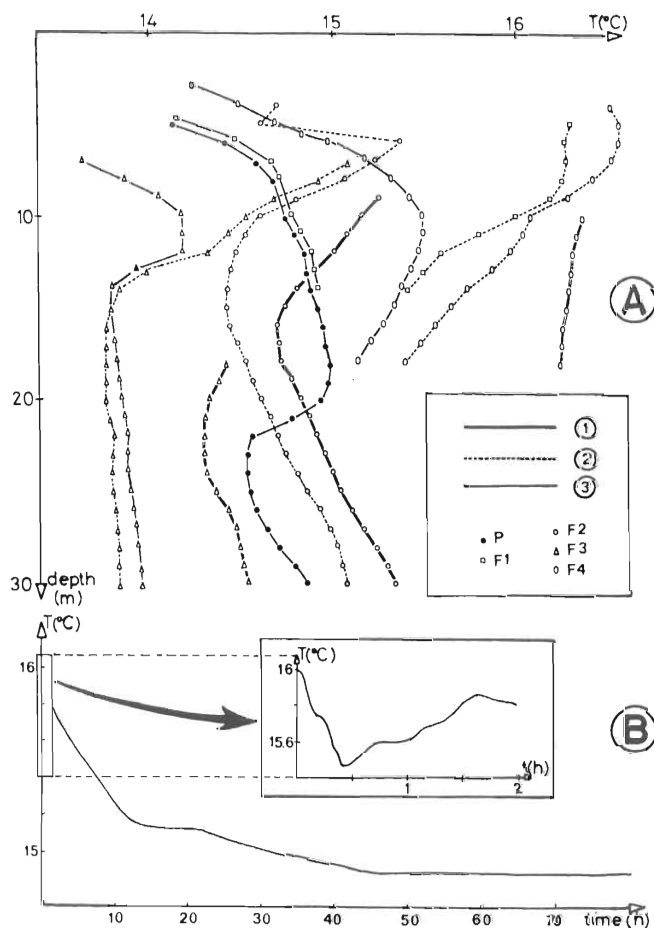


Fig. 5 - Temperature measures

A: Thermic loggings on the holes

1: 14/10/77 - 2: 3/11/77 - 3: 5/1/78

B: Water temperature evolution during pumping on the well

### 6.1 Temperature measures on the boreholes and the well (thermic loggings)

Thermic loggings were achieved during the pumpage only on the boreholes, and without pumpage, together on the boreholes and the well. It was verified, in other respects, that the atmosphere temperature seasonal variation's influence is felt untill a depth of 15 meters under the surface's soil (heterothermy zone). This appears clearly on the temperatures' profiles on Fig.5 (see Fig. 5-A).

Important differences are to be noted between the boreholes temperatures' values. In particular borehole F4 water shows a temperature 2°C higher than the other ones. This can proceed from a deeper groundwater's origin, or more simply, these higher temperatures can result from the complex geographical situation of this site (a river and an important relief nearness).

The temperature profiles' examination leads to the following comments :

- a) in the narrow fissured zone, the profile is stable beyond 15 meters, even during pumpage (thermic gradient about 0.5°C/10 m);
- b) in the draining zone, river Lamalou water's influence (temperature about 13°C) is felt (in particular in borehole F3 where thermic gradient is about 0.1°C/10 m between 15 m and 30 m of depth) ;
- c) the only profile in the well was executed during a rainy season. Between 22 m and 25 m deep, the profile's deviation towards lower temperatures can mark aquifer's recovery at this level by colder water.

## 6.2. Catched water temperatures

Catched waters' temperatures cannot be considered in absolute values, because of, in particular, the waters' reheating due to the pump. Nevertheless temperatures' variations can bear a certain meaning.

The temperatures' curve is reported in Fig. 5 (see Fig. 5-B). Relatively rapid variations are recorded during the first two hours. Temperatures' evolution is more regular afterwards. The curve shows a general tendancy towards a fall of temperatures, indicating a slow and progressive influence of the superficial cold water. However, between 25 mn and 90 mn of pumpage, an elevation of temperatures is recorded, resulting probably from comings of deep groundwater. In connection with this, it is worth noting that borehole F4, where assumption of deep water comings was expressed, reacts only about 25 mn after the begining of pumpage.

From the 3rd day of pumpage, waters' temperature became steady at 14.9°C. That can be interpreted by setting to equilibrium of underground and superficial origins of the caught waters.

## 7. OBSERVATIONS SYNTHESIS

On the experimental site, two zones hydrodynamically different were differenciaded through pump testing and after piezometric measures : a draining zone with a high diffusivity linked to probable existence of conduits (F3 and F4) and another zone with a very low diffusivity where flows would be alike to a Darcy flow in a narrow fissures netting (F2). These results point out the strong heterogeneity of the media.

