

Methodik und Methoden der Karsthydrologie

Von JOSEF ZÖTL, Graz

Viele neue Erkenntnisse in den verschiedensten wissenschaftlichen Sachgebieten sind der Anwendung systematischer Arbeitsmethoden zuzuschreiben. Die Fortschritte in den einzelnen Zweigen der Wissenschaften wiederum hatten eine Vertiefung der Forschungsarbeiten zur Folge und führten zur Entwicklung neuer Forschungsmethoden. In allen Wissensgebieten ist ein Zug zur Spezialisierung nicht zu übersehen. Im besonderen können wir diese Vertiefung auch in der Karstforschung verfolgen.

Die Behandlung der karsthydrographischen Phänomene blieb, abgesehen von der Beschreibung örtlicher Details, bis zur Jahrhundertwende ohne spezielle Fragestellung im Rahmen allgemeiner Karstuntersuchungen. Noch in der Monographie von J. CVIJIĆ (1893) wird das „Grundwasser“ der verkarsteten Gebirge im Zuge der Beschreibung von Dolinen, obertägigen Karstflüssen und Poljen nur kurz behandelt.

A. GRUND eröffnete die klassischen karsthydrographischen Studien und damit die Debatte um spezielle Fragen der Karsthydrologie. Es war der Beginn einer Epoche, die mit dem Werk O. LEHMANN's „Die Hydrographie des Karstes“ (1932) ihren vorläufigen Abschluß fand.

Suchen wir nach den Arbeits- und Forschungsmethoden dieser Zeit, so finden wir eine Beschränkung auf die Deutung der mehr oder minder reichen Beobachtungsergebnisse der einzelnen Forscher, eventuell erweitert durch Bezugnahme auf spezielle örtliche Untersuchungen. Abgesehen von einigen Ausnahmen (z. B. H. BOCK, E. A. MARTEL, A. PENCK, W. v. LOZINSKI), stützten sich die Versuche einer theoretischen Erklärung des Wesens der Karsthydrographie auf Beobachtungen im klassischen jugoslawischen Karst, es erfolgte keine Beschränkung der theoretischen Erwägungen auf einzelne Gebiete.

Der Umstand, daß die Auswertung rein persönlicher Reiseeindrücke und Beobachtungen eine subjektive Angelegenheit ist, macht verständlich, daß die einzelnen Standpunkte sehr voneinander abwichen. Wesentlich für die persönliche Auffassung und Wertung der beobachteten Phänomene war die fachliche Ausgangsstellung des einzelnen. Die Höhlenkundler (z. B. H. BOCK, E. A. MARTEL) kamen zu einem anderen Urteil als die Geographen (z. B. A. GRUND, A. PENCK, N. KREBS, J. CVIJIĆ, E. DE MARTONNE), wieder andere Schlußfolgerungen zogen die Geologen, als deren Exponent F. KATZER zu nennen ist, während z. B. K. v. TERZAGHI Zurückhaltung übte und nach neuen Wegen suchte. Da es sich bei den einzelnen Hypothesen großteils um die Deutung persönlicher Einzelbeobachtungen handelte, wurde eine gegensätzliche Auffassung nicht selten als Angriff auf die eigene Person empfunden und zum Teil eine betrüblich spitze Feder geführt.

O. LEHMANN fühlte den Mangel des subjektiven Urteils und suchte die karsthydrographischen Phänomene durch deren Einordnung in allgemein physi-

kalisch-hydraulische Gesetze zu erklären. Die neuen Gesichtspunkte führten zur Klärung der hydrographischen Wegsamkeit der Klüfte. Die Beschränkung auf eine rein mathematisch-physikalische Schau aber mußte in wesentlichen Grundzügen dort zu Irrtümern führen, wo in der Natur eine Vielfalt von Faktoren zusammenwirkt, die einerseits nie im vollen Umfang erfaßbar ist, andererseits örtlich und zeitlich stark variiert. Unter diesen Umständen muß eine generelle und einseitige Anwendung von theoretischen mathematischen Formeln für den Mechanismus der Karsthydrographie scheitern und zu Trugschlüssen führen. Selbst in der viel eher erfaßbaren Hydrographie der Oberflächengerinne weist man heute eine schematische Anwendung mathematischer Formeln energisch zurück (M. PARDÉ 1954, p. 47!).

