

## Vorbereitung und Organisation größerer Markierungsversuche zur Verfolgung unterirdischer Wässer

Von VIKTOR MAURIN (Karlsruhe)

Der Mensch benötigt für Haushalt, Industrie und Bewässerungszwecke immer größere Mengen hochwertigen Wassers. Dieses kann in der geforderten Güte vielfach nur aus dem in der Erdkruste vorhandenen Wasservorrat gewonnen werden. Um dem ständig steigenden Bedarf entsprechen zu können, war man daher in den letzten Jahrzehnten immer mehr gezwungen, durch umfassende geologische, geophysikalische und hydrochemische Untersuchungen die unterirdischen Lagerstätten des Wassers systematisch zu erkunden. Da es sich beim Wasser aber ähnlich wie beim Erdöl um einen flüssigen Rohstoff handelt, der in den Poren und Klüften des Untergrundes zirkulieren kann, so ist für die Beurteilung der Produktivität dieser Lagerstätten die Frage der Herkunft und beim Wasser besonders die der Ergänzung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Regenerierung des Grundwassers erfolgt in den humiden Bereichen in der Regel laufend, so daß bei beschränkter Entnahme eine solche Lagerstätte praktisch unerschöpflich ist. Bei Überforderung können aber sowohl in quantitativer als auch in qualitativer Hinsicht schwere Schädigungen eintreten. Eine weitere Beeinträchtigung der Wassergüte droht den unterirdischen Vorkommen von den ungeheuren Mengen von Abwässern und Abfällen, die die fortschreitende Zivilisation und die Industrialisierung hervorbringen. Ein Großteil dieser Produkte wird in die Oberflächengewässer eingeleitet oder gelangt durch Versickerung direkt in das Grundwasser. Auch hier ist die Verfolgung der unterirdischen Wege dieser Verschmutzungen für die Sicherung von Wasserversorgungsanlagen und bei Projektierungen für die Bemessung der Schutzgebiete von großer Wichtigkeit.

Auch bei Baugrunduntersuchungen, im Berg- und Tunnelbau, bei der Errichtung von Wasserkraftanlagen und dergleichen mehr werden zur Abklärung der Verteilung, der Fließrichtung und der Fließgeschwindigkeit des unterirdischen Wassers in steigendem Maße Markierungsversuche vorgenommen.

Die durch einen solchen Versuch zu erzielenden Ergebnisse werden weitgehend von der richtigen Wahl des Markierungsmittels bzw. der Kombination verschiedener Stoffe, der eingesetzten Mengen und nicht zuletzt der räumlichen und zeitlichen Ausdehnung der Beobachtung abhängig sein. Um alle diese Faktoren entsprechend beurteilen zu können, sind eingehende Vorerhebungen notwendig. Ein größerer Markierungsversuch ist daher meist erst in einem fortgeschrittenen Stadium des Untersuchungsprogrammes sinnvoll oder dient vielfach als abschließender Akt der Bestätigung der bereits auf andere Weise gewonnenen Erkenntnisse.

Wie bei allen geotechnischen Experimenten muß auch der Durchführung eines größeren hydrologischen Markierungsversuches als wichtigste Grundlage immer ein eingehendes Studium der geologischen Verhältnisse der weiteren Umgebung vorausgehen. Die ersten Anhaltspunkte können bereits vorhandene Karten und die einschlägige Literatur liefern. Eine genaue Begehung des Geländes darf aber nie unterbleiben. Soweit Höhlen oder sonstige, künstliche Aufschlüsse einen Einblick in den Untergrund gestatten, wird man versuchen, auch diese auszuwerten. Aus der Kenntnis des Schichtbaues, der Tektonik, der Paläogeographie und der Morphologie eines Gebietes lassen sich bereits die ersten Schlüsse über Ausdehnung und Zusammenhang der unterirdischen Wasserwege ziehen.

