

## Die Durchführung und Auswertung von Sporenriftversuchen

Von F. BAUER (Wien)

Die erste zusammenfassende Darstellung hat die Sporenriftmethode durch V. MAURIN und J. ZÖTL (1960) erfahren. Die Entwicklung der Methode wurde durch J. ZÖTL (siehe Beitrag in diesem Band) beschrieben. In der Folge wird die praktische Durchführung von Sporenriftversuchen beschrieben und deren Anwendbarkeit diskutiert.

### Die Sporen

Als Triftgut werden Sporen von *Lycopodium clavatum* verwendet. Die Sporen haben die Gestalt von Tetraedern mit konvex gewölbten Flächen. Ihr größter Durchmesser bei distaler bzw. proximaler Ansicht (Abb. 1 a, b) wird von G. ERDTMAN (1954) mit  $39\ \mu$  angegeben; der geringste Durchmesser (laterale Ansicht, Abb. 1 c) beträgt  $30\ \mu$ . F. KIRCHHEIMER (1933) gibt eine durchschnittliche Größe von  $28\ \mu$  ( $26\text{--}34\ \mu$ ) an. Die Größe der derzeit für Triftversuche aus dem Drogenhandel bezogenen Sporen wurde mit durchschnittlich  $33\ \mu$  bestimmt. Die Sporen

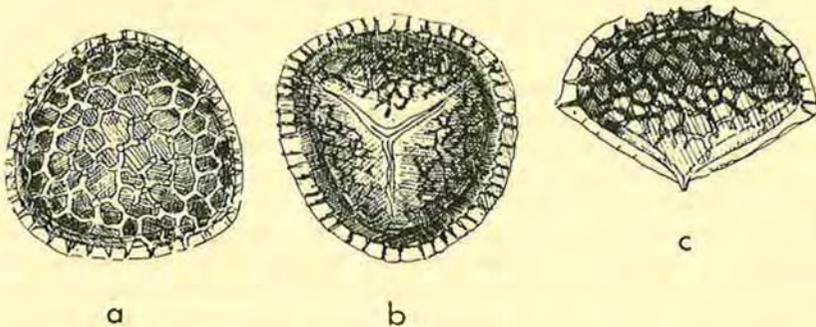


Abb. 1: Sporen von *Lycopodium clavatum* nach G. ERDTMAN (1954). Erläuterungen siehe im Text.

sind von einem feinen Netzwerk (Reticulum) überzogen. Die Zahl der Muri (Rippen) beträgt im Äquator 35 oder mehr (L. R. WILSON, 1934); die Zahl der Lumina (Maschen) im größten Durchmesser der distalen Sporenflächen überschreitet 6—10 (K. RUDOLPH, 1935). Die Dichte von Pollen und Sporen hängt von ihrem Zustand (Alterung, Austrocknung, Verwitterung) ab; sie dürfte bei den verwendeten Lycopodiumsporen im Bereich um 1,10 liegen.

Sporen von *Lycopodium clavatum* können durch den Drogengroßhandel bezogen werden. Ein Kilogramm der handelsüblichen Ware enthält (je nach Größe und Alterung der Sporen) 100 bis 300 Milliarden Sporenkörner.

Die Sporen können derzeit in 5 verschiedenen Farben (rot, blau, grün, violett, braun) beständig angefärbt werden (M. DECHANT, 1959, sowie Beitrag in diesem Band).

### Die Sporeneinspeisung

Zur Einspeisung müssen die Sporen in Wasser möglichst fein dispergiert werden. Die Oberfläche naturbelassener Sporen ist (je nach Verwitterung) mehr oder weniger stark wasserabstoßend. Die in reines Wasser eingebrachten Sporen ballen sich daher meist zu mehr oder minder großen Aggregaten zusammen, die nur schwer zerteilt werden können. Eine weitgehende Benetzung der Oberfläche naturbelassener Sporen wird durch Zugabe eines Netzmittels (Detergent) zum Wasser erreicht. Die Verwendung eines Detergents kann durch Anrühren des Sporenbreies in reinem Spiritus umgangen werden.

Detergentien dürfen bei Herstellung der Sporensuspension nur in geringsten Mengen verwendet werden, um größere Schaumbildung in unterirdischen Hohlräumen, die Sporenrückhalte zur Folge haben können, zu vermeiden.

Gefärbte Sporen, wie sie jetzt ausschließlich für Triftversuche verwendet werden, sind leicht benetzbar; bei der Herstellung einer Sporensuspension erübrigt sich daher in der Regel die Zugabe eines Netzmittels.

