

NEUE ERGEBNISSE DER KARSTHYDROLOGIE

Untersuchungen im Dachsteingebiet mit Hilfe der Sporenriftmethode

Josef Zötl

Mit 1 Abbildung

New results in karst hydrology

Summary: Since 1954 the author has been carrying out karst hydrographic investigations in the south-eastern Dachstein area (Upper Austrian — Styrian Limestone Alps).

The Dachstein massif is a typical representative of east Alpine block shaped mountains; thick layers of Triassic limestones and dolomites which lie on top of marly Werfen strata and Paleozoic phyllites rise steeply from the surrounding valleys. The massif possesses extensive plateau surfaces with pronounced karst features and lacks surface drainage.

In order to clarify the catchment areas of the foreland streams, in the summer of 1956, spores of *Lycododium clavatum* were put into five sink holes on the plateau of the eastern Dachstein area and springs at the foot of the massif were kept under observation with plancton nets. This spore drift method, which was introduced in 1953 by A. Mayr for the investigation of a subterranean water-course in the western Dachstein area, proved its worth also in this case. This method has the advantage that in contrast to the usual method of putting chloride or dyes into karst streams, the amount of material and the number of people required can be very small, a fact which may be of decisive importance for investigations in out of the way and not easily accessible places. This spore drift method was further developed in the eastern Dachstein area by using dyed spores.

The results of the five experiments which were carried out in the eastern Dachstein area lead to the conclusion that there is an interconnected and water filled network of cavities, a karst water system, whose culmination lies in the central part of the Massif.

Practical results of these investigations were that they allowed conclusions to be reached for the calculation of the catchment areas of the foreland streams in limestone mountains and also as regards the problems of preventing the pollution of springs. In addition conclusions could be drawn about the subterranean drainage of block shaped Alpine limestone mountains. In this respect the concept of A. Grund (1903, 1910) that there is a uniform karst water table in limestone mountains opposed the theory of O. Lehmann (1932) according to which the subterranean drainage of a limestone massif takes place by means of a number of independent karst vessels. The results of the spore drift experiments in the eastern Dachstein area brought these two contrasting theories into closer proximity; although it was possible to prove the existence of an on the whole interconnected karst water system, the possibility of a complete transfer of the concept of the characteristics of ground water in loose permeable rock to the conditions in limestone mountains does, however, not exist. The validity of the results gained by the spore drift experiments in the eastern Dachstein area must for the time being, of course, be limited to karst massifs in the eastern Alps, until the results of further investigations elsewhere become available.

Das Untersuchungsgebiet

Wie die meisten Kalkstöcke der nördlichen Kalkalpen östlich der Saalach ragt auch das Dach-

steingebiet jäh aus den umliegenden Tallandschaften auf. So führen von Obertraun (520 m a. H.) zwei Seilbahnen in den Nordsaum des Plateaubereiches, das hier von 1700 m a. H. nach Süden hin ansteigt. Der Wanderer aber, der von Süden her in das Dachsteinplateau eindringen will, muß von der Ramsau aus (ca. 1100 m a. H.) weitere 1100 m in steilem Anstieg überwinden, bis er die Plateaufläche in 2200 m a. H. erreicht. Über das Plateau erheben sich dann erst die massigen Gipfel, von denen sieben über 2800 m a. H. aufragen (Hoher Dachstein 2996 m). Zu ihren Füßen liegen Eisfelder mit einer Gesamtfläche von etwa 6,2 km²¹⁾.

Das Kargebirge der Dachsteingipfel liegt einschließlich der Eisfelder bereits außerhalb des eigenen Arbeitsgebietes. Dieses setzt mit seiner Westbegrenzung dort an, wo das Plateau mit der Hochfläche „Auf dem Stein“ (1800 bis 2200 m a. H.) mit 7 km seine größte Breite erreicht, und umfaßt außer der genannten Hochfläche die östlich und nordöstlich anschließenden morphologischen Glieder des östlichen Dachsteingebietes, nämlich das Kammergebirge, den Zug der Kammspitze, den Koppenstock und die Krippenstein-Speikberggruppe.

Das Plateau dacht gegen Norden und Osten ab, fällt aber nur im Nordosten in einigermaßen gangbaren Hängen zum Becken von Mitterndorf ab, während der Abbruch gegen Norden zum Tal der Traun und nach Osten zum Paß Stein dem Abfall zur Ennstalfurche bzw. zur Ramsau in keiner Weise an Steilheit und Unnahbarkeit nachsteht. Das somit nur gegen Westen willkürlich abgegrenzte Untersuchungsgebiet hat eine Ausdehnung von ca. 284 km².

Der Großteil des Plateaus ist aus Dachsteinkalk aufgebaut, der im Süden in Hauptdolomit und im Südosten in Riffkalk übergeht. Kalk und Dolomit werden von den Werfener Schichten (Sandstein, Mergel, Werfener Schiefer) unterlagert, und diese ganze triassische Schichtenfolge liegt wiederum auf den paläozoischen Ennstaler Phylliten. Aber nur im Süden streichen die wasserstauenden Schichten über dem Talboden

¹⁾ Nach den Messungen von E. Arnberger und E. Wilthum (1953) hatte das größte geschlossene Gletscherfeld der Dachsteingruppe, der Hallstätter Gletscher, 1951 eine Ausdehnung von 3,36 km² gegen mehr als 5 km² 1856.

aus. Sie stehen hier an den Hängen zur Ramsau in 1700 m a. H. an, gegen Osten verlieren sie an Höhe. Im Norden reicht der Dachsteinkalk unter den Spiegel des Hallstätter Sees (510 m a. H.) hinab, entlang von Längsbrüchen sind die nordseitigen Schichtpakete abgesunken.

Das Plateau des Dachsteingebietes erfährt in Übereinstimmung mit den übrigen oberösterreichisch-salzburgischen Kalkalpen durch die Geomorphologen eine Gliederung in mindestens zwei Niveaus (Abtragungsflächen) verschiedenen Alters, an die eine Reihe alter Talsysteme anschließt. Die Plateauflächen tragen das Gepräge eiszeitlicher Überformung (Rundhöckerlandschaft, Moränenreste), die die Hänge gliedernden Tälchen sind Hochtröge mit typisch unterschliffenen Seitenwänden und Stufenmündungen zum Enns- bzw. Trauntal.

Trotz der charakteristischen Ausbildung von Formen eiszeitlicher Gletscherarbeit sind es aber vor allem die Karstphänomene, die dem Plateaubereich den augenfälligsten Stempel aufdrücken. Dolinen, Wannens und Karstgassen begründen die außerordentliche Ungangbarkeit des Gebietes schon in den bewaldeten Plateaubezirken, dem Tourismus widrige Umstände, die sich in der Hauptregion der Karrenfelder (zwischen 1700 und 2400 m a. H.) noch verschärfen. Im Verein mit ungünstigen Witterungsverhältnissen — das Plateau hat ca. 2000 mm Jahresniederschlag —, die in Form von Nebelinfällen, plötzlichen Unwettern und sommerlichen Schneefällen häufig auftreten, ergibt sich jene sprichwörtliche Unübersichtlichkeit des Plateaugeländes mit den für den Unerfahrenen oft katastrophalen Auswirkungen.

Die noch heute in Gang befindliche Verkarstung liegt in ihren Anfängen weit zurück. O. Ganss (1939) führt interessante Überlegungen über eine schon vorgosauische Verkarstung. Sicher ist, daß schon im Tertiär die ursprünglich mehr flächenhaften vertikalen Wasserwege entlang von Klüften und Schichtfugen im Dachsteingebirge in zahllose linienhafte, schlauchförmige Wasserwege gewandelt wurden. Ebenso fehlt es nicht an Dolinen und Wannens prädiluvialer Ausbildung. Heute gleichen die Plateauflächen einem sehr engmaschigen Sieb, unzählige Wasserwege vom Haarröhrchen bis zum Schacht führen in die Tiefe, und zum überwiegenden Teil wird das obere System nur zur Zeit der Schneeschmelze und nach stärkeren Regenfällen vom Wasser durchfahren.