Ein weiterer Schritt ist die genaue Erfassung der Wasservorkommen im gesamten Untersuchungsgebiet. Hierzu zählen alle Quellen, Bäche, Flüsse und Seen ober Tag, und, soweit zugänglich, auch alle unterirdischen Wässer in Höhlen, Stollen, Brunnen und Bohrungen. Bei dieser Aufnahme sollen die wichtigsten chemischen und physikalischen Kennwerte erhoben werden. So ist es zweckmäßig, bei Quellen die Schüttung zu messen oder wenigstens anzuschätzen sowie die Temperatur, die elektrolytische Leitfähigkeit, den pH-Wert, die Gesamt- und die Karbonathärte und fallweise auch Sulfat- und Chlorgehalt von allen wichtigen Wasservorkommen zu bestimmen. Die Auswertung der so gewonnenen Daten in Kartogrammen läßt auf der einen Seite zusammengehörige Quell- und Grundwasserareale erkennen und gibt anderseits Hinweise auf abweichende Verhältnisse, die oft nur durch lokal bedingte Einflüsse verursacht werden. Je genauer diese Voruntersuchungen gepflogen werden und je länger die Beobachtung von Grundwasserständen sowie der Wasserführung von Quellen, Gerinnen und Schwinden möglich ist, desto leichter wird es sein, die zweckmäßigste Anordnung für einen Markierungsversuch zu wählen und eine Gefährdung des Unternehmens durch unliebsame Überraschungen zu vermeiden. Wichtig ist es dabei, daß die Aufnahme und ihre Auswertung in Kartogrammen über den engeren, durch eine spezielle Fragestellung begrenzten Raum hinausgreift und auch noch dessen Rahmen mit erfaßt. So konnte z. B. der mit großem Einsatz (160 kg Uranin AP) durch-

geführte Färbeversuch zur Klärung des Phänomens der „Meerwasser-schwinden von Argostolion“ auf Kephallinia erst nach einer exakten karsthydrologischen Aufnahme der gesamten 750 km<sup>2</sup> umfassenden Insel richtig angesetzt werden (V. MAURIN & ZÖTL 1965). An der unvollständigen Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse scheiterten alle bis dahin von verschiedenen Seiten unternommenen Markierungsversuche. Erst durch die Erhebung der Abflußverhältnisse und -mengen sowie der Verteilung von Süß- und Brackwasserquellen an den Küsten war die Berechnung der unbedingt erforderlichen Farbstoffmengen und die Erstellung eines erfolgversprechenden Beobachtungsprogrammes möglich. Bei diesem Versuch konnte nachgewiesen werden, daß das an der Westseite der Insel versinkende Meerwasser an der Ostküste in 15 km Entfernung nach zwei Wochen wieder zutage trat. Die Antriebskraft für die Bewegung des Salzwassers quer durch die ganze Insel liefert das aus dem Hauptmassiv abfließende Süßwasser.

Wie wichtig eine genaue physikalische und chemische Erfassung der austretenden Quellwässer sein kann, zeigte eine im nordwestlichen Steinernen Meer mit rein praktischer Zielsetzung durchgeführte Untersuchung. Das zirka 700 m über dem Saalachtal liegende Dießbachbecken bot sich hier als günstiger Jahresspeicher für die Wasserkraftnutzung an. Verschiedenen wirtschaftlichen und baulichen Vorteilen dieses Projektes stand aber die Frage nach der Dichtheit des im Dachsteinkalk liegenden Stauraumes gegenüber. Bedenklich war vor allem eine starke Quellgruppe im Saalachtal mit insgesamt mehreren 100 l/s Abfluß, die unmittelbar unterhalb des Dießbachspeichers liegt. Temperatur- und Härtebestimmungen ließen aber bereits erkennen, daß der einheitlich anmutende Quellhorizont sein Wasser sowohl aus dem Grundwasser des Saalachtals wie auch aus dem Karstwasser des Steinernen Meeres bezog. Daraus ergab sich für den später durchgeführten kombinierten Sporentrift- und Färbeversuch die Notwendigkeit einer detaillierten Beobachtung dieser Quellgruppe, die dann auch für den Karstbereich den Nachweis der Existenz weitgehend voneinander isolierter Wasserwege erbrachte. Diese Erkenntnis war für die Beurteilung der Dichtheit des Stauraumes und die Bemessung der erforderlichen Injektionsarbeiten von wesentlicher Bedeutung (H. BRANDECKER, V. MAURIN & J. ZÖTL 1965).