Die Oberfläche der eingespeisten Sporen muß möglichst vollständig benetzt sein; im Reticulum zurückgehaltene Luftbläschen können den Sporenkörnern einen so starken Auftrieb verleihen, daß sie an der Oberfläche des Wassers schwimmen und im Zuge einer Triftung in Siphonstrecken zurückgehalten werden. Die beste Benetzung wird erreicht, indem man die Sporen vorerst mit wenig Wasser zu einem dicken Brei anrührt und diesen mit der Hand kräftig durchknetet und dann erst nach und nach Wasser zugibt, bis eine leichtflüssige Suspension vorliegt. Diese wird zweckmäßigerweise noch durch ein möglichst feinmaschiges Drahtnetz gefiltert; auf diesem zurückgehaltene größere Sporenklümpchen können am Netz zerrieben und der Suspension zugegeben werden.

Jeder Markierungsstoff soll in die zur Einspeisung vorgesehene Schwinde in einer Art eingebracht werden, die seinen möglichst verlustlosen Transport durch die unterirdischen Abflußkanäle ohne Beeinträchtigung der natürlichen Abflußverhältnisse gewährleistet. Durch die Einspeisung sollen die Durchflußmenge in der Schwinde sowie die Dichte, Viskosität, Oberflächenspannung und Temperatur des versinkenden Wassers möglichst wenig verändert werden. Eine Sporensuspension ist daher in möglichst verdünnter Form einzuspeisen. Die Zugabe soll gleichmäßig erfolgen und 10% der natürlichen Durchflußmenge in der Schwinde keinesfalls überschreiten. Das Triftgut soll sich im Wasser noch vor dem Versinken in der Schwinde gleichmäßig verteilen und ungestört in die Schwinde abziehen. Auf die Einhaltung dieser Bedingungen ist um so mehr zu achten, je geringer die natürliche Durchflußmenge in der Schwinde ist.

Wenn keine offene Schwinde (offene Spalte oder Höhlenschwinde) vorliegt und ein Zuflußgerinne im Schutt versickert, kann meist schon aus der Versickerungsmenge auf die Wasserwegsamkeit der Versickerungsstelle geschlossen werden. Versinken größere Wassermengen ohne Rückstau auf eng begrenztem Raum, kann das Vorliegen stark wasserwegsamere Kanäle unter der Schuttbedeckung angenommen werden; größere Sporenverluste durch einen Rückhalt im Schuttkörper sind dann nicht zu befürchten. Man wird jedoch trachten, die wasserabführende Kluft nach Möglichkeit freizulegen. Wo dies nicht gelingt, ist die Einspeisung am Ort mit der stärksten Versickerungsgeschwindigkeit, der allenfalls durch Farbstofffahnen genau lokalisiert werden kann, durchzuführen.

Schwieriger gestalten sich Einspeisungen in trockene Spalten und Schlucklöcher. Wenn aus den Verhältnissen in der Umgebung (Morphologie, Bewuchs) geschlossen werden kann, daß die vorgesehene Einspeisungsstelle zumindest zeitweise (bei Schneeschmelze oder Starkregen) als Schwinde fungiert oder daß sie in früheren Zeiten als solche wirksam war, kann nach Freilegung des oft verwachsenen oder verschütteten Abzugskanals in diesen eingespeist werden. In solchen Fällen empfiehlt sich eine ausreichende, womöglich schwallartige Vor- und Nachspülung mit einer entsprechend großen Wassermenge (einige hundert Liter); wird nicht vorgespült, kann ein wesentlicher Teil des Triftgutes an den trockenen Spaltenwänden zurückgehalten und dadurch dem Versuch entzogen werden. Das Spülwasser kann der Schwinde entweder durch eine Schlauchleitung zugeführt oder mit Fässern herangebracht werden. In hochalpinen Karstgebieten wurden Einspeisungen in sommerlich trockene Spalten mit Erfolg unter Ausnützung der Schneeschmelze durchgeführt.

Das Anrühren der Sporensuspension erfolgt am besten in 10-l-Plastik-Eimern. Zur Einbringung der Suspension in das Gerinne oder in eine Spalte bedient man sich eines Trichters (30—40 cm  $\phi$ ), über

dessen weite Öffnung ein feinmaschiges Drahtnetz gebunden ist. Mittels eines an den Trichter angeschlossenen Schlauches oder Rohres können auch Einspeisungen in unter dem Wasserspiegel liegende Schwinden mit Erfolg durchgeführt werden.