Durch die Tatsache, daß die Plateauflächen vom nackten Karst bis in die Waldregion absinken, ergibt sich die Möglichkeit, das Phänomen der Kampfregion von Vegetation und Wirt-

schaft im alpinen Karst auf weitem Raum zu verfolgen, Studien, wie sie derzeit F. Bauer und G. Wendelberger durchführen (Bauer 1956). Wirtschaftliche Folgerungen aus diesen Untersuchungen ergeben sich für die Alm- und Forstwirtschaft, wobei als erwiesen gelten kann, daß der Rückgang von einst 51 Almen (um 1825) auf derzeit 41 im Arbeitsgebiet, nicht nur auf wirtschaftliche Rentabilitätsfragen, sondern ebenso auf eine naturbedingte Minderung des Nutzwertes zurückzuführen ist.

Bezüglich der gegenwärtigen hydrographischen Verhältnisse bietet sich das Bild einer für Kalkmassive typischen Entwässerung, der Wassernot der Hochflächen steht ein Überfluß in den tiefgelegenen Randgebieten gegenüber. Daraus ergibt sich, daß neben die grundsätzliche wissenschaftliche Frage nach dem Mechanismus der Karsthydrographie die praktischen Fragen der Wasserversorgung der Hochflächen bzw. der Wasserdarbietung des Kalkstockes für Wassernutzungsanlagen in den Talbereichen treten.

Zur Ermittlung der Abflußspende des Gebietes sollte im Sommer 1956 durch die Beschickung von fünf Schwinden im Plateaubereich und die Beobachtung von Quellen und Vorflutern in den Talgebieten eine großzügige Übersicht über die unterirdische Wasserbewegung in diesem Kalkstock gewonnen werden²⁾.

Die Arbeitsmethode

Zum Nachweis des Zusammenhanges von Schwinden und wiederaustretenden Gewässern bedient man sich verschiedener Methoden, deren, unter Außerachtlassung verschiedener, meist erfolgloser Triftversuche und der noch wenig gehandhabten Verwendung radioaktiver Stoffe, drei unterschieden werden können:

1. Die Chlorierung unter Verwendung von Gewerbesalz,
2. der Einsatz von Farbstoffen (heute meist Uranin) und
3. die Sporenfärbung oder besser Sporentrift.

Eine kurze Gegenüberstellung des Sach- und Personalaufwandes verschiedener Untersuchungen jüngerer Datums erläutert die Vorzüge der letztgenannten Methode.

²⁾ Die eigenen, im folgenden beschriebenen Arbeiten wurden im Rahmen der alpinen Karstuntersuchungen durch das Speläologische Institut Wien durchgeführt. Auf Grund der Ergebnisse scheint es gerechtfertigt, diese und die angewandte Untersuchungsmethode weiteren Kreisen der wissenschaftlichen Geographie darzulegen.

Das äußerst reichhaltige Schrifttum über das Dachsteingebiet fand eine sorgsame Sichtung bei N. Krebs (1915) und eine zusammenfassende Behandlung in den Dissertationen von W. Krieg (1953) und A. Mayr (1954).

Bei einer Chlorierung im Bereiche des Lurbaches durch V. Maurin (1952) wurden 800 kg vergälltes Gewerbesalz eingesetzt. An dem Versuch waren nicht weniger als 124 Mitarbeiter beteiligt, von denen jeder mindestens eine Achtstundenschicht, viele öfters und einige während der ganzen Dauer des Versuches im Einsatz waren (Maurin 1952, p. 169). Die außerordentlich hohe Zahl der Mitarbeiter lag vor allem im Versuchsziel begründet, das nicht nur einen Nachweis des Zusammenhanges von Schwinde und Quelle, sondern ebenso eine genaue Erfassung der Durchgangskurve erstrebte. Die Beobachtung kann bei der Chlorierung durch chemische Bestimmung des Chlorgehaltes entnommener Wasserproben oder mit Hilfe der physikalischen Methode elektrischer Widerstandsmessungen an Quellen oder Gerinnen durchgeführt werden. Letztere ist bei der Untersuchung ausgedehnter Gebiete mit Beobachtung zahlreicher Quellen kaum anwendbar, da die erforderliche Anzahl von Apparaten und deren ständige Betreuung außerordentlich hohen Sach- und Personalaufwand erfordern würde. Aber auch die Notwendigkeit, große Mengen von Einspeisungsmaterial zu entlegenen und hochgelegenen Einspeisungspunkten zu befördern, schloß für das Dachsteingebiet von vornherein die Anwendung der Chlorierungsmethode aus³⁾.

Bei einer Färbung im Schneeberggebiet 1955 durch F. Dosch wurden 9 kg „Uranin konz.“ der Bayer-Werke eingespeist. Die Entnahmen der Wasserproben wurden von 15 Personen durchgeführt, die 23 Tage schichtweise arbeiteten, dazu waren mehrere Personen an der Farbeinspeisung und an den Laborarbeiten beteiligt (Dosch 1956 p. 3). Bei dem Versuch von F. Dosch konnte der verwendete Farbstoff noch bei einer Konzentration von 10^{-7} im Hochquellwasser mit freiem Auge erkannt werden. In einer Konzentration von 10^{-8} war der Farbstoff mit freiem Auge noch in den 80 cm langen Schauröhren bei schräger Beleuchtung einwandfrei zu sehen. Das heißt, daß bei unserer Untersuchung bei einem Verzicht auf die Verwendung der UV-Lampe für jeden ausgedehnteren Versuch je 10 kg Uranin eingesetzt hätten werden müssen. Abgesehen davon, daß sich im Vergleich zur Sporenrift damit die reinen Materialkosten auf mehr als das Siebenfache erhöht hätten, ließen Personalmangel und der Umstand, daß es nötig gewesen wäre, größere Zeiträume zwischen den einzelnen Versuchen verstreichen zu lassen, von der Verwendung der Färbemethode Abstand nehmen⁴⁾.

Die genannten Umstände gaben den Anlaß, die Möglichkeit der Anwendung der Sporenriftmethode für die eigenen Untersuchungen ein-

gehend zu prüfen. Diese Methode wurde 1953 durch A. Mayr (1954) eingeführt und zum Nachweis des Zusammenhanges einer Schwinde im Hinteren Gosau-See mit dem Waldbach mit Erfolg angewandt. Verwendet wurden Bärlappsporen (*Lycopodium clavatum*, Sporendurchmesser ca. 30 Mikren). Das Lycopodiumpulver ist im pharmazeutischen Handel in größeren Mengen erhältlich. Die Beobachtung erfolgt durch Einhängen von Planktonnetzen aus feinsten Schweizer Müllergaze in Quellen oder Gerinne. A. Mayr setzte bei seinem Versuch 8 kg Lycopodiumpulver ein, die Beobachtung führte er allein durch⁵⁾.

Die Einspeisung von Lycopodiumpulver in Schwinden verlangt eine vorbereitende Behandlung. Gefärbte Sporen lösen sich ohne weiteres im Wasser, da sie bereits benetzt sind. Die ungefärbten Lycopodiumsporen wurden in Plastikemern mit Hilfe von Presto mit Wasser zu einem Brei verrührt⁶⁾. Aus Gründen des leichteren Transportes wurde der Sporenbrei erst am Einspeisungsort angerührt. Die Benetzung der Sporen kann übrigens auch mit Spiritus erfolgen, was zum Teil beim Färben der Sporen praktiziert wurde. Dabei wurden 300 ccm Spiritus für die Benetzung von 500 Gramm Sporen verwendet.

Mayr macht keine Angaben über die Verdünnungsfähigkeit eingespeister Sporenmengen. Die Schätzung nach Gewicht und Volumen führte zu dem Schluß, daß zwei Kilogramm Lycopodiumpulver rund eine Billion Sporen darstellen. Bei einer angenommenen Wassermenge von 1 Mill. m³ entfallen dabei, eine Einspeisung von 10 kg Sporen im zentralen Teil des Massivs vorausgesetzt, selbst bei einem Verlust von 99% noch immer 50 Sporen auf einen Liter Wasser⁷⁾.

Beim Einhängen der Planktonnetze in die zu beobachtenden Gewässer empfiehlt es sich, möglichst an den Quellmund heranzurücken, da hier das Wasser am reinsten ist. Vielfach war dies allerdings nicht möglich. Große Fließgeschwindigkeiten sind der Beobachtung sehr ungünstig, weil in diesem Fall die geringe Maschenweite des Netzes stauend wirkt und das Wasser zurückgestoßen wird. Ein probeweises Einhängen des Netzes an verschiedenen Stellen des Gerinnes zeigt, wo die Grenzen der

³⁾ Im Verlauf von 24 Stunden entströmten dem Arbeitsgebiet zur Zeit der Untersuchungen über 1 Mill. m³ Wasser. Nahezu 8500 kg Salz hätten bei jedem einzelnen der drei größeren Versuche im östlichen Dachsteingebiet zur Einspeisung gelangen müssen, um den Chlorgehalt dieser Wassermenge um 5 mg/l zu heben. Das hätte für jeden Transport einer Karawane von 100 Tragtieren bedurft.