Zur Berechnung der für einen Markierungsversuch notwendigen Einspeismengen ist wenigstens größenordnungsmäßig die Kenntnis des Volumens der betroffenen unterirdischen Wässer notwendig. Zu deren Erfassung führen meist nur langfristige Beobachtungen der Niederschläge und des Abflusses. Bei letzterem wird man sich vielfach auf die Kontrolle einiger repräsentativer Gerinne beschränken müssen. Das Verhältnis von NQ zu HQ gibt bei Quellen bereits Auskünfte über den Charakter des unterirdischen Wasserstranges. So lassen die Abflußverhältnisse am Lurhöhlensystem nördlich von Graz die Ham-

merbachquelle (1966: NQ 103 l/s, HQ 637 l/s) als den durch zwischen- geschaltete Engstellen in seinem Lumen beschränkten Normalwasser- abfluß, den Schmelzbach (1966: NQ 43 l/s, HQ 1035 l/s) aber als Hochwas- serüberlauf des Systems erkennen (H. BATSCHKE et al. 1967). Wo lang- fristige Niederschlags- und Abflußmessungen zur Verfügung stehen, lie- fern die Übereinstimmung oder die Diskrepanz der theoretisch errech- neten und der beobachteten MQ-Werte bereits Hinweise auf das tat- sächliche, oft von den morphologischen Grenzen abweichende Einzugs- gebiet. Diese Erkenntnisse müssen bei der Bemessung der Einspeismen- gen und des zu beobachtenden Areals berücksichtigt werden.

Schwieriger ist die Vorhersage der Durchgangszeiten. Diese sind für die anzusetzende Dauer des Versuches ausschlaggebend. Neben der Entfernung und der Höhendifferenz zwischen Injektionspunkt und Kon- trollstelle sind die Beschaffenheit des Untergrundes und die jeweiligen Wasserverhältnisse von großer Bedeutung. Welchen Einfluß die Was- serführung auf die Durchgangszeiten haben kann, zeigen vergleichende Untersuchungen im Mittelsteirischen Karst (K. BUCHTELA et al. 1964, H. BATSCHKE et al. 1967). Auch durch Altersbestimmungen der Wässer mit Hilfe radioaktiver Isotope ( $C_{14}$ ,  $T_3$ ,  $Si_{32}$ ) können wertvolle Hinweise gewonnen werden. Immer aber wird man auch auf die Ergebnisse älterer, unter ähnlichen hydrogeologischen Bedingungen durchgeführ- ter Versuche zurückgreifen (V. MAURIN & J. ZÖTL 1959, J. ZÖTL 1961, W. KÄSS 1965 u. a.). Wo langfristige Beobachtungen fehlen, bilden der- artige Vergleiche die einzige brauchbare Grundlage. Die genaue Auf- nahme des Untersuchungsgebietes ist aber trotzdem für jedes exakte hydrogeologische Experiment die unumgängliche Basis. Überall dort, wo nicht durch die Möglichkeit einer Gefährdung (z. B. radioaktive Tracer) oder der Beunruhigung der Bevölkerung (z. B. Färbung einer Wasserversorgung) dem Einsatz von Markierungsstoffen Grenzen ge- setzt sind, ist ein entsprechender Sicherheitsfaktor, der auch auf stär- kere Niederschläge während der Versuchszeit Rücksicht nimmt, einzu- kalkulieren. Als allgemeiner Grundsatz hat zu gelten, daß bei noch unbekanntem, vielfach komplizierten unterirdischen Wassersystemen der Einsatz zu großer Mengen eines Markierungsmittels immer noch rationeller ist als die Gefährdung eines Versuches durch Unterdosie- rung.