Die Methodik der Karsthydrologie wurde m. W. bisher noch nie als selbständiges Problem behandelt. Die Ausgangsstellung der Karsthydrologie liegt in der möglichst allseitigen Erforschung einzelner Objekte, keinesfalls aber in der Klärung von einzelnen Phänomenen. So entscheidet schon die Problemstellung, ob die Untersuchungsergebnisse für den Untersuchungsbereich allgemein gültig sind oder nur eine spezielle Frage beantworten; die Untersuchung eines speziellen Problems erlaubt keine generellen Rückschlüsse. Die möglichst allseitige Erfassung eines Untersuchungsgebietes verlangt auch eine gewisse räumliche Geschlossenheit desselben. Aus diesen Anforderungen ergibt sich, daß schon die Untersuchung eines einzelnen Objektes einen größeren Zeitraum umfassen, ja in den meisten Fällen die Zusammenarbeit mehrerer Personen erfordern wird.

Mit der Problemstellung und der Abgrenzung des Untersuchungsgebietes geht ein eingehendes Studium der Literatur und des Kartenmaterials Hand in Hand. Dabei sind nicht nur die vorhandenen geologischen und morphologischen Arbeiten heranzuziehen, sondern ebenso die klimatischen und hydrographischen Daten zu beachten. Auch die siedlungs- und wirtschaftsgeographischen Verhältnisse sind nicht ohne Belang (Wasserversorgungsanlagen, Kraftwerke etc.). Je gründlicher dieses Studium betrieben wird, desto mehr wird der nachfolgende Arbeitsgang, die karsthydrographische Aufnahme, erleichtert.

Die karsthydrographische Aufnahme

Diesem Arbeitsgang kommt die größte Bedeutung zu. In Gebieten, über die eine ausreichende geologische Bearbeitung vorliegt, wird auf eine spezielle geologische Aufnahme verzichtet werden können. Die karsthydrographische Aufnahme erfaßt Quellen, stehende Gewässer und Schwinden und wird auch das Auftreten und die Verbreitung der übrigen Karstphänomene (Dolinen, Schächte und Höhlen) vermerken. Mit der kartographischen Fixierung von Schwinden und Quellen erfolgt der Vermerk von Seehöhe und Quelltypus (Kluft-, Schichtgrenz-, Schuttquelle, Waller usw.) und die Festlegung der geologischen und morphologischen Situation, der eventuellen Nutzung, Fassung etc.

Es ist zweckmäßig, jede Quelle (mit einer fortlaufenden) Arbeitsnummer zu bezeichnen. Unter dieser Nummer wird jede Quelle in dem anzulegenden *Quellenkataster* geführt. Wir haben diesen bei unseren Erstaufnahmen im östlichen Dachsteingebiet in der Art von Formblättern angelegt, es ist jedoch von Vorteil, die Form eines Zettelkataloges zu wählen, in dem jeder Quelle ein Karteiblatt zukommt. Auf dieser Kartei- bzw. Katasterkarte werden auch alle weiteren Beobachtungen vermerkt; dazu gehören vor allem jene physikalischen Messungen, die schon während der Aufnahme getätigt werden, ferner die Ergeb-

nisse der chemischen Untersuchungen und eventueller späterer Färbungs-, Salzungs- oder Triftversuche. Zum Kataster gehört die Quellenkarte, auf der alle erfaßten Gewässer mit ihrer Katasternummer aufscheinen. Ein gut geführter Kataster erlaubt später eine statistische Auswertung und die Anlage von Übersichtsdiagrammen und -kartogrammen, die an sich schon interessante Arbeitsergebnisse liefern können, wie folgend gezeigt werden wird. Bei stehenden Gewässern, also hauptsächlich kleineren Seen und Tümpeln, sind die etwa in der Literatur vorliegenden Daten auf der Katasterkarte zu vermerken. Werden selbständig Messungen und Lotungen vorgenommen, so ergeben diese meist ein umfangreicheres Material, das auf der Katasterkarte nur auszugsweise und mit Hinweisvermerken festzuhalten ist.

Zu den physikalischen Messungen, die schon während der Aufnahme durchgeführt werden, zählen die Temperaturmessungen an den aufzunehmenden Gewässern. Dazu werden geeichte Wasserthermometer mit einer Einteilung auf Zehntel Grade benutzt. Die Möglichkeit einer Ablesung auf $\frac{5}{100}$ Grad genau reicht völlig aus, Spezialthermometer, die auf Hundertstel Grad genaue Bestimmungen ermöglichen, werden wohl nur in den seltensten Fällen zur Verfügung stehen und kaum für Routineaufnahmen verwendet werden können. Auf eine exakte Ablesung der Temperatur ist zu achten, es empfiehlt sich, zwei Messungen vorzunehmen. Werden mehrere Thermometer verwendet, so sind sie vorher zu vergleichen¹.