⁴⁾ Die angeführten Berechnungen bezüglich der nötigen Materialmengen für eine Chlorierung oder Färbung im eigenen Untersuchungsgebiet beziehen sich auf die tägliche Abflußmenge und tragen hauptsächlich einen Illustrationscharakter. Gerade im Frühsommer ist die tatsächlich im Gebirgskörper gespeicherte Wassermenge viel größer. Letzten Endes muß darauf hingewiesen werden, daß schon ein einziger kräftiger Sturzregen die ganze Berechnung illusorisch macht. Daraus aber mag erschen werden, welche Schwierigkeiten einer Einspeisung im zentralen Plateaubereich eines größeren Karstmassivs bisher im Wege standen.

⁵⁾ Mayr nannte seinen Versuch „Sporenfärbung“ (1954, p. 93f.). Es ist m. E. aber berechtigt vorzuschlagen, von „Sporenrift“ zu sprechen, um Unklarheiten zu vermeiden. Mayr hat ungefärbte Sporen verwendet, während bei den eigenen Versuchen im östlichen Dachsteingebiet zum Teil gefärbte Sporen eingesetzt wurden. Die Technik des Färbens (also die eigentliche „Sporenfärbung“) erforderte spezielle Entwicklungsarbeiten, die noch nicht abgeschlossen sind.

⁶⁾ Im Laufe der verschiedenen Einsätze stellte sich heraus, daß man am besten eine geringe Menge Sporen (ca. 250 Gramm) mit ungefähr zwei Liter Wasser unter Befügung einer Handvoll Presto vermenget. Nun werden immer wieder Mengen von 250 bis 500 Gramm trockenen Sporenpulvers in die bereits benetzte Menge nachgeschüttet. Mit der Hand durchgeknetet, erfolgt jetzt eine sehr rasche Benetzung der neu zugeführten Sporenmenge.

⁷⁾ Daß diese Zahlen tatsächlich eine brauchbaren Rahmenwert darstellen, ist im folgenden aus den praktischen Ergebnissen zu erschen, wobei nochmals darauf hingewiesen sei, daß die tatsächlich im Massiv gespeicherte Wassermenge ein Mehrfaches des täglichen Abflusses war.

Fließgeschwindigkeit liegen, innerhalb deren man noch eine verlässliche Beobachtung erwarten kann. Ist das Netz verschmutzt, so ist es notwendig, es nach jeder Probenahme gut durchzuwaschen. Von den im Dachsteingebiet eingesetzten Planktonnetzen hatten zwölf einen oberen Durchmesser von 12 cm und eine Tiefe von 28–30 cm, drei einen Durchmesser von 30 cm und eine Tiefe von 60 cm. Das feinmaschige Netz (Maschenweite ca. 50 Mikren) mündet in einen Glas- oder Metalltrichter, an dem ein Gummischlauch befestigt wird, der durch einen Quetschhahn geschlossen werden kann⁸⁾.

Die Prüfung der Vorproben ergab, daß nach jedem Versuch eine hinreichende Reinigung der Netze möglich war. Die Netze wurden nach den einzelnen Versuchen in Lauge gewaschen und anschließend mehrmals durchgeschwemmt. Bei der Durchführung der Versuche wurden alle Vorsichtsmaßnahmen getroffen, daß eine Verschleppung von Sporen in das Behelfslabor ausgeschlossen wurde. Wer am Mikroskop arbeitete, war an den Einspeisungen und am Färben der Sporen nicht beteiligt. Die Färbungen erfolgten in Räumen, die sonst nicht benutzt wurden, ebenso wurde die Arbeitskleidung gewechselt.

Die Wasserproben aus den Planktonnetzen wurden in Medizinfläschchen mit 30 ccm Fassungsvermögen abgefüllt, die sich für den Transport geeigneter erwiesen als Eprovetten. Jedes Fläschchen wurde am Quellort etikettiert und mit Datum, Uhrzeit, Quellenbezeichnung, Probennummer und Wassertemperatur beschriftet. Die gleichen Angaben wurden noch am Quellort in das Beobachtungsbuch eingetragen, wo auch die Ergebnisse aus den Untersuchungen am Mikroskop verzeichnet wurden. Neben den Beobachtungsbüchern wurden Tagebücher geführt, in denen hauptsächlich der Gang der Untersuchungen im Tagesverlauf und die Witterungsverhältnisse festgehalten wurden⁹⁾.

Den Versuchen im östlichen Dachsteingebiet ging ein kombinierter Färbe-Chlorierungs-Sporenriftversuch am Rande des Stadtgebietes von Graz voraus. Dieser Versuch hatte den Zweck, uns mit der bisher erst einmal von *A. Mayr* durchgeführten Sporenrift vertraut zu machen. Weiter sollte der Versuch einen quantitativen und qualitativen Vergleich der drei gleichzeitig angewandten Methoden gestatten und schließlich zur Klärung eines offenen karsthydrographischen Problems, der Frage des Zusammenhanges der Schwenden westlich des Buchkogelzuges und der Bründelquelle östlich des genannten Bergzuges führen. Dieser kombinierte Versuch wurde in Zusammenarbeit mit *V. Maurin* und zahlreichen Mitarbeitern mit vollem Erfolg durchge-

führt. Der Bericht wird in den Beiträgen zur Hydrographie der Steiermark veröffentlicht¹⁰⁾.

Die Sporenriftversuche Dachstein 1956

Dem Ziel entsprechend, die untertägigen Entwässerungsverhältnisse im östlichen Dachsteingebiet in groben Zügen zu erfassen, wurden fünf Einspeisungspunkte gewählt, von denen einer im zentralen Teil des Plateaubereiches liegt, während die anderen vier auf die randlichen Bezirke verteilt wurden (vgl. Karte).

1. Die Beschickung einer Schwinde in den Riesen-Eishöhlen:

Der Versuch ist der einzige, dessen Einspeisungsort nicht direkt am Plateau liegt, die Höhleneingänge befinden sich in den oberen Hangbereichen. Mit der Hauptaufgabe wurde damit der Versuch verbunden, den Weg der Schmelzwässer aus den bekannten Höhlen zu klären.

Am 13. Juli 1956 wurden von 17.00 bis 17.45 Uhr einem kleinen Schmelzwassergerinne nahe Punkt 1455 (Tristandom) 2,5 kg rotgefärbte Lycopodiumsporen zugeführt. Der Abfluß in den Spalt betrug 0,1 l/sec. Planktonnetze wurden in 9 Quellen am Fuße des Nordhanges eingehängt, eine Quelle (Nr. 721) liegt am Hang¹¹⁾. Die Fallhöhe (Höhenunterschied Schwinde-Quelle) zu dieser Quelle betrug nur 370 m, zu den anderen Quellen durchschnittlich 900 m. Vier Beobachtungsstellen ergaben positive Proben, aus denen zu ersehen war, daß der Großteil des in der Höhle anfallenden Schmelzwassers bei Quelle Nr. 721 zutage tritt. Ein Teil des Wassers aus den Eishöhlen aber sinkt durch die Klüfte zu dem allgemeinen unterirdischen Entwässerungsnetz des Gebirgsstockes ab und tritt mit diesem im Koppen Winkel aus (Quelle Nr. 713, 716). Dort wiesen zur Zeit der Untersuchung alle Quellen eine Schüttung von über 100 l/sec auf, Quelle Nr. 713 schüttete 1 m³/sec. Diese ungeheure Verdünnung des Schmelzwasserrinnensales (s. o.) sowie der Umstand, daß in dem reißenden Gerinne von Quelle Nr. 713 wie in den stark verteilten Quellhorizonten der Quellen Nr. 714–718 die Anbringung der Netze sehr schwierig war, erschwerten die Beobachtung.

Soweit die Durchgangsgeschwindigkeit des Triftkörpers bei einer täglich einmaligen Probenahme grob ermittelt werden konnte, ergab sich eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 1 km pro Tag. Die Entfernung von der Schwinde zur entlegendsten Quelle betrug 2,5 km.