Besonders ist zu achten, daß von den Einspeisungsstellen keine Sporen direkt in die an den Quellen zu entnehmenden Proben oder ins Untersuchungslabor verschleppt werden. Die Einspeisungen sind daher von Personen durchzuführen, die im weiteren Verlaufe des Versuches nicht mehr in Erscheinung treten und auch mit dem weiter am Versuch beteiligten Personal nicht mehr in Kontakt kommen; nach Möglichkeit soll das Einspeisungspersonal das Versuchsgebiet überhaupt verlassen. Aufsichtspersonen bei der Einspeisung müssen von der Einspeisungsstelle gegen den Wind postiert sein. Im Gegensatz zu löslichen Markierungsstoffen (Farbstoffe, Salze etc.), die durch Waschen entfernt werden können, haften Sporen vor allem Textilien sehr fest an; einmal mit Sporen verseuchte Kleider können praktisch zeitlich unbegrenzt Sporen abgeben. Da bei manchen Versuchen in einzelnen Proben nur wenige Sporen ( $< 10$ ) auftreten, kann selbst durch einzelne auf diese Art ins Labor verschleppte Sporen das Ergebnis eines ganzen Versuches verfälscht werden.

Um eine Vertriftung der Sporen von der Einspeisungsstelle durch den Wind (die nie ganz zu vermeiden sein wird!) möglichst hintanzuhalten, sind die Sporen in kleineren Portionen vorsichtig in die (ca. zu  $\frac{1}{5}$  mit Wasser gefüllten) Eimer, in denen die Suspension angerührt werden soll, einzuleeren.

## Der Sporennachweis

Das auf Sporengehalte zu prüfende Wasser wird gefiltert. Die Porenweite der Filter muß kleiner als der Durchmesser der Sporen, also kleiner als  $30 \mu$ , sein. Die Zahl der im Filter gesammelten Sporen hängt vom Sporengehalt des Wassers und von der filtrierten Wassermenge ab.

### Filterung durch Planktonnetze in natürlichen Gerinnen

Als Filter werden Planktonnetze aus entsprechend feinmaschiger Nylongaze verwendet. Diese Netze werden in das fließende Wasser derart eingehängt, daß sie unter möglichst gleichmäßigem Anströmungsdruck stehen.

Die in der Zeiteinheit filtrierte Wassermenge steigt mit der Filterfläche und mit der Maschenweite des Filtergewebes. Sie sinkt mit zunehmender Einhängdauer der Netze und mit zunehmendem Feststoffgehalt des Wassers (Verlegung des Filtergewebes und Verminderung der Filtergeschwindigkeit!).

Am besten haben sich Planktonnetze (obere Öffnung ca.  $150 \text{ cm}^2$ , Länge ca.  $23 \text{ cm}$ ) mit einer Gesamtfilterfläche von ca.  $700\text{--}800 \text{ cm}^2$  bewährt (Abb. 2). Als Filtergewebe dient Nylongaze „Nybolt 25 T II-25“

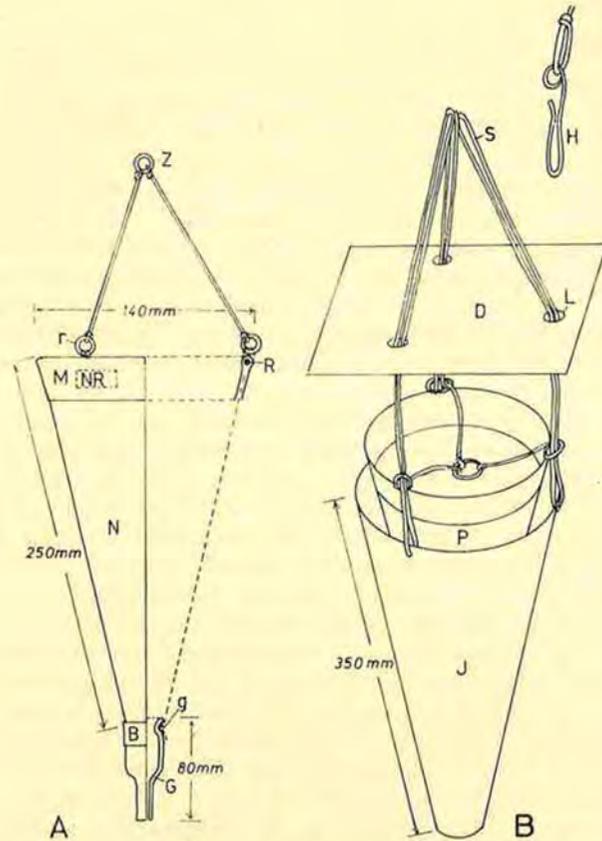


Abb. 2: Planktonnetze.