The presence of a free water-level, just near the site, allowed the study of this heterogeneity taking into account another hydraulic phenomenon, which is the propagation of the river's fluctuations in the aquifer. The narrow fissured zone (F2) is

again characterized by a very weak permeability, when a complexity appears in the wave advancing in the draining zone. This zone, although characterized by punctual diffusivities relatively high ( $1 < D < 20 \text{ m}^2/\text{s}$ ), behaves, under the river's effect, like a weak diffusivity media ( $D$  about  $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ ). So, following the nature and the geographical origin of the hydraulic impulse, the effect on an observation point, is different. That is the consequence of the heterogeneity and the anisotropy of the aquifer at the scale of the experimental site.

This property of the media is probably the cause of the disparity of the temperatures' profiles achieved on the different holes. Under the hetero-thermic zone (15 m under the surface soil), temperatures in borehole F2 are higher than those in borehole F3. Now F2 has shown a lower diffusivity than F3, thus very slow water circulations, quite note perturbing the thermic gradient of a deep origin.

During pumpage, superficial waters' influence arrives progressively. Equilibrium between underground and superficial origins would be reached from the 3rd day of pumpage. Here too, this equilibrium could be considered as being the resultant of comings of different temperature waters from not much transmissive and very transmissive zones. Pumped waters' chemistry evolves, furthermore, slowly towards superficial waters' chemistry. Micro-fauna indicates a possible coming of river water with however, as it seems, a groundwater preponderance.

## 8. CONCLUSIONS

Pumping tests' interpretation is uneasy in karstic media due to flows which can be not laminar and due to the strong heterogeneity of the aquifer.

Classical models for analyzing pumping tests' data are thus inadequate or insufficient. In any cases, it appears advisable that the interpretation of piezometric levels' evolution be completed by other observations, such as natural tracers (physico-chemical, biological, thermic features of waters).

Only comparative interpretation of different phenomena can permit a better approach to the knowledge of the studied physical field.

## REFERENCES

- ATKINSON T.C. (1977) : Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, SOMERSET (G.B.).  
Journal of Hydrology 35, pp. 93.110
- AUZET J.P., DROGUE C., GRINGARTEN A.C. (1975) : Analyse d'essais de pompage dans les massifs calcaires fissurés. Interprétation du début du régime transitoire.  
3e Réunion An. Sc. de la Terre, MONTPELLIER, Résumé, 1 p.

- DROGUE C. (1974) : Structure de certains aquifères karstiques d'après les résultats de travaux de forages.  
C.R. Acad. Sc. PARIS, t. 278 (20 mai), série D, pp. 2621-2624.
- DROGUE C., UIL H. (1977) : Influence des eaux d'infiltration sur les profils géothermiques. Données expérimentales en milieu fissuré.  
5e Réunion An. Sc. de la Terre, RENNES, Résumé, 1 p.
- FERRIS J. (1951) : Cyclic fluctuations of water level as a basis for determining aquifer transmissibility.  
Assoc. Int. d'Hydrologie Scientifique. As. Gén. BRUXELLES, t. II, p. 148.
- GARNIER J.C., CLARION Cl. (1967) : Transmission des ondes de crue du Verdon à travers le massif d'appui rive droite du futur barrage de SAINTE-CROIX.  
La Houille Blanche, n° 1, pp. 61-71.
- GRINGARTEN A.C., WITHERSPOON P.A. (1972) : A method of analyzing pump test data from fractured aquifers.  
C.R. Conf. "Percolation through fissured rocks". Soc. Intern. de Mécanique des roches, STUTTGART, (18-19 sept.), 9 p.
- HANSHAW B.B., BACK W., DEIKE R.G. (1971) : A geochemical hypothesis for dolomitization by Ground Water.  
Economic Geology 66, pp. 710-724.
- KHIAM H. (1973) : Résultats d'essais de pompage réalisés sur quelques forages des karsts de la région montpelliéraine.  
Thèse 3e cycle - U.S.T.L., MONTPELLIER.
- LESCHER-MOUTOUÉ F. (1973) : Sur la biologie et l'écologie des Copépodes Cyclopidés hypogées (crustacés).  
Ann. Spéléol. 28-3, pp. 429-502, 28-4, pp. 581-674.
- MATHEY B. (1974) : Gradient géothermique et hydraulique souterraine dans un aquifère karstique.  
Bull. Soc. Neuchâteloise des Sc. Nat., t. 97.
- PAPIN D., KAUFMANN A. (1973) : Cours de calcul opérationnel appliqué.  
Albin Michel, éd.
- PITARD J. (1976) : Contribution à l'interprétation des essais par pompages dans les roches fissurées.  
Thèse 3ème cycle - U.S.T.L., MONTPELLIER.
- RAZACK M., DROGUE C., ROMARIZ G., ALMEIDA C. (1980) : Etude de l'effet de marée océanique sur un aquifère carbonaté côtier (Miocène de l'Algarve - Portugal).  
Journal of Hydrology, 45 (1980), pp. 57-69.
- ROUCH R. (1974) : Le système karstique du Baget. Etude des sorties d'Harpacticides au niveau de Las Hountas lors de plusieurs crues des cycles hydrologiques 1971-72 et 1972-73.  
Ann. Spéléol. 29-3, pp. 351-372.