¹⁰⁾ Die im folgenden beschriebenen Versuche im östlichen Dachsteingebiet wurden in Zusammenarbeit mit Hauptschuloberlehrer *A. Hofer* durchgeführt, dem vor allem die Arbeit am Mikroskop unterlag. Durch die teilweise Verwendung von gefärbtem Lycopodiumpulver war es möglich, die vorgesehenen fünf Versuche im östlichen Dachsteingebiet in der kurzen Zeit zwischen 10. Juli und 29. August 1956 durchzuführen, ohne daß die Zuverlässigkeit der Untersuchungsergebnisse dadurch in Frage gestellt wurde.

Der Einsatz gefärbter Sporen stellt eine Weiterentwicklung der Methode *Mayrs* dar, der mündliche Anregungen des jugoslawischen Karstforschers *F. Bar* zugrunde liegen.

¹¹⁾ Die Bezeichnung (Nr.) der Quellen folgt einem Quellenkataster, in dem als Ergebnis einer 1954 und 1955 durchgeführten hydrogeologischen Aufnahme 721 Quellen des östlichen Dachsteingebietes mit Angabe von Schüttung, Temperatur, Höhenlage und Quellentypus verzeichnet sind.

⁸⁾ Die Maschenweite der Netze ist an sich größer als der Durchmesser der Sporen, doch verhindern die kleinen Fasern des Gewebes ein Durchschlüpfen der Sporen. Ein probeweiser Einsatz von Perlongeweben derselben Maschenweite ergab, daß sie nicht brauchbar waren, weil dem Kunststoff die feine Faserung fehlt. Die großen Netze wurden mit Erfolg in Bächen und starken Quellen eingesetzt. Die Netze wurden in Holzgestelle gebunden, die vorne ein feinmaschiges Drahtnetz trugen, das größere Unreinigkeiten abfangt.

⁹⁾ Die Technik des Mikroskopierens beschrieb *A. Mayr* (Diss. 1954, p. 28 f.), sie kann zudem jedem Lehrbuch für Pollenanalyse entnommen werden.

Nach der 6. Probe (gezogen am 18. 7.) traten keine roten Sporen mehr auf.

2. Die Beschickung der Schwinde Herren-Alm:

Östlich der Jagdhütte Herren-Alm liegt in 1426 m a. H. eine kleine Quelle, deren periodischer Abfluß (zur Zeit der Einspeisung 0,0125 l/sec) nach einem Lauf von 12 m Länge in ein Ponor versinkt, das nach einigem Bemühen vom angeschwemmten Material freigemacht werden konnte. Am 14. Juli 1956 wurden in der Zeit von 18,00 bis 19,00 Uhr 5 kg ungefärbte Lycopodiumsporen eingespeist und 200 Liter Wasser aus dem nahen Quelltümpel mittels Kübeln nachgegossen. 14 Quellen wurden mit Planktonnetzen versehen, 5 ergaben positive Proben. Es ist wesentlich, daß sich die Quellen mit negativem Befund auf den Raum westlich vom Koppen Winkel beschränkten (Quellen Nr. 713—718), alle um den Koppenstock beobachteten Quellen lieferten positive Befunde. Es ist aus diesem Grunde bedauerlich, daß aus arbeits-technischen Gründen am Koppen Nordhang nicht mehrere Quellen besetzt werden konnten.

Der Hauptdurchgang erfolgte zu Quelle Nr. 627, wo die Spitze des Durchzuges bereits nach 15 Stunden überschritten war¹²⁾. Günstig für den raschen Durchgang (ca. 250 m pro Stunde) waren zweifellos die in diesen Tagen reichlich anfallenden Niederschläge, die andererseits die Probennahme in der Koppenbrüller Höhle und am Traunufer durch den in ihrem Gefolge auftretenden Wasseranstieg erheblich erschwerten. Aus der Koppenbrüller Höhle (Quelle Nr. 707) mußte am 16. 7. das Netz entfernt werden, weil ein starkes Hochwasser die Höhle durchtoste. Ähnliche Schwierigkeiten ergaben sich am Traunufer (Quelle Nr. 710).

Die Ergebnisse dieses Versuches deuteten bereits die Besonderheiten der Karstentwässerung an, die Triftkörper durchführen ungeachtet der orographischen Verhältnisse den Koppenstock nach allen Richtungen.

Die beiden beschriebenen Versuche wurden am 19. Juli 1956 abgeschlossen. Das Behelfslabor war während der Zeit dieser Versuche in Obertraun. Am 20. 7. erfolgte die Übersiedlung an die Südseite des Arbeitsgebietes, das Behelfslabor wurde im Hause Ramsau Nr. 115 errichtet.

3. Die Beschickung einer Doline im Landfried Tal:

Im Landfried Tal, nördlich des Höhenzuges Sinabel (2343 m) — Scheichen Spitz (2662 m) liegt im Hauptdolomit eine Reihe von Dolinen, die bei schönwetter starke Schmelzbäche von Schneeflecken verschlucken,

¹²⁾ Stärkster und schwächster Sporendurchgang beim

2. Versuch (Einspeisung Herren-Alm):

Quelle Nr. 627:

Entfernung Schwinde-Quelle 3 km, Fallhöhe 390 m.

- | | |
|-------------------------------------|------------|
| 1. Probe am 14. 7. (Vorprobe) . . . | 0 Sporen |
| 2. Probe am 15. 7. 10.45 Uhr . . . | 120 Sporen |
| 3. Probe am 16. 7. 9.45 Uhr . . . | 24 Sporen |
| 4. Probe am 17. 7. 10.45 Uhr . . . | 10 Sporen |
| 5. Probe am 18. 7. 10.50 Uhr . . . | 4 Sporen |

Quelle Nr. 710:

Entfernung Schwinde-Quelle 4,5 km, Fallhöhe 900 m.

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| 1. Probe am 13. 7. (Vorprobe) . . . | 0 Sporen |
| 2. Probe am 15. 7. 15.30 Uhr . . . | 0 Sporen |
| 3. Probe am 16. 7. 12.15 Uhr . . . | 4 Sporen |
| 4. Probe am 17. 7. 12.45 Uhr . . . | 1 Spore |

Am 17. 7. mußte das Netz wegen Beschädigung durch Hochwasser eingeholt werden.

Diese Beispiele für den Sporendurchgang beim 2. Versuch entsprechen auch den Sporenzahlen, wie sie beim 1. Versuch auftraten.

die hier zum Teil den Sommer überdauern. Infolge der Gesteinsbeschaffenheit, — der Dolomit neigt zu grusigem Zerfall, — sind die Schluckstellen völlig verschlammte. Erst an der Grenze des Dolomites zum Dachsteinkalk konnte in 2200 m a. H. ein kleines Ponor freigemacht werden, das jedoch das eingeführte Wasser ebenfalls nur langsam in die Tiefe entließ. Hier wurden am 22. 7. 1956 zwischen 17.00 und 19.00 Uhr 5 kg ungefärbte Lycopodiumsporen eingespeist und mittels Kübeln ca. 300 Liter Wasser aus einem nahegelegenen Schmelzwassertümpel nachgegossen. Natürlicher Abfluß war keiner vorhanden. Von 10 Quellen wurden Proben entnommen, davon lieferten nur 3 positive Befunde. Die Entfernungen von der Schwinde zu den Quellen lagen zwischen 2,7 und 3,4 km, die Fallhöhen schwankten zwischen 870 und 950 m. Durchschnittlich ergaben sich pro positive Quelle drei positive Proben, die Sporenanzahl pro Probe lag unter 10 Sporen.

Ein Vergleich mit den vorausgegangenen Versuchen zeigt, daß die Beschaffenheit des Dolomites Versuchen mit Sporentrift nicht so günstig ist wie die Verhältnisse im Kalk. Trotzdem kann das Ergebnis als zufriedenstellend bezeichnet werden, denn es wurde damit erwiesen, daß auch im Dolomit die orographische Wasserscheide vom Wasser durchfahren wird und das Einzugsgebiet des Ramsau Baches (und damit der Enns!) in das Plateau hineingreift. Die Untersuchungen waren zudem durch eine ungünstige Witterung behindert. So gingen am 24. 7. abends in diesem Gebiet schwere Gewitterregen nieder, wodurch einige Netze derart verschottert wurden, daß sie ausgegraben werden mußten.