Eine weitere wichtige Frage ist die Wahl des Markierungsmittels. Dieses wird sich nach dem Versuchszweck und den hydrogeologischen und hydrochemischen Verhältnissen richten müssen. Darüber hinaus können auch andere Umstände, wie Transportmöglichkeiten, verfü-gbares Personal usw., die Entscheidung beeinflussen. In erster Linie ste- hen heute Färbe-, Salzungs- und aktivierungsanalytische Methoden, radioaktive Tracer und die Verwendung von Lycopodiumsporen als Triftmittel zur Debatte. Während Triftkörper nur in klüftigen Medien, besonders im Karst, verwendbar sind und nur eine qualitative Aussage erlauben, haben die vorerwähnten Markierungsstoffe durch die in den

letzten Jahren erfolgte Verfeinerung der Nachweismethoden immer größere Bedeutung für alle Bereiche erlangt. Für eine quantitative Auswertung der Ergebnisse und die Berechnung der im Untergrund angestauten Wassermassen sind aber zusätzlich noch genaue Abfluß- und womöglich auch Niederschlagsbeobachtungen während der Versuchsperiode erforderlich. Vorteile bieten die Lycopodiumsporen durch die Möglichkeit, sie verschieden anzufärben, so daß man bei einem Versuch — unter denselben hydrologischen Bedingungen — gleichzeitig mehrere Schwinden beschicken kann. Auf die einzelnen Markierungsmethoden, ihren Anwendungsbereich und ihre Grenzen soll hier nicht näher eingegangen werden, da zu diesen Fragen im vorliegenden Bande in zahlreichen Referaten Stellung genommen wird.

Ein Wort ist aber noch über die Kombination verschiedener Verfahren zu sagen. Die gemeinsame Verwendung mehrerer Methoden kann sich unter Umständen als notwendig oder zweckmäßig erweisen. So kann es ratsam sein, einen empfindlichen, aber im Gelände nicht unmittelbar nachweisbaren Tracer mit einem visuell erfäßbaren zu koppeln. Dadurch wird es möglich, eine sonst unnötig lange Versuchsdauer entsprechend zu beschränken. Sehr oft zwingen die unterschiedlichen lithologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes zu kombinierten Versuchen. Zur Abklärung versorgungswasserwirtschaftlicher Probleme im Bereich der Tauplitz-Alm am Südrande des Toten Gebirges wurden in den Jahren 1957 bis 1959 mehrere Sporentriftungen durchgeführt. Bei sonst guten Ergebnissen verlief der Nachweis des Abflusses der sogenannten Großsee-Schwinde negativ. Es war anzunehmen, daß in das Karstwassersystem eingeschaltete feinklastische Ablagerungen die Lycopodiumsporen abgefiltert haben. Ein bei einem abschließenden kombinierten Großversuch (3 Sporen- und 1 Farbeinpeisung) hier durchgeführter Einsatz von 10 kg Uranin AP betraf dann auch nicht nur alle Talquellen im engeren Tauplitz-Bereich, sondern auch Wasseraustritte im Norden des Toten Gebirges in 20 und mehr Kilometer Entfernung (V. MAURIN & J. ZÖTL 1964). Es ist dies ein eindrucksvolles Beispiel, wie erst die richtige Wahl bzw. Kombination der Markierungsmittel positive Ergebnisse gewährleistet. Damit ist aber schon angedeutet, daß es unter Umständen zweckmäßig sein kann, für die endgültige Planung eines Großversuches kleinere Testmarkierungen vorzunehmen.