Die Messung der Quellschüttung ist im Zuge der ersten karsthydrographischen Aufnahme nur beschränkt möglich. Man führt Litergefäß, Stoppuhr und eine Blechröhre mit sich, wird sich aber in vielen Fällen, besonders bei starker Wasserführung, vorerst mit einer Schätzung begnügen müssen. Das ist bei der stark schwankenden Wasserführung der Karstquellen vorerst kein zu arger Mangel, doch ist auf dem Katasterblatt zu vermerken, ob sich die Schüttungsangabe auf eine Messung oder eine Schätzung bezieht. Wichtig ist sowohl für den Vermerk der Wassertemperatur als auch der Quellschüttung im Kataster die Angabe von Datum, Uhrzeit, örtlicher und allgemeiner Wetterlage.

Eine weitere sehr bedeutende physikalische Messung während der Aufnahme ist die Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit des Wassers. Dafür gibt es ein sehr leichtes und handliches Gerät im Normameter RW², das in der Außentasche eines Rucksackes Platz findet. Es handelt sich um eine Wheatstone-Bridge, bei der sämtliche Widerstände, das Zeigergalvanometer und die 4,5 V-Batterie in einem handlichen schwarzen Preßstoffgehäuse untergebracht sind. Um bei der Messung flüssiger Leiter Polarisationserscheinungen zu vermeiden, wird an die Meßeinrichtung ein Summer als Wechselstromquelle angesteckt, ein

¹ Diese Hinweise sind nicht unbegründet! Eine Überprüfung der bei G. KYRLE (1928) angegebenen Temperaturwerte bei der Hammerbachquelle zeigte, daß diese unmöglich stimmen konnten. KYRLE weist große Schwankungen zwischen den Tages- und Nachttemperaturen des Wassers aus. Wiederholte Messungen beim Salzungsversuch von V. MAURIN (1952), sowie vorher und später, zeigten eine große Konstanz der Wassertemperaturen. Es bleibt keine andere Erklärung, als daß der Ablesevorgang bei den durch KYRLE veranlaßten Messungen so langsam vor sich ging, daß die Lufttemperatur (es herrschten in der Nacht Minusgrade) bereits das Thermometer herabgedrückt hatte. Den Tabellen KYRLE's läßt sich zudem entnehmen, daß die Messungen an den einzelnen Quellen und Höhlengerinnen von verschiedenen Personen mit nicht abgestimmten Thermometern durchgeführt wurden. Dies ergibt sich daraus, daß KYRLE Temperaturunterschiede an Höhlengewässern ausweist (Schmelzbach, Laurinsquelle), wie sie in Wirklichkeit nicht bestehen. Es liegt auf der Hand, daß derartige „Messungen“ nicht nur wertlos, sondern abzulehnen sind, da sie zu Trugschlüssen und unberechtigten Folgerungen führen, die dann, ebenso wie die unrichtigen Daten, immer weiter geschleppt werden, da nur in Ausnahmefällen eine Überprüfung durch Dritte möglich ist.

² Modell 185 RW, erzeugt von den Norma-Werken in Wien. Es gibt auch größere, sowohl trag- als auch fahrbare Apparate ausländischer Firmen, vgl. G. SCHULZ (1957), p. 338 f.

Telephon dient als Nullanzeigegerät. Die Messung im Gelände erfolgt so, daß Wasser aus der Quelle geschöpft wird und Sonde und Thermometer in das wassergefüllte Schöpfgefäß kommen. Nach dem Einschalten des Summers erfolgt die Messung durch Einstellen des Vergleichswiderstandes und Drehen der Skalenscheibe, bis der Ton im Kopfhörer verschwindet oder auf sein Minimum zurückgeht. Nun werden die Skalenwerte und die Wassertemperatur notiert. Das endgültige Errechnen des Leitwertes in S bezogen auf eine einheitliche Temperatur erfolgt nach der dem Apparat beigegebenen Formel und etwaigen vorbereiteten Tabellen am besten am Ende des Aufnahmetages im Quartier. Die Daten werden am Katasterblatt vermerkt.