Der Versuch wurde am 29. 7. abgebrochen. In den folgenden Tagen wurden im Salza-Kraftwerk 12 kg Sporen blau gefärbt und am 3. 8. gemeinsam mit den Gerätschaften mittels eines Tragtieres auf die Grafenberg-Alm transportiert. Für den nächsten Versuch wurde das Behelfslabor wieder nach Obertraun verlegt.

4. Die Beschickung der zentral im Plateau gelegenen Schwinde Maisenberg:

Am 4. 8. wurde das Material zur Halterhütte Maisenberg getragen. 500 m SSO von der Halterhütte fließt eine kleine, aber beständige Quelle, deren Abfluß im kleinen Ponor einer Doline versinkt (1860 m a. H.). Der dauernde Abfluß betrug zur Zeit der Einspeisung 0,18 l/sec. Hier wurden am 4. 8. zwischen 11.30 und 13.30 Uhr 12 kg blaugefärbte Sporen eingespeist. Von 14 um das ganze Massiv verteilten beobachteten Quellen blieben nur 2 negativ, beide zeichnen sich durch eine sehr selbständige orographische Stellung aus. Ein Netz fiel aus.

Durch die Ausdehnung des zu beobachtenden Raumes konnten die Proben mit Ausnahme der Quellen im Koppen Winkel, wo durch *Hofer* eine tägliche Probennahme erfolgte, zumeist nur an jedem zweiten Tag gezogen werden. Zur Bewältigung der großen Entfernungen zwischen den einzelnen Beobachtungsstationen standen keine Motorfahrzeuge zur Verfügung.

Die kürzeste Entfernung Schwinde-Quelle (Nr. 221) betrug 5,5 km (Luftlinie), die größte 13 km (zu Quelle Nr. 648). Die Fallhöhen bewegten sich zwischen 700 und 1330 m. Die aufgefangene Sporenzahl bei den positiven Proben blieb bei 6 Quellen unter 10 Sporen pro Probe.

Quellen, die 5 bis 7 km Luftlinie von der Schwinde entfernt sind, führten bereits drei Tage nach der Einspeisung Sporen. Aber selbst in 13 km Entfernung war schon 4 Tage nach der Beschickung die erste positive Probe zu verzeichnen (Quelle Nr. 648), die Spitze des Sporendurchganges liegt allerdings bei der nächsten Probe. Im Durchschnitt kann eine Durchgangsgeschwindigkeit von 100 m pro Stunde angenommen werden.

Der Erfolg war nicht zuletzt den günstigen Witterungsverhältnissen zu verdanken, die erst am Abend des 10. 8. durch schwere Gewitterregen unterbrochen wurden, die im Ennstal zum Teil starke Vermurungen zur Folge hatten. So fielen denn auch in diesem Gebiet, besonders dort, wo aus arbeitstechnischen Gründen die Netze nicht am Quellmund, sondern nur an den schneller zu erreichenden Bächen eingehängt werden konnten (Luserbach, Feisterbach), am 11. 8. mehrere Proben aus, was jedoch nicht mehr ins Gewicht fiel, da der Versuch bereits vor dem erfolgreichen Abschluß stand.

Am 12. 8. 1956 wurden die letzten Proben eingeholt. Am 14. und 15. 8. wurden im Salza-Kraftwerk 7 kg Lycopodiumsporen rot gefärbt und am 16. 8. das Behelfslabor in Unterlengdorf eingerichtet.

5. Die Beschickung der Schwinde im Miesboden:

Am 16. 8. 1956 wurden Sporen und Geräte von Lengdorf über die Berillen Alm in das Miesbodengebiet getragen. Als Einspeisungsstelle wurde eine Schwinde 200 m östlich der Jagdhütte in 1415 m a. H. gewählt, da der Miesboden See zu dieser Zeit keinen Abfluß aufwies. Diese Schwinde nahm in den regenreichen Sommern 1954 und 1955 durchschnittlich 3 l/sec auf. Am 16. 8. 1956 lief aber nur die kaum nennenswerte Menge von 0,02 l/sec der Schwinde zu, die zudem stark verstürzt war. Nach Freilegung der Schwinde erfolgte in der Zeit von 12.00 bis 14.00 Uhr die Einspeisung der 7 kg rot gefärbten Sporen, ca. 200 Liter Wasser wurden mittels Kübeln nachgegossen.

Bei diesem Versuch war es möglich, alle zur Verfügung stehenden 15 Netze in einem verhältnismäßig kleinen Raum einzusetzen, und zwar mit wenigen Ausnahmen direkt beim Quellmund. Bei den meisten Netzen konnten die Proben täglich entnommen werden.

Mit Ausnahme des Netzes in den Öfen, das nach drei Tagen durch Insektenbisse derartige Beschädigungen aufwies, daß es als unbrauchbar eingezogen werden mußte, lieferten sämtliche Netze positive Proben, obwohl starke Gewitterregen Probenverluste verursachten.

Die Entfernungen Schwinde-Quellen hielten sich zwischen 3,2 und 6,5 km, die Fallhöhen zwischen 150 (Quelle Nr. 34) und 720 m (Salza, Quellen Nr. 440—455). Durchschnittlich ergaben sich pro Quelle 3 positive Proben, die Sporenzahl pro Probe lag meist unter 10. Zweimal (beim Abfluß der Quellen Nr. 9—19 und bei Quelle Nr. 648) wurden auch noch 1 bzw. 3 blaue Sporen gefördert, Nachzügler des 4. Versuches, bedingt durch die reichlichen Niederschläge in dieser Zeit, die ein gewaltiges Ansteigen der Schüttung einzelner Quellen verursachten¹³⁾.

Der letzte Versuch weist bezüglich der Lage und der Ergebnisse mit dem zweiten Versuch im Koppengebiet Parallelen auf. Auch die Schwinde im Miesboden liegt für das Gesamtgebiet peripher, für das Gebiet des Gröbminger Kammes (Kammspitze 2141 m a. H.) aber zentral. Auch hier wird der ganze Höhenzug ohne Rücksicht auf die morphologische Gestalt vom Wasser durchfahren.

Am 24. 8. 1956 wurden die letzten Netze eingeholt und am 29. 8. 1956 konnten die Sporentriftversuche im östlichen Dachsteingebiet abgeschlossen werden.

¹³⁾ So stieg die Schüttung von Quelle Nr. 648 auf das Doppelte der normalen Wasserführung, d. h. auf 1,5 m³/sec. Wegen der starken Schüttungsschwankungen wurde auch darauf verzichtet, für die einzelnen Quellen detaillierte Angaben über die Wasserführung zu machen.

Die Ergebnisse für die Praxis

Bei den beschriebenen Versuchen wurde auf die Ermittlung einer Kurve des Sporendurchganges bei den einzelnen positiven Quellen verzichtet. Der Vergleichsversuch im Gebiet von Graz ergab, daß sich der Lycopodiumdurchgang, der sich bezüglich der Durchgangsspitze nicht mit jenem der Farbe bzw. des Chlors deckt, nur durch Probenziehung in Abständen von Stunden ermitteln läßt. Daran war bei den gegebenen Verhältnissen nicht zu denken.

Die Versuche lassen erkennen, daß der gesamte Kalkstock von einem zusammenhängenden wasserführenden Kluftnetz durchzogen wird, über dessen Gestalt, Größe der eingeschalteten Stauer und Dichte des wasserführenden Spaltennetzes man allerdings schwerlich zu einer Vorstellung gelangt. Der Vergleich der einzelnen Versuche führt zur Vorstellung, daß das wasserführende Kluftnetz den Begriff eines zusammenhängenden Karstwassersystems gestattet, dessen Kulmination im zentralen Teil des Massivs liegt. Wie der Versuch bewies, besteht von hier aus ein Gefälle nach allen Richtungen.

Die Ergebnisse des ersten und des dritten Versuches mit ihrer geringen Anzahl von positiven Quellen stehen keineswegs im Widerspruch zur Annahme eines zusammenhängenden Karstwassersystems, das die anderen Versuchsergebnisse belegen. Es ist erklärlich, daß der eingespeiste Triftkörper an desto weniger Äste des allgemeinen Systems Anschluß findet, je weiter die Einspeisung an den Rand des Plateaus verlegt wird. Beim dritten Versuch beeinflusste zudem die Gesteinsbeschaffenheit das Versuchsergebnis.