Haben die vorerwähnten Erhebungen und Überlegungen zur Entscheidung über Art und Umfang eines Markierungsversuches geführt, so wird man an die eigentliche Vorbereitung zur Abwicklung des Untersuchungsprogrammes schreiten. Die speziellen Erfordernisse ergeben sich dabei aus der gewählten Untersuchungsmethode. Darüber finden sich in der einschlägigen Literatur mehr oder weniger ausführliche Anweisungen. Bei jedem großangelegten Versuch soll man aber auch einige allgemein gültige Richtlinien im Auge behalten. So ist es gerade in der heutigen Zeit zweckmäßig, sich schon früh genug sowohl

der erforderlichen fachkundigen Mitarbeiter für das Labor und die eventuelle Betreuung von Meßanlagen im Gelände wie auch der oft zahlreich notwendigen ungeschulten Hilfskräfte zu versichern. In einem verkehrsmäßig gut erschlossenen Gebiet kann die Errichtung der Beschickungs- und Entnahmestationen sowie der Abtransport der anfallenden Proben meist ohne Schwierigkeiten mit Hilfe von Kraftfahrzeugen bewerkstelligt werden; im Hochgebirge oder in unterentwickelten Ländern können dabei aber echte Probleme entstehen.

Bei der Abwicklung eines umfangreicheren und sich über eine längere Zeit erstreckenden Versuchsprogrammes kann es vorteilhaft sein, im Untersuchungsgebiet selbst eine Zentralstation zu errichten, von der aus der gesamte Versuch geleitet und wenn durchführbar auch durch laufende Kontrollen in einem Feldlabor überwacht wird. Erst dadurch wird es möglich sein, eine sonst notwendigerweise starre Versuchsanordnung durch die rasche Auswertung von Teilergebnissen zu variieren und den neuen Gegebenheiten anzupassen. Man ist unter diesen Umständen nicht mehr gezwungen, die Beobachtungen von vornherein übermäßig lange anzusetzen; wohl aber müssen alle Vorkehrungen für eine eventuell längere Versuchsdauer getroffen werden. Die Zentralstation dient auch als Versorgungsbasis für die einzelnen Beobachtungsstellen, und hier können auch entsprechende Materialreserven gelagert werden. Es ist daher notwendig, daß die Zentralstation für die Gesamtheit der Entnahmestationen günstig liegt. Jedenfalls ist sie so einzurichten, daß sie als Stützpunkt für alle Wechselfälle dienen kann. Sie muß besonders bei eventuellen Unglücksfällen die Möglichkeit haben, in kurzer Zeit Hilfe zu bringen oder anzusprechen.

Wenn es die örtliche Situation zuläßt, ist es zweckmäßig, daß alle an den Entnahmestationen eingesetzten Beobachter sich in der Zentralstation an- und abmelden. Wo dies in einem großräumigen Untersuchungsgebiet unmöglich ist, muß der Kontakt durch ein Kontrollorgan, das auch das Einsammeln der Proben übernehmen kann, gewährleistet sein. Diese unter Umständen mehrere Tage dauernden Kontrollfahrten sollen von zwei Personen ausgeführt werden, so daß in Notfällen ein Ersatzmann für die Beobachtungsstellen zur Verfügung steht. Zu den Beschickungsstationen hingegen sollen keine direkten personellen Verbindungen bestehen, um so eine Verschleppung des Markierungstoffes in die Labors zu vermeiden. Dasselbe gilt natürlich auch in bezug auf die Entnahmestationen.

Gestatten es die örtlichen Verhältnisse, so wird man die Beschickung an der letzten erreichbaren Stelle eines versinkenden Gewässers vornehmen. Besteht in einem offenen Gerinne kein spezifisches Schluckloch, sondern verteilt sich die Versickerung auf eine gewisse Strecke, so kann es zweckmäßig sein, die Beschickung weiter zurückzuverlegen. Tritt die Versickerung in einem See oder einem tümpelartigen Stau ein, so wird man nach der Einspeisung von Farbe, Salz oder radioaktiven Tracern in kurzen Abständen Kontrollen durchführen, um festzustellen,

wann eine vollständige oder doch weitgehende Erneuerung des gestauten Wassers erfolgt ist. Durch eine genaue quantitative Untersuchung der Proben im Zusammenhang mit der Bestimmung der zufließenden Wassermengen ist es dann auch möglich zu erfahren, in welcher Konzentration das Markierungsmittel in die unterirdischen Wasserbahnen eintrat. Besondere Vorkehrungen sind bei der Beschickung subaquatischer Schwinden sowie trockener Schluck- oder Bohrlöcher erforderlich (V. MAURIN & J. ZÖTL 1959, J. ZÖTL 1961).