Auch chemische Untersuchungen der Quellwässer können zum Teil bereits während der Aufnahme durchgeführt werden. Da gerade karsthydrographische Aufnahmen fast immer auch in unwegsames Terrain führen, ist es unmöglich, schwere oder komplizierte Geräte mit sich zu tragen. Als überaus praktisch für die Bestimmung der Gesamthärte des Wassers hat sich die von FLASCHKA entwickelte Durognost-Methode (Herstellerfirma Heyl) erwiesen. Die Genauigkeit auf 1 bzw. $\frac{1}{2}$ Grad d. H. reicht im allgemeinen völlig aus. Schwierigkeiten treten nur bei Solquellen bzw. in Meeresnähe bei Brackwasserquellen auf. Bei den in solchen Fällen außergewöhnlichen Härten wird die Methode ungenau. Bei diesem Verfahren werden 5 bzw. 10 ccm Wasser mit einem Indikator versetzt und dann so lange Pillen zugesetzt, bis ein Farbumschlag erfolgt. Die Anzahl der zugesetzten Pillen ergibt die Gesamthärte in deutschen Härtegraden (bei 10 ccm in halben Graden). Das gesamte Gerät hat in der Rocktasche Platz und wiegt etwa 10 bis 20 dkg. Die Entwicklung weiterer einfacher Feldmethoden ist im Gange.

Auch für die Bestimmung des pH-Wertes gibt es verschiedene Feldmethoden, doch hat sich bei den vielen Hunderten von chemischen Wasseruntersuchungen, die von uns bisher durchgeführt wurden, gezeigt, daß die Bestimmung des pH-Wertes für die Beurteilung der allgemeinen karsthydrographischen Verhältnisse von wenig Belang war. Das gilt nicht für speziell gelagerte Untersuchungen (z. B. Bestimmung der Kohlensäureaggressivität) bzw. schon durch extreme Härte- und Leitfähigkeitsbefunde auffallende Quellgruppen, doch ist in solchen Fällen ohnedies eine eingehende chemische Untersuchung des Wassers im Labor vonnöten.

Die Auswertung der karsthydrographischen Aufnahme und weitere Untersuchungen allgemeiner und spezieller Natur

Zur Auswertung der karsthydrographischen Aufnahme gehören die Übertragung der physikalischen und chemischen Meßergebnisse auf die topographische Karte, die Herstellung von Kartogrammen, und die bildliche Darstellung der Meßergebnisse in Diagrammen.

Bezüglich der Quellwassertemperaturen ergibt sich dabei auch in Karstgebieten örtlich eine Differenzierung nach der Höhe und nach der geologischen und morphologischen Situation. Die Verhältnisse können stark variieren. Im weiteren Umkreis der Tauplitz (Totes Gebirge) ergab sich eine durchschnittliche Abnahme der Quellentemperaturen von $0,45^{\circ}$ C pro 100 m Höhe, in einzelnen Bereichen des südlichen Dachsteingebietes eine solche von $0,43^{\circ}$ C. Ein interessantes Ergebnis brachte ein Temperaturkartogramm aus einer gemeinsam mit V. MAURIN durchgeführten karsthydrographischen Aufnahme auf Keph-

lenia (Jonische Inseln), das eine Konzentration der tieferen Temperaturen an der Ostküste aufzeigte. Aber auch aus den Beobachtungen der Quellwassertemperaturen dürfen von örtlichen Verhältnissen aus nicht ohne weiteres allgemeine Schlußfolgerungen gezogen werden. Umfassende Untersuchungen von Wassertemperaturen großer karsthydrographischer Einheiten liegen nur wenige vor. Einzeluntersuchungen hat schon F. KERNER (1903, 1905, 1906, 1911, 1912, 1932) zum Teil auch in Karstgebieten durchgeführt, doch geht er entschieden zu weit, wenn er bereits aus Temperaturunterschieden von einigen Hundertstel Grad C (!) auf getrennte Wasserwege schließt. Auch die Wassertemperatur ist nur ein Faktor im Zusammenspiel der karsthydrographischen Verhältnisse³.

Die Aufnahme der ungefähren Quellschüttungen bringt für's erste einen Überblick über die Verteilung der Wasserspende eines Karstbereiches und deren Schwerpunkte. Auch für diesen Überblick ist das Kartogramm überaus wertvoll.