Aus den Versuchen geht klar hervor, daß die Abgrenzung der Einzugsgebiete der einzelnen Vorfluter nicht nach den örtlichen orographischen Wasserscheiden erfolgen darf. Da auch die Gestalt des unterirdischen Gewässernetzes völlig unbekannt ist, kann nur durch sorgfältige, langfristige Niederschlags- und Abflußmessungen auf die Einzugsgebiete der einzelnen Bäche rückgeschlossen werden. Das heißt, daß bei Planungen von Wasserbauten jeder Art im Kalkgebirge von langfristigen Abflußbeobachtungen auszugehen ist und nicht wie bisher von Wahrscheinlichkeitsberechnungen über Niederschlagszahlen und aus der Karte ermittelte (scheinbare) Einzugsgebiete.

Mit unmißverständlicher Deutlichkeit wird auch das Problem des Quellschutzes beleuchtet. Die Frage der Ausdehnung des Schutzgebietes einer Quelle hängt mit ihrem Einzugsgebiet zusammen. Dazu kommt eine spezielle Folgerung aus den Sporentriftversuchen. Wenn nämlich die Lycopodiumsporen mit einer Größe

von ca. 30 Mikren im Durchmesser in relativ kurzer Zeit ungehindert den Gebirgskörper passieren können, so ist dies Bakterien um so eher möglich (Typhusbazillen sind ca. 7 Mikren lang). Es fehlt die siehende Wirkung des feinkörnigen Lockergesteins. Besteht schon eine gewisse Gefährdung durch den Umstand, daß nahezu das gesamte Plateaubereich als Alm- und Galtviehweide genutzt wird, so ist von noch größerer Wichtigkeit, daß die Kläranlagen der Schutzhütten überprüft werden.

Eine kurze kritische Zusammenfassung der durch die Versuche gewonnenen praktischen Erfahrungen bestätigt die eingangs erwähnten Vorzüge des Sporenriftverfahrens im Vergleich zur Färbung und Chlorierung. Am bestechendsten sind wohl die geringen personellen Anforderungen, die gerade in entlegenen Gebieten für die Frage, ob ein Versuch überhaupt durchgeführt werden kann, entscheidend sind. Bezüglich der Zuverlässigkeit der Versuchsergebnisse ist zu sagen, daß bei Einhaltung der nötigen Vorsichtsmaßnahmen (s. o.!) an der Richtigkeit der positiven Ergebnisse nicht zu zweifeln ist, da *Lycopodium clavatum* im Untersuchungsgebiet nicht vorkommt und zudem gerade bei den schwierigsten Versuchen gefärbte Sporen eingesetzt wurden. Die negativen Ergebnisse bleiben dann fraglich, wenn eine starke Schwebführung des Wassers, starke Quellschüttung und breite Gerinne, große Fließgeschwindigkeiten und flächenhaft austretendes Wasser die Beobachtung mittels Planktonnetzen erschweren. Außerdem kann im Gebirgskörper das Wasser in einzelnen Spalten durch eingelagertes Lockermaterial abgeseiht werden oder der Triftstoff der Einschwemmung in tote Nebenräume zum Opfer fallen. Zweifellos wird auch ein großer Teil der eingespeisten Sporenmenge in Stauräumen sedimentiert. Bei genügender Einsatzmenge können jedoch selbst an Quellen, die über 1 m³/sec ausstoßen, noch einwandfreie positive Beobachtungen erzielt werden, was für eine gute Durchmischung von Wasser und Sporen im Berginnern spricht. Letzten Endes können ungünstige Witterungsverhältnisse (Wolkenbrüche) die Richtigkeit eines negativen Untersuchungsergebnisses in Frage stellen. Die befriedigenden Ergebnisse mit einer großen Anzahl positiver Beobachtungen ergeben aber, daß dem Verfahren eine relativ hohe Sicherheit innewohnt. Es mag in diesem Zusammenhang daran erinnert werden, daß auch der Färbungs- und Chlorierungsversuch *G. Kyrles* im Bereich des Lurbaches (1928), dem *O. Lehmann* (1932, p. 125) eine äußerst positive Kritik schrieb und ihn als Vorbild für alle Unternehmungen dieser Art hinstellte, ein negatives Ergebnis lieferte. Dieses

wurde „mit Sicherheit“ ausgesagt und als zuverlässig betrachtet, bis *V. Maurin* (1952) das Gegenteil nachwies.

Wie bei Färbe- und Chlorierungsversuchen ist auch beim Sporenriftverfahren der Einsatz einer ausreichenden Menge des Beschickungsmaterials entscheidend. Soweit für das Sporenriftverfahren Mengenangaben möglich sind, scheint mir für Durchgangsentfernungen bis zu 5 km der Einsatz von 3 bis 5 kg *Lycopodium*sporen auszureichen. Mit zunehmender Entfernung ist eine Steigerung der Sporenmenge notwendig, wobei ich für einen Weg von 10 km Luftlinie 10 kg Sporen als hinreichend erachte. Es handelt sich hier um Rahmencahlen, gewonnen aus einer vorsichtigen Taxierung der bisher durchgeführten Versuche.

Allgemeine Schlußfolgerungen für die Hydrographie alpiner Kalkstöcke

Die Versuche, das Wesen der Karsthydrographie in allgemein gültige Lehrsätze zu kleiden, zeitigten ausführlich dargelegte Theorien, die einander zum Teil schroff gegenüberstehen.

So wandte sich *A. Grund* (1903, 1910) gegen die Übertragung obertägiger fluviatiler Verhältnisse auf die Karsthydrographie und *O. Lehmann* (1932) stellte sich energisch gegen *Grund*, der das Karstwassersystem als einen „Bestandteil des Grundwassers“ betrachtete (*Grund* 1903, p. 172). *O. Lehmann* setzte sich mit den wesentlichsten der vor ihm entwickelten Theorien kritisch auseinander.

Verschieden sind auch die vorwiegenden Gesichtspunkte, von denen aus das Problem der Karsthydrographie einer Betrachtung unterzogen wurde. *J. Cvijic* (1893) blieb bei einer geographischen Fragestellung, während andere nach geologischen Gesichtspunkten (*F. Katzer* 1909) oder von der hydromechanischen Seite her das Thema behandelten. Zu letzteren zählt vor allem *O. Lehmann* (1932), der wohl zu sehr dem Bann der Formel unterlag und dabei vielfach übersah, daß die natürlichen Verhältnisse meist die Resultierende einer Reihe von Kräften darstellen, deren einzelne Faktoren gerade im Karst oft kaum noch zu erkennen sind.

Die Annahme eines zusammenhängenden Karstwassersystems nach den Ergebnissen der Sporenriftversuche im östlichen Dachsteingebiet steht zunächst im Gegensatz zu *O. Lehmanns* Ablehnung eines Zusammenhanges der karsthydrographisch wirksamen Wasserbahnen und seiner Betonung der Urhohlräume tektonischen Ursprungs. Wir nähern uns damit wieder den Auf-

fassungen *Grunds*, allerdings mit wesentlichen Einschränkungen. Die Wege des Karstwassersystems sind so mannigfaltig im Querschnitt, wechselnder Fließgeschwindigkeit, Richtung und Gefälle (Siphone!), daß sie einen Vergleich mit dem Grundwasser im Lockergestein nur im weitesten Sinne erlauben. Diese Mannigfaltigkeit schließt die Möglichkeit aus, mit dem heutigen Stand der technischen Mittel sichere Bohrungen nach Wasser im Karstgebiet abzuteufen, wie *Grund* (1903, p. 177) vorschlägt. Völlig abzulehnen ist die Annahme *Grunds*, daß sich unter dem Karstwasser ständig Grundwasser („eine stagnierende Wassermenge“) befinden müßte (1903, p. 174), und *O. Lebmann* wendet sich mit Recht dagegen (1932, p. 22 f). Es sei hier nur kurz *Stini* zitiert, der darauf hinweist, daß die Wegigkeit des Kalkes in einer gewissen Tiefe zu Ende sein kann, ohne daß ein Gesteinswechsel eintritt (1933, p. 109). Es fehlt im östlichen Dachsteingebiet nicht an prächtigen Beispielen zu dieser Äußerung *Stinis*. In Klammern und Tälern ist die obertägige Erosion nicht selten der Tiefverlegung des Karstwassersystems vorausgeeilt, und so treten am Hang über dem Talboden Spaltenquellen aus dem Kalk, die durch keinerlei Gesteinswechsel begründet sind. Es ist interessant, daß über diesen Spaltenquellen meist höhergelegene starke Quellen oder Spielöcher liegen, die zur Zeit der Schneeschmelze oder nach starken Niederschlägen als Überfallsquellen in Tätigkeit treten (Silberkarklamm = Quelle Nr. 221, Salza-Quellen Nr. 448—455, Koppenbrüller Höhle = Quelle Nr. 707). Auch diese Verhältnisse sprechen gegen die Theorie *Lebmanns* von den Urhohlräumen. Ist die obertägige Erosion nicht der Entwicklung des Karstsystems vorausgeeilt, so ließ sich bei den Begehungen im östlichen Dachsteingebiet eine Gebundenheit der starken Quellen an das Niveau der Vorflut bzw. an den Stauhohizont im Süden des Gebietes erkennen. Auch der Einfluß der Vorflut steht der Auffassung *O. Lebmanns* entgegen, der auf Grund seiner Theorie vom Urhohlraum jeden Einfluß des Vorflutniveaus auf die Entwicklung des Karstsystems ablehnen mußte und dabei *H. Bock* (1913) mit Unrecht angriff (*O. Lebmann* 1932, p. 21). In diesem Zusammenhang darf auch die interessante Arbeit von *O. Schaubberger* (1956) nicht übersehen werden, dessen Untersuchungen über die Niveauverhältnisse alter Höhlensysteme das Gesagte trefflich unterstützen.