Bei einem ideal durchgeführten Forschungsprogramm sollte man alle wesentlichen Wasseraustritte des Untersuchungsgebietes, die tiefer als die beschickten Schwinden liegen, unter Kontrolle stellen. Bei Forschungsvorhaben in einem ausgedehnten Areal wird man aber sehr oft gezwungen sein, die Zahl der Kontrollstellen zu beschränken. Man kann dann nur an den wichtigsten Quellen selbständige Beobachtungsstellen einrichten und muß kleinere Quellgruppen an ihrem Sammelgerinne gemeinsam überprüfen. Unbedingt soll aber vermieden werden, daß ein größerer Abfluß unbeobachtet bleibt. Selbst wenn sich die Fragestellung einer Untersuchung nur auf den Nachweis des Zusammenhanges einer Schwinde mit einem bestimmten Wasseraustritt beschränkt, ist es zweckmäßig, auch die weitere Umgebung in die Beobachtung einzubeziehen. Während nämlich ein negatives Untersuchungsergebnis bei der alleinigen Beobachtung der Quelle, auf die sich die Fragestellung bezieht, problematisch bleiben muß, lassen gleichzeitige positive Ergebnisse an anderen Kontrollstellen doch Schlußfolgerungen zu. Hier können auch weitere Beobachtungen, wie z. B. Schüttungs- und Temperaturschwankungen sowie die Trübung des Wassers in Abhängigkeit von den Niederschlägen, die Zusammensetzung des natürlichen Planktongehaltes u. dgl. m., wertvolle Hinweise liefern.

Besondere Vorkehrungen sind bei der Installierung von Beobachtungsstationen unter Tag (z. B. in Höhlen) erforderlich. Da diese unter Umständen schwer zu erreichen sind, wird man gezwungen sein, den Beobachtern einen längeren Aufenthalt durch die Einrichtung eines Biwaks zu ermöglichen. Hier ist es besonders wichtig, daß diese Stationen ausreichend mit Material versorgt sind, um bei einer zeitweisen Unterbrechung der Verbindung zur Versuchsleitung den ungestörten Ablauf der Untersuchungen zu gewährleisten. Können derartige Stellen durch Hochwässer gefährdet werden, so sind alle Vorkehrungen für die Sicherheit des Beobachtungspersonals zu treffen. Wenn möglich, ist schon vorher ein höher gelegener Fluchtort festzulegen. Sehr vorteilhaft wird in solchen Fällen eine Fernmeldeverbindung mit der Außenwelt, am besten mit der Zentralstation, sein. In dieser soll sich stets eine Person aufhalten, die mit den örtlichen Gegebenheiten der Untertagestation vertraut ist, um bei der Notwendigkeit einer Rettungsaktion Hinweise geben zu können. Während im allgemeinen alle Mitarbeiter an die Weisungen des Versuchsleiters gebunden sind, ist der Leiter einer Untertagestation verpflichtet, bei Gefahr für das Stations-

personal, ohne Rücksicht auf den Versuch, selbständig Entscheidungen zu treffen.

Bei einem größer angelegten Versuch ist die Heranziehung ungeschulter Mitarbeiter nicht zu vermeiden. Es ist daher zweckmäßig, die gesamte Versuchsanordnung möglichst unkompliziert zu gestalten. Auch sollen alle Teilnehmer wenigstens in groben Zügen über den geplanten Verlauf und das Versuchsziel informiert sein.