Eine derartige Darstellung verlangen auch die während der Feldarbeit durchgeführten Bestimmungen der Leitfähigkeit und der Gesamthärte. Auch hierbei ergeben sich Hinweise, die der Einzeluntersuchung versagt bleiben. Im östlichen Dachsteingebiet brachte eine, damals noch recht ungenaue Methode der Härtebestimmung wenigstens die Möglichkeit, die zahlreichen kleinen stehenden Gewässer, Lacken und Tümpel, in reine Ansammlungen von Niederschlagswasser und unterirdisch gespeiste Gewässer zu trennen. Auf Kephallenia konnten wir für den Hauptteil der Insel eine interessante Gliederung der Quellen erzielen, die die eindeutige Massierung der Brackwasserquellen auf einen Abschnitt der Ostküste und die durchaus nicht regellose Verteilung des Salzgehaltes ergab. Im besonderen lassen sich auch wertvolle Hinweise auf geologische Details gewinnen. So wurde bei den eigenen Arbeiten offensichtlich, daß die Auswertung einer exakten Aufnahme bereits Einblicke gestattet, die für die Einleitung und Durchführung weiterer Untersuchungen richtungweisend sind.

An die Auswertung der Aufnahmeergebnisse knüpfen sich Sammel- und Dauerbeobachtungen. Sammelbeobachtungen sind beispielsweise umfassende chemische Analysen ausgesuchter Quellen verschiedener Quellgruppen, sowie von Quellwässern, deren Härte- oder Leitfähigkeitsbild bereits im Zuge der Aufnahme auffiel. Diese Untersuchungen sind an ein entsprechend eingerichtetes Labor gebunden und werden in den meisten Fällen Fachkräften überlassen werden müssen. Im Zuge unserer Arbeiten wurden nun schon Hunderte von chemischen Wasseranalysen durch das Institut für biochemische Technologie und Lebensmittelchemie an der Technischen Hochschule Graz durchgeführt⁴. Neben Gesamthärte und Leitfähigkeit werden nun pH-Wert, Ammoniumverbindungen, Nitrit, Alkalität bzw. Karbonathärte, Calciumoxyd, Sulfat- und Chloridgehalt bestimmt (vgl. K. STUNDL 1959). Für die Entnahme der Wasserproben sind 1-Liter-Flaschen notwendig, bei unseren letzten Untersuchungen haben wir Plastikflaschen verwendet, die sich als ungemein praktisch und

³ Als Beispiel mögen die Quellen im Koppenwinkel bei Obertraun (Dachsteingebiet) dienen: In 530 bis 540 m Seehöhe liegend, ist ihre sommerliche Wassertemperatur, die 4,7° C beträgt, zu kalt. Zu den Quellen in der Koppenbrüller Höhle und in deren Umkreis (665 m SH, 5,3° C) besteht ohne Berücksichtigung des Höhenunterschiedes eine Differenz von 0,7° C. Trotzdem werden beide Quellgruppen aus einem gemeinsamen Karstwasserkörper gespeist. Diese letztgenannte Tatsache hat ein Großtriftversuch erwiesen, eine Detailuntersuchung hat die tiefe Temperatur der Quellen im Koppenwinkel geklärt: Die hier austretenden Wässer nehmen am Rande des Massivs noch Schmelzwässer aus den Dachstein-Rieseneishöhlen auf.

⁴ Herrn Hochschulprof. Dr. K. STUNDL sei für sein hochherziges Entgegenkommen auch auf diesem Wege ergebenst gedankt!

robust erwiesen. Diese chemische Sammelbeobachtung liefert bereits besondere Hinweise bezüglich der Stellung von Quelltypen, des Gehaltes an gelöstem CaCO_3 , der Schichtfolgen bzw. des Schichtwechsels und des Zutrittes von Oberflächenwässern. Diese Untersuchungen sind auch von praktischem Interesse, da sie bereits Befunde für etwaige Fassungen oder Stollenbauten (Betonaggressivität) darstellen. Ein gut geführter und umfassender Quellenkataster ist auch für den Bergingenieur eine überaus wertvolle Grundlage.

Interessante Ergebnisse und Hinweise können sich auch aus systematischen Planktonuntersuchungen ergeben. Als Hinweis mag genügen, daß bei eigenen Untersuchungen im Raume der Voralpe (Niederösterreich) bereits aus dem Planktongehalt einer Quelle deren besondere Stellung ersichtlich wurde, was spätere Versuche bestätigten. Im allgemeinen aber wird man sich für diese Untersuchungen ebenfalls die Mitarbeit geschulter Fachkräfte sichern müssen (vgl. K. STUNDL 1959, E. DOEPPER 1959).