Die Folgerungen aus den eigenen Untersuchungen mit den im Plateaubereich gelegenen Einspeisungsorten scheinen mit den Ergebnissen des Färbungstypes an starken Höhlengerinnen im Widerspruch zu stehen. Eine Reihe älterer Ver-

suche dieser Art beschreibt *O. Lebmann* (1932, p. 122 ff), jüngere Untersuchungen dieser Art sind der Nachweis des Zusammenhanges zwischen dem am Rand des Semriacher Beckens versinkenden Lurbach mit der Hammerbachquelle im Murtal durch *V. Maurin* (1952), der Nachweis des Zusammenhanges eines Abflusses des Hinteren Gosausees mit dem Waldbach durch *A. Mayr* (1954) und die Erforschung des unterirdischen Zusammenhanges einer Schwinde westlich des Buchkogelzuges und Bründlquelle am Ostfuß des Bergzuges durch *Maurin* und *Zötl* (im Druck).

Diese Färbeversuche (im weiteren Sinne) zeigen im wesentlichen gemeinsame Grundzüge. Es besteht bereits ein Gerinne, dessen Wasser in eine geringe Anzahl von Schwinden — sehr oft besteht nur ein Schluckloch — versinkt. Ebenso ist die Zahl der Wiederaustritte des versunkenen Wassers beschränkt. Die Ergebnisse erweisen eine bei Normalwasser mehr oder weniger lineare, wenig verzweigte Verbindung, wobei der Begriff „linear“ nicht zu streng aufzufassen ist. Diese Form des unterirdischen Wasserweges läßt am ehesten den Vergleich mit der alten Auffassung des „Höhlenflusses“ zu. Dennoch sind diese Karstgerinne kein Beweis, daß sich die Karstentwässerung allgemein in Form von Höhlenflüssen abspielt! Andererseits aber dürfen diese und ähnliche Untersuchungsergebnisse auch nicht als Argumente dafür betrachtet werden, daß kein zusammenhängendes Karstwassersystem bestehe, was *O. Lebmann* beweisen will, der alle seine umfangreichen hydromechanischen Berechnungen letzten Endes seiner Theorie von den Urhohlräumen und selbständigen hydrographisch wegsamen Klüften, die nicht miteinander in Verbindung stehen, widmet (1932, p. 15 ff.).

Der Widerspruch zwischen den Ergebnissen der letztgenannten Untersuchungen mit jenen, deren Einspeisungsort im Plateaubereich liegt und deren Ergebnisse ein zusammenhängendes Karstwassersystem erkennen lassen, ist nur ein scheinbarer. Der Höhlenfluß steht mit dem übrigen Karstwassersystem in ähnlicher Beziehung, wie ein Obertaggerinne zum Grundwasserkörper im Lockergestein stehen kann. Er senkt im allgemeinen den Karstwasserspiegel ab und erhält vom allgemeinen Karstwassersystem Zuzug. Wird dem Höhlenbach Farbstoff zugeführt, so bleibt die Färbung auf ihn und seine etwaigen Nebenarme beschränkt. Trifft die Einspeisung hingegen vom Plateau her das allgemeine Karstwassersystem, so wird der Höhlenbach dann im Verein mit anderen Quellen Farbstoff führen, wenn der Einspeisungsort in jenem Sektor des Karstwassersystems liegt, dem der Höhlenbach angehört.

Wenn die vorangegangenen Darlegungen hauptsächlich den Auffassungen *O. Lehmanns* entgegnetreten, so soll damit keineswegs die Bedeutung der Forschungen *O. Lehmanns* verkannt werden. Seine mathematischen und hydromechanischen Untersuchungen räumten manche irrige Auffassung aus dem Weg. Selbst in bezug auf die Existenz selbständiger Karstgefäße kann *O. Lehmann* für Einzelfälle beigepflichtet werden. Es gibt verschlammte oder versinterte Klüfte, die sich ein bescheidenes Einzugsgebiet sichern konnten, ebenso, wie die Entwicklung neuer Wasserwege von oben her fürs erste selbständige Wege gehen kann. Darauf fußt schließlich das Auftreten einzelner Spaltenquellen im Plateaubereich und im Gebiet der obersten Hangbezirke. Aber der Abfluß der selbständigen Karstwasser-einheiten im Plateaubereich fließt wiederum dem allgemeinen Karstwassersystem zu, und diesem gebührt daher das Prädikat, daß es die Regel darstellt. In den Randgebieten des Kalkmassivs können sich am ehesten selbständige Karstgefäße länger behaupten, obwohl die Entwicklung dahin geht, daß auch sie Anschluß an das allgemeine System finden. Eine einigermaßen tolerante Auslegung der eigenen Versuchsergebnisse ergibt eine verbindende Mittelstellung zwischen den profilierten Theorien von *O. Lehmann* und *Grund*, womit letzten Endes dem lebendigen Naturgeschehen am ehesten Rechnung getragen wird, weil es sich einer Einfügung in engbegrenzte Schemata nur in den wenigsten Fällen beugt. Schließlich entspricht es dem Fortschreiten der wissenschaftlichen Forschungen, daß die Behandlung eines Themas in Fluß bleibt, solange aus neuen Untersuchungsmethoden neue Gesichtspunkte erwachsen. In diesem Sinne sollen auch die eigenen Ausführungen nur eine Anregung zur Diskussion darstellen, ohne Anspruch auf eine erschöpfende Behandlung des Themas.

Abschließend sei noch auf zwei jüngere Arbeiten hingewiesen, die eine extreme Weiterentwicklung des Gedankengutes von *O. Lehmann* verfolgen. *E. Arnberger* versucht an Beispielen aus dem Dachsteingebiet (Mammuthöhle) die Bildung untertägiger tektonischer Großräume (Urhohlräume im Sinne *O. Lehmanns*) durch lokales Zerreißen von Schichtpaketen nachzuweisen (1954, p. 71), eine Auffassung, die der Beantwortung durch den Fachmann auf dem Gebiete der tektonischen Geologie harrt. Wenn aber im Gefolge von *Arnbergers* Darlegungen *E. Wilthum* versucht, die Dachsteinhöhlen als „selbständige Karstgefäße“ zu bezeichnen (1954, p. 88, 89), so ist das unbegründet. Durch den Sporentriftversuch wurde bewiesen, daß die Höhlen auch mit dem derzeitigen Karstwasser-

system in Verbindung stehen, was darauf hinweist, daß die Genese der Dachsteinhöhlen im Zusammenhang mit der Gesamtentwicklung des Karstwassersystems im Dachsteinstock zu verstehen ist. Auch die Beziehung der Höhlen zum ehemaligen Vorflutniveau ist durch *O. Schaubberger* (1956) exakt geklärt, und die Tatsache einer verschiedenen Höhenlage einzelner Quellaustritte genügt nicht, um den Einfluß des Vorflutniveaus auf die Entwicklung der Karstsysteme abzulehnen. Es sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, daß *J. Stini* auf Grund seines Reichtums an praktischen Erfahrungen wertvolle Hinweise auf die Grundfragen der Karsthydrographie gegeben hat (1932, p. 37, 45, 148; 1950, p. 78 ff. u. a. m.), ohne jedoch bei jüngeren Arbeiten immer Berücksichtigung zu finden, wie man sich andererseits begnügte, an das Werk *O. Lehmanns* (1932) anzuknüpfen und sich mit dessen Kritik an älteren Auffassungen zu bescheiden.