An den einzelnen Beobachtungsstationen ist bei einer Dauerbesetzung neben den speziellen Geräten für die Untersuchung und für den Aufenthalt ein Stationsbuch anzulegen, in dem sich eine genaue, aber klar formulierte und allgemein verständliche Anordnung über alle an dieser Station vorzunehmenden Beobachtungen und Manipulationen befindet. Das Stationsbuch soll außerdem eine Aufstellung des Stationsinventars beinhalten. Eine solche Kontrollstelle muß mindestens mit einem Stationsleiter und einem Helfer besetzt sein. Die Ablösung ist so einzurichten, daß die neue Mannschaft wenigstens einmal alle vorzunehmenden Beobachtungen noch mit der abzulösenden Gruppe gemeinsam durchführt. In der Zwischenzeit gezogene Proben werden, wenn sie nicht durch einen Boten schon abtransportiert wurden, von der abtretenden Besatzung in die Zentralstation eingeliefert. Diese persönliche Meldung dient auch noch der Berichterstattung.

Die Art der Beobachtungen richtet sich natürlich nach der gewählten Untersuchungsmethode. Daher sind Formulare (Beobachterprotokolle) entsprechenden Inhaltes aufzulegen, in die die Stationsbezeichnung, die Namen des Stationsleiters und seiner Mitarbeiter, der Zeitpunkt der Übernahme bzw. Übergabe unter gleichzeitiger Zeichnung des alten und des neuen Stationsleiters einzutragen sind. Von jedem dieser Protokollblätter wird eine Zweitschrift (Durchschrift) angefertigt. Ein Exemplar bleibt bis zur Beendigung des Versuches auf der Station, das zweite wird durch den abgehenden Stationsleiter in der Zentrale abgeliefert. Auf diesen Beobachtungsprotokollen werden alle Probenahmen und Messungen verzeichnet. Neben einer fortlaufenden Numerierung wird der genaue Zeitpunkt der tatsächlichen Manipulation festgehalten. Bei der Kombination verschiedener Untersuchungsmethoden werden die einzelnen Proben für die speziellen Verfahren selbständig fortlaufend numeriert. Bei Beobachtungen, für deren Auswertung eine Rechenoperation notwendig ist, wird nicht der endgültige Wert durch das Beobachtungspersonal errechnet, sondern die direkt gemessene Größe im Protokoll festgehalten. Letzten Endes dient das Stationsbuch zur Eintragung aller übrigen, im Protokoll nicht verzeichneten allgemeinen Beobachtungen und Ereignisse, wie Wetterlage, Niederschläge, Schwierigkeiten bei der Probenahme, Zeitpunkt der Probenabgabe an die Zentralstation, besondere personelle Vorkommnisse sowie Eintragungen des Versuchsleiters oder seines Kontrollorganes.

Um Markierungsversuche auch quantitativ auswerten zu können, ist neben sorgfältigen Abflußmessungen eine möglichst vollständige

Erfassung des Durchganges der Beschickungsmittel notwendig. Dies bedeutet, daß man bei einem derartigen Versuch sowohl in zeitlicher wie auch in räumlicher Hinsicht den negativen Rahmen des betroffenen Bereiches anstreben soll. Diese Forderung ist, besonders was die zeitliche Ausdehnung betrifft, oft schwer zu erfüllen. Aber gerade bei ergebnislosen Testen sollte man eine Verlängerung der Beobachtungszeit vornehmen, da negative Versuchsergebnisse in den meisten Fällen nur mit gleichzeitigen positiven einen Aussagewert besitzen. So blieb beispielsweise ein Färbeversuch in der Aggteleker Tropfsteinhöhle in Nordost-Ungarn zunächst erfolglos. Als man aber nach stärkeren Niederschlägen nach einigen Wochen nochmals die Beobachtung aufnahm, konnte in nahe gelegenen Quellen die eingespeiste Farbe wieder nachgewiesen werden (mündliche Mitteilung von Herrn Dr. L. JAKUCS, Jós-vafö).