Wichtige Sammelbeobachtungen sind weiters Schüttungsmessungen an den Abflüssen der großen Quellen und an den Vorflutern mittels des hydrometrischen Flügels. Da es sich nur um wenige Messungen pro Quelle oder Vorfluter handelt, kann auf eine Sohlbegradigung und auf den Bau eines Meßsteges verzichtet werden. Für die einzelnen Meßprofile ergibt sich die Anzahl der notwendigen Meßlotrechten aus Wasserführung und Profilstadt. Bei der sog. 2-Punkt-Messung nach H. KREPS (1955) genügen zwei Messungen für jede Meßlotrechte. Diese Messung geht relativ rasch vor sich und hat eine ausreichende Genauigkeit von $\pm 5\%$; sie ermöglicht, eine ganze Anzahl von Gerinnen an einem Tag zu messen. Zur überschlägigen Beurteilung der Wasserführung sollen zumindest vier Messungen, zwei Mittelwasser-, eine Hoch- und eine Niederwassermessung, vorliegen. Die genaue Erfassung der Wasserführung ist nur durch Dauerbeobachtungen möglich.

Die Dauerbeobachtung der Schüttungsverhältnisse kann mehrere Wege beschreiten. Ein Idealfall liegt dort vor, wo alle Sammelgerinne durch Schreibpegelanlagen kontrolliert werden. Das ist beispielsweise im östlichen Dachsteingebiet der Fall. Die Ergebnisse der nunmehr drei bzw. vier Jahre laufenden Messungen werden nach einem Jahrzehnt im Verein mit den Niederschlagsmessungen im Plateaubereich den gesamten Gebirgsstock betreffende Daten liefern, die wirklich exakte Rückschlüsse auf den jährlichen Wasserhaushalt gestatten⁵. Diese Beobachtungen versprechen umso mehr Ergebnisse von hohem Interesse, als eigene überschlägige Berechnungen im Toten Gebirge ergeben haben, daß der von H. KESSLER (1958) für ungarische Karstgebiete berechnete „entscheidende Niederschlagsanteil“ für die Wasserführung der genannten nordalpinen Karststöcke nicht von derselben Bedeutung ist wie für jene Ungarns.

Es ist freilich nicht möglich, alle karsthydrologischen Untersuchungsobjekte einer so umfassenden Abflußkontrolle zu unterwerfen, wie dies für das Dachsteinmassiv erreicht werden konnte. Mit einer entsprechenden Begründung ist es jedoch nicht allzu schwierig, den überaus aufgeschlossenen amtlichen hydrographischen Dienst oder die Interessenten aus dem Kreise der Elektrizitätswirtschaft zur Aufstellung oder Übernahme einzelner Beobachtungsstationen zu bewegen, sofern sich eine ernsthafte und zielbewußte Arbeit erkennen läßt. Es ist überhaupt zweckmäßig, alle hydrographischen Meßarbeiten in Zusam-

⁵ Die Messungen werden durch das Speläologische Institut Wien (Vorstand Sekt.-Chef Dr. R. SAAR, und Dr. F. BAUER) in Zusammenarbeit mit den Hydrographischen Landesämtern durchgeführt.

menarbeit mit dem hydrographischen Dienst durchzuführen, da die reiche Erfahrung dieser Dienststellen eine wertvolle Hilfe darstellt, wie andererseits die hydrographischen Landesämter die Zentralen für alle hydrographischen Arbeitsergebnisse darstellen sollen. — Vielfach werden auch mit Lattenpegel- und Meßwehrstationen noch recht brauchbare Meßergebnisse erzielt, besonders dort, wo Vergleiche mit automatisch schreibenden Stationen möglich sind.

Eine weitere, überaus wertvolle Dauerbeobachtung ist die laufende chemische Untersuchung von ausgesuchten Quellwässern. Das kann so gehandhabt werden, daß verlässliche Umwohnende täglich eine Wasserprobe entnehmen und in gewissen Zeitabständen die gesammelten Proben dem Labor zugeführt werden. Auch hier kann man den Umfang der chemischen Untersuchungen den Gegebenheiten anpassen und unter Umständen schon allein mit Hilfe der Leitwert- und Härtebestimmungen wertvolle Ergebnisse erzielen. Im Zusammenhang mit der täglichen Ziehung der Wasserproben ist auch eine Temperaturmessung durchzuführen, wodurch der jährliche Gang der Wassertemperatur festgehalten wird.