Wichtig erscheint mir, abschließend zu betonen, daß die Schlußfolgerungen aus den eigenen Untersuchungen so lange nur für ostalpine Kalkmassive gültig sein können, bis ähnliche Untersuchungsergebnisse aus anderen Gebieten bekannt sind. Abgesehen von dem eindeutig festgestellten Einfluß der klimatischen Verhältnisse auf die Ausbildung der Karstphänomene durch *H. Lehmann* (1954, 1956) und andere sowie der Bedeutung von tektonischen und petrographischen Bedingungen, scheint mir das Ausmaß der Kalkgebirge auch von wesentlichem Einfluß auf die Entwicklung der Karsthydrographie zu sein, wobei es zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleibt, diese Frage zu klären.

Literatur

- Arnberger, E.*: Neue Ergebnisse morphotektonischer Untersuchungen in der Dachstein-Mammuthöhle. Mitt. Höhlenkomm. 1953 (1), 1954.
Arnberger, E. u. Wilthum, E.: Die Gletscher des Dachsteinstockes in Vergangenheit und Gegenwart. Jb. Oberöst. Musealverein, 98, 1953.
Bauer, F.: Die Karstuntersuchungen des Speläologischen Institutes. Beitr. z. alpinen Karstforschung, 4, 1956.
Bock, H.: Der Karst und seine Gewässer. Mitt. f. Höhlenkunde 6 (3), 1913.
Cvijic, J.: Das Karstphänomen. Geogr. Abh. Penck 5 (3), 1893.
Dosch, F.: Färbversuch Hochschneeberg 1955. Gas/Wasser/Wärme 10 (1 u. 2), 1956.
Ganss, O.: Tektonik und alte Landoberflächen der Dachsteingruppe. Jber. Zweigst. Wien Reichsst. Bodenforschung (Geol. B. A.) 89, 1939.
Grund, A.: Die Karsthydrographie. Geogr. Abh. Penck 7 (3), 1903.
 —: Zur Frage des Grundwassers im Karst. Mitt. Geogr. Ges. Wien 53, 1910.
Katzer, F.: Karst und Karsthydrographie. Zur Kunde der Balkanhalbinsel 8, 1909.

- Krebs, N.* : Die Dachsteingruppe. Z. D. Ö. AV. 46, 1915.
Krieg, W. : Geomorphologische Beobachtungen. Die Verkarstung des östlichen Dachsteinstockes und ein Beitrag zum Problem der Buckelwiesen. Unveröff. Diss. Graz 1953.
Kyrle, G. : Kombinierte Chlorisierung von Höhlen-gewässern. Spel. Monogr. 12, 1928.
Lehmann, H. : Der tropische Kegelkarst auf den Großen Antillen, 1954. Erdkunde 8 (2).
Lehmann, H., Krömmelbein, K., Lötschert, W. : Karstmorphologische, geologische und botanische Studien an der Sierra de los Organos auf Cuba. Erdkunde 10 (3), 1950.
Lehmann, O. : Die Hydrographie des Karstes. Enz. d. Erdkunde T 6 b, 1932.
Maurin, V. : Ein Beitrag zur Hydrogeologie des Lurhöhlensystems. Mitt. Naturw. Ver. Steierm. 81/82, 1952.
Mayr, A. : Hydrogeologische Studien im Dachstein-gebiet. Unveröff. Diss. Innsbruck 1954.
 —: Neue Wege zur Erforschung von Quellen und Karst-wässern. Mitt. Höhlenkomm. 1953 (1), 1954.
Schauberg, O. : Über die vertikale Verteilung der nord-alpinen Karsthöhlen. Mitt. Höhlenkomm. 1955 (1), 1956.
Stini, J. : Die Quellen. Springer, Wien, 1933.
 —: Tunnelbaugeologie. Springer, Wien 1950.
Wiltbum, E. : Die Stellung der Dachsteinhöhlen in der Morphotektonik ihrer Umgebung. Mitt. Höhlenkomm. 1953 (1), 1954.

PFINZING, EIN VERGESSENER KARTOGRAPH

Ernst Gagel

Mit 9 Abbildungen und 1 Karte

Paul Pfinzing — a forgotten cartographer

Summary : The purpose of the paper is to draw attention to an important German cartographer of the 16th century, the Nuremberg senator *Paul Pfinzing* (1554—1599). *Pfinzing's* importance lies in the field of topographic (medium scale) maps and further in the fact that he developed the system of surveying by means of a compass traverse. He wrote about his experiences as a cartographer in a book which was published in 1598. In it he explains in German all the fields of practical cartography from the making of the necessary instruments and the surveying in the field, to the construction of the map on the drawing board.

Alles fließt. Auch in der kartographischen Forschung verlagern sich die Akzente, langsam zwar, aber doch spürbar. Immer neue Kartographen tauchen aus dem Dunkel anonymer Vergangenheit, andere Männer rücken dafür wieder in den Hintergrund. Zu denen, die heute fast vergessen sind, gehört der Nürnberger Kartograph *Paul Pfinzing*, dessen Geburtstag sich vor kurzem zum 400. Male jährte.

Noch im Jahr 1921 hat ihm *Max Eckert* in dem monumentalen Werk „Die Kartenwissenschaft“ ein schönes Denkmal gesetzt und festgestellt, daß *Pfinzings* Karten turmhoch über den Erzeugnissen seiner Zeit stünden. Vierzehn Jahre vorher hatte sich eine lokale Arbeit erstmals mit *Pfinzing* befaßt; das war, als der 16. deutsche Geographentag in Nürnberg tagte und eine Ausstellung historischer Karten veranstaltete, für die die genannte Arbeit als Führer dienen sollte¹⁾. Seitdem wartete man vergebens auf eine eingehendere Untersuchung. Niemand kümmerte sich um diesen Mann, obwohl Anzeichen genug vorlagen, daß sich hinter *Pfinzing* ein Kartograph von Rang ver-

barg. Ist es da ein Wunder, daß *Leo Bagrow* in seiner „Geschichte der Kartographie“, die 1951 erschien, nicht einmal mehr den Namen *Pfinzings* erwähnt?

Die Rolle Nürnbergs

Es ist um so seltsamer, daß *Pfinzing* vergessen wurde, als er in einer Stadt wirkte, in der kartographisch Bedeutsames geleistet wurde. Wir denken an *Martin Behaim*, der im Jahr 1491 der Welt den ersten überlieferten Erdglobus lieferte, und an *Johann Schöner*, der drei Jahrzehnte später in Nürnberg eine richtige Globenindustrie ins Leben rief, denn wir kennen gedruckte Globensegmente aus den Jahren 1515, 1520, 1523 und 1533. Wir denken weiterhin an *Erhard Etzlaub*, dessen neuartige Straßenkarten mit ihrer Meilenmarkierung insgesamt fünf Auflagen erlebten, und an *Johann B. Homann*, der in Nürnberg den ersten großen Kartenverlag Deutschlands gründete und bis zu seinem Tode mehr als 200 verschiedene Karten, Weltkarten, Länderkarten und Stadtpläne, herausbrachte und als Kupferstiche in alle Welt schickte. Wir weisen auf *Johann Praetorius* hin, der als Mathematikprofessor an der Nürnberger Universität zu Altdorf um das Jahr 1590 den Meßtisch erfand und eine ausführliche, allerdings ungedruckt liegengeliebene Erläuterung zu dieser Art der Landesvermessung schrieb, und müssen hier *Pfinzing* erwähnen, der die Methode der Routenaufnahme in ein wohl-durchdachtes System brachte und in einem Druckwerk der Nachwelt überlieferte.

Die große Handelsstadt an der Pegnitz bot damals mehr als alle andern auch alle kunstgewerblichen und technischen Voraussetzungen zu erfolgreicher kartographischer Arbeit. Hier, und

¹⁾ *Müller, Job.* : Die Entwicklung der Nürnberger Kartographie vom Ausgang des 15. bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts. Nürnberg 1907.