Mit der langen Verweildauer von Beschickungsmaterial in den unterirdischen Wasserbahnen tritt die Frage nach der Wiederholbarkeit von Markierungsversuchen in den Vordergrund. Im Dinarischen Karst im Hinterland von Split wurden z. B. in den letzten Jahren mehrere Dutzend Großversuche mit Fluoreszein durchgeführt (B. PAVLIN 1961). Als Folge davon wiesen die Quellwässer dieses Gebietes lange Zeit hindurch eine geringe Fluoreszenz auf, die wahrscheinlich durch schwer lösliche Rückstände des Farbstoffes und Absorption im Untergrund verursacht wurde. Interessante Ergebnisse erzielte in dieser Hinsicht F. BAUER (H. BATSCHÉ et al. 1967) bei seinen langfristigen Beobachtungen des Durchganges von Lycopodiumsporen im Lurhöhlensystem. Von den während des Vergleichstestes im Rahmen der „Fachtagung über die Verwendung von Markierungsstoffen zur Verfolgung unterirdischer Wässer“ im März 1966 in den Lurbach eingebrachten Sporen wurden Reste noch über sechs Monate lang an der Hammerbachquelle ausgeschwemmt. Zwangsläufig ergibt sich damit aber die Forderung nach der Registrierung von Markierungsversuchen, um bei späteren Unternehmungen vor unliebsamen Überraschungen geschützt zu sein.

## Literatur

- BATSCHÉ, H. et al.: Ergebnisse der vergleichenden Markierungsversuche im Mittelsteirischen Karst 1966. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **18/19**, Graz 1967.
- BRANDECKER, H., V. MAURIN & J. ZÖTL: Hydrogeologische Untersuchungen und baugeologische Erfahrungen beim Bau des Dießbach-Speichers (Steinerne Meer). Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **17**, Graz 1965.
- BUCHTELA, K. et al.: Vergleichende Untersuchungen an neueren Methoden zur Verfolgung unterirdischer Wässer. Die Wasserwirtschaft, **54**, Stuttgart 1964.
- Käss, W.: Erfahrungen bei Färbversuchen mit Uranin. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **17**, Graz 1965.

- MAURIN, V. & J. ZÖTL: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **10/11**, Graz, 1959.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL: Karsthydrologische Untersuchungen im Toten Gebirge. Österr. Wasserwirtschaft, **16**, Wien 1964.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL: Salt Water Encroachment in the Low Altitude Karst Water Horizons of the Island of Kephallinia. Symp. on Hydrology of Fractured Rocks, UNESCO, Dubrovnik 1965.
- PAVLIN, B.: Réalisation du bassin d'accumulation de Peruća dans le karst Dinarique. Comm. Int. d. Grands Barrages, Sept. Congr., Rom 1961.
- ZÖTL, J.: Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, **13**, Graz 1961.

## Summary

Any large-scale tracing experiment should be preceded by careful geological and hydrogeological investigations throughout the test area. These preparations will establish not only the most relevant chemico-physical values of the surface and subterranean waters but also a survey of the hydrogeological connections. Only then it will be possible to decide on the kind of tracers and their combination, the number of injection stations, the extension of the necessary field of observation etc.

The result of the experiment often depends on careful preparation and the provision of sufficient personnel and material reserves. Continual discharge measurements at the springs under observation are necessary for the quantitative exploitation of the results.

## Résumé

Avant d'entreprendre une vaste expérience de marquage, il faut effectuer sur tout le territoire de test des recherches détaillées d'ordre géologique et hydrologique. Après avoir constaté aussi les plus importantes valeurs caractéristiques chimiques et physiques des eaux à la surface ainsi que des eaux souterraines, on peut, en combinant ces travaux préparatoires, donner déjà un aperçu sur les structures hydrogéologiques. Ce n'est que grâce à ceci qu'on peut prendre une décision exacte sur la nature des traceurs, leur combinaison, le nombre des postes d'injection, la dimension du terrain d'observation nécessaire etc.

Pour assurer le succès de l'expérience même il faut la préparer minutieusement, et souvent il est d'importance décisive de préparer des réserves suffisantes en personnes et en matériel. Pour le dépouillement quantitatif des résultats d'expériences il faut, sans interruption, mesurer aux sources observées les quantités qui en découlent.