Den geschilderten allgemeinen und umfassenden Untersuchungen werden letzten Endes spezielle folgen. Bei diesen handelt es sich vor allem um Versuche, die unterirdischen Wege des Wassers zu verfolgen. Die einzelnen Methoden wurden bereits eingehend beschrieben (V. MAURIN und J. ZÖTL 1959). Hier sei nochmals darauf verwiesen, daß sich die Wahl der Methode nach den gestellten Anforderungen und den gegebenen lokalen Verhältnissen zu richten hat. Die Verwendung radioaktiver Isotopen und die Triftung von Bakterien wird auf seltene, besondere Fragestellungen beschränkt bleiben. Werden sehr genaue Durchgangsergebnisse benötigt, so ist die Einspeisung von Salzen zu empfehlen. Für großräumige Untersuchungen wird auf Grund des hohen Material- und Personalaufwandes der Einsatz von Salzen nur in besonders gelagerten Verhältnissen möglich sein. Ansonsten hat sich wegen der erforderlichen geringen Mengen und unbedeutenden personellen Anforderungen die Triftung von *Lycopodium*sporen als günstig erwiesen, umso mehr, als die Verwendung verschiedener gefärbter Sporen die gleichzeitige Durchführung mehrerer Versuche gestattet. Verbreitete Vorkommen von Lockersedimenten im Untersuchungsgebiet können aber die Triftung von Bärlappsporen verbieten. Vielfach wird in solchen Fällen auf die Verwendung von Farbe (Uranin) zurückzugreifen sein.

Die Durchführung solcher spezieller Versuche, wie sie die Verfolgung der unterirdischen Karstwasserwege darstellt, ist erst nach gründlichen und umfassenden Untersuchungen allgemeiner Natur, wie sie bereits geschildert wurden, möglich, wenn der Erfolg, die allseitige Auswertung, die richtige Beurteilung der Ergebnisse und die Wirtschaftlichkeit dieser Unternehmungen gesichert sein sollen.

Vergleicht man die im Vorhergehenden kurz skizzierte Methodik systematischer karsthydrographischer Untersuchungen mit jener, die bisher in den aus diesem Sachgebiet vorliegenden Arbeiten angewendet wurde, so ist zu sagen, daß nur sehr wenige methodisch richtig geführte Studien vorliegen. Auch die eigenen Arbeiten können noch nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Wirklich systematische Arbeiten werden durch H. KESSLER in den ungarischen Karstgebieten betrieben, doch steht auch hierüber eine zusammenfassende Veröffentlichung noch aus.

Was sich aus meinen Erfahrungen abzeichnet, ist, daß sich die Hydrographie verkarsteter Gebirge zunächst regional verschiedenartig präsentiert.

Diesbezüglich liegen z. B. die Verhältnisse in Ungarn anders als im nordalpinen Karst oder in den mediterranen Inselbereichen. Darüber hinaus scheint eine grundsätzliche Trennung von „seichtem“ und „tiefem“ Karst notwendig zu sein. Andererseits sind große Parallelen nicht zu übersehen. Und hier eröffnet sich die typisch geographische Aufgabe der Karsthydrologie: Der allseitigen räumlichen Erfassung der einzelnen Objekte, der streng induktiv geführten Forschung, muß der überregionale Vergleich folgen. Es wird aber noch vieler regionaler Untersuchungen bedürfen, bis die „Hydrographie des Karstes“ geschrieben werden kann.

Literatur

- BOCK, H.: Wasserverhältnisse in verkarsteten Gebieten. In: Höhlen im Dachstein, Graz 1913.
- Der Karst und seine Gewässer. Mitt. f. Höhlenkunde, 6, 3, 1913.
- CVIJIĆ, J.: Das Karstphänomen. Geogr. Abh. hsg. v. A. Penck, 5, 3, 1893.
- Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst. Rec. d. Trav. de l'Inat. de Géogr. Alp., Grenoble 1918.
- Circulation des eaux souterraines et l'érosion karstique Festschr. f. Gorjanovic-Kramberger, Agram 1925.
- DOEPPER, E.: Die Diatomeen in natürlichen Gewässern. In: V. MAURIN und J. ZÖTL: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 1959, 1/2, Graz 1959.
- GRUND, A.: Die Karsthydrographie. Studien aus Westbosnien. Geogr. Abh. hsg. v. A. PENCK, 7, 3, 1903.
- Zur Frage des Grundwassers im Karst. Mitt. Geogr. Ges. Wien, 53, 1910.
- Beiträge zur Morphologie des Dinarischen Gebirges. Geogr. Abh. hsg. v. A. PENCK, 9, 3, 1910.
- KATZER, F.: Zur Karsthydrographie. Pet. Mitt., 54, 1908.
- Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel, 8, Sarajevo 1909.
- KERNER, F.: Untersuchungen über die Abnahme der Quelltemperatur mit der Höhe im Gebiete der mittleren Donau und des Inna. Sitzber. Ak. Wiss. Wien, math.-natw. Kl., 112, 2 a, 1903.
- Über die Abnahmen der Quelltemperaturen mit der Höhe. Meteor. Ztschr., 1905.
- Abnahme der Quelltemperatur im Prologgebirge in Dalmatien. Meteor. Ztschr., 1906.
- Mitteilung über die Quelltemperaturen im oberen Cetinale. Verh. Geol. RA, 1911.
- Einfluß geologischer Verhältnisse auf die Quelltemperaturen in der Tribulaungruppe. Verh. Geol. RA, 1911.
- Beitrag zur Thermik der Karstquellen. Verh. Geol. RA, 1912.
- Anisothermie in Quellhorizonten und ihre geologische Deutung. Sitzber. Ak. Wiss. Wien, math.-natw. Kl., Abt 1, 141, 1932.
- KESSLER, H.: Estimation of subsurface water resources in karstic regions. Extrait des Comptes Rendus et Rapports — Assemblée Générale de Toronto 1957 (Gentbrugge 1958), Tome II.
- Lineare Meßwehren für Quellschüttungen. In: V. MAURIN und J. ZÖTL: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 1959, 1/2, Graz 1959.
- KREBS, N.: Die Halbinsel Istrien. Geogr. Abh. hsg. v. A. Penck, 9, 2, 1907
- Neue Forschungen zur Karsthydrographie. Pet. Mitt. 54, 1908.
- KREPS, H.: Näherungsverfahren bei hydro-metrischen Feldarbeiten und ihrer Auswertung. Österr. Wasserwirtschaft, 6, 1/2, 1954.
- KYRLE, G.: Kombinierte Chlorierung von Höhlengewässern. Spel. Monogr. 12, 1928.
- LEHMANN, O.: Die Hydrographie des Karstes. Enzykl. d. Erdkunde, 6 b, Wien 1932.
- LOZINSKI, W.: Die Karstereineigungen in galizisch Podolien. Jahrb. Geol. RA, 57, 1907.
- MARTEL, E. A.: La théorie de la „Grundwasser“ et les eaux souterraines du Karst. La Géographie, 21, 1910.
- DE MARTONNE, E.: L'hydrographie du Karst. Ann. de Géogr. Paris 1933.
- MAURIN, V.: Ein Beitrag zur Hydrogeologie des Lurböhlensystems. Mitt. Natw. Ver. f. Stmk. 81/82, 1952.
- Untersuchungen am unterirdischen Lauf des Lurbaches zwischen Semtjach und Peggau. Mitt. Höhlenkomm. 1952.
- u. ZÖTL, J.: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 1959, 1/2, Graz 1959.
- PARDE, M.: Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluß bei großen Sommerhochwassern. Bonner Geogr. Abh. 15, 1954.
- PENCK, A.: Über das Karstphänomen. Schriften d. Ver. z. Verbreitung natw. Kenntnisse in Wien, 44, 1904.
- Das unterirdische Karstphänomen. Rec. Trav. (Festschr. f. M. J. CVIJIĆ), Belgrad 1924.
- SCHULZ, G.: Färb- und Salzungsversuche an unterirdischen Wässern in Süddeutschland. Jh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, 2, 1957.
- STUNDL, K.: Das Ergebnis der chemischen Untersuchung von Wasserproben aus dem Gebiet des Garracher Waldes und seines nördlichen Vorlandes (Oststeiermark). Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, NF 1958, 1/2, Graz 1958.
- Vergleichende chemische und physikalische Untersuchungen. In: V. MAURIN u. J. ZÖTL: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 1959, 1/2, Graz 1959.
- Vergleichende Planktonuntersuchungen. In: w. o.!
- TERZAGHI, K.: Beitrag zur Hydrographie und Morphologie des Kroatischen Karstes. Mitt. aus d. Jahrb. kgl. ung. Geol. Reichsanstalt, 20, 1912/13.