A: Aufbau des Planktonnetzes. Die Nylongaze N wird mit einer Manschette M aus Nylongewebe am nichtrostenden Draht ring R (Durchmesser 140 mm, Drahtstärke 3 mm) befestigt. In die Manschette ist eine von außen sichtbare wasserbeständige Nummer NR eingenäht. Am unteren Ende des Netzes ist der Glastrichter G bei g festgebunden; die Bindung ist mit einem wasserbeständigen Selbstklebeband B gesichert. An der oberen Öffnung des Netzes sind mit Nylongarn 3 nichtrostende Ringe r angenäht, an denen der zentrale Aufhängering Z mit festem Garn befestigt ist. Auf den Auslauf des Glastrichters G wird ein Gummischlauch aufgeschoben, der mit einem Quetschhahn verschlossen werden kann (hier nicht eingezeichnet!).

B: Zusammenstellung der Netzgarnitur. Die obere Öffnung des Juteschutznetzes J ist durch einen eingenähten nichtrostenden Draht ring (155 mm Durchmesser, 3 mm Drahtstärke) versteift. Um den Draht ring werden 3 Schlaufen S aus fester Schnur (30 cm lang) gebunden. Diese Schnurschlaufen werden durch die Ringe r des Planktonnetzes P und die Löcher L des Drahtschutzgitters D gezogen und in den Haken H eingehängt. Der Haken H ist mit festen Schnüren oder mit einem Drahtseil im Gerinne dauerhaft fixiert.

Weitere Erläuterungen im Text.

(Maschenweite 25 Mikron, freie Siebfläche 9%) der Schweiz. Seidengazefabrik AG, Zürich, Grütlistraße 68. Die Verwendung eines feineren Gewebes bringt keinerlei Vorteile mit sich und ist wegen der geringeren Filtergeschwindigkeit und der raschen Verlegung nicht zu empfehlen; grobmaschigere Gewebe (wie die früher verwendete Seidengaze mit 50—60  $\mu$  Maschenweite) liefern nach Ergebnissen von Vergleichsversuchen nur 5—10% der durch die Nylonnetze (25  $\mu$  Maschenweite) erzielbaren Sporenzahlen. Die Planktonnetze werden durch (die Filtergeschwindigkeit nicht beeinträchtigende) Übernetze aus grobmaschigem Jutegewebe gegen mechanische Beschädigungen geschützt. Über der Netzöffnung wird als Schutz gegen Steine oder Holzstücke, die in das Netz gelangen und dieses beschädigen könnten, ein Drahtgitter (ca. 1 mm Maschenweite) befestigt. Diese Netzgarnituren, bestehend aus Planktonnetz, Juteschutznetz und Schutzgitter werden in den Bachlauf oder Quellabfluß derart eingehängt, daß sie durch die Strömung mäßig stark aufgebläht werden (Abb. 3). Optimale Anströmungsverhältnisse mit größtmöglichen Filtergeschwindigkeiten liegen vor, wenn die Netze von außen mit der Hand nur mit merkbarem Kraftaufwand zusammengedrückt werden können. Dieser Zustand wird jedoch nur dann erreicht, wenn die Netzöffnungen zur Gänze von Wasser überstaut sind. Zu große Fließgeschwindigkeiten oder starke Turbulenz sind wegen der damit verbundenen starken Beanspruchung der Netze zu vermeiden. Bei der Wahl der Einhängstellen ist ferner darauf zu achten, daß bei niederschlagsbedingtem starkem Ansteigen der Gewässer die Netze nicht etwa durch Sand, Steine oder sonstiges Triftgut verlegt oder beschädigt werden. Die besten Erfolge werden bei gleichmäßigen Fließgeschwindigkeiten von 1—2 m/s erzielt.

In den meisten Fällen genügt es, die Netzgarnitur an einer entsprechend starken Schnur, die an einem Baum, Felsblock oder Brückenpfeiler befestigt ist, in das Gerinne einzuhängen. Durch entsprechende Verspannungen oder Einbauten ist dafür zu sorgen, daß das Netz während der Beobachtungszeit nicht seine Lage verändert und weder ans Ufer noch in zu rasch fließende Teile des Gewässers verlagert werden kann. Bei schwachen Gerinnen hat sich vielfach die Errichtung eines ca. 10—20 cm hohen, abgedichteten Steinwalles mit einer Öffnung, in die das Netz eingehängt wird, bewährt; hier muß allerdings der Spiegel des Unterwassers tiefer liegen als die Unterkante des Netzes, wenn gute Filtergeschwindigkeiten erzielt werden sollen (Abb. 3).

Zur Erleichterung der Aushängung des Netzes zur Probenentnahme erfolgt die Einhängung der Netzgarnituren an eigens hierfür hergestellten Einhänghaken, die an die Befestigungsschnur angeknüpft werden.

Statt direkt in ein Gerinne können die Netze bei Vorliegen entsprechender Gefällsverhältnisse auch in Bodenöffnungen von Holzrinnen oder Holzkästen, denen laufend Quellwasser zugeführt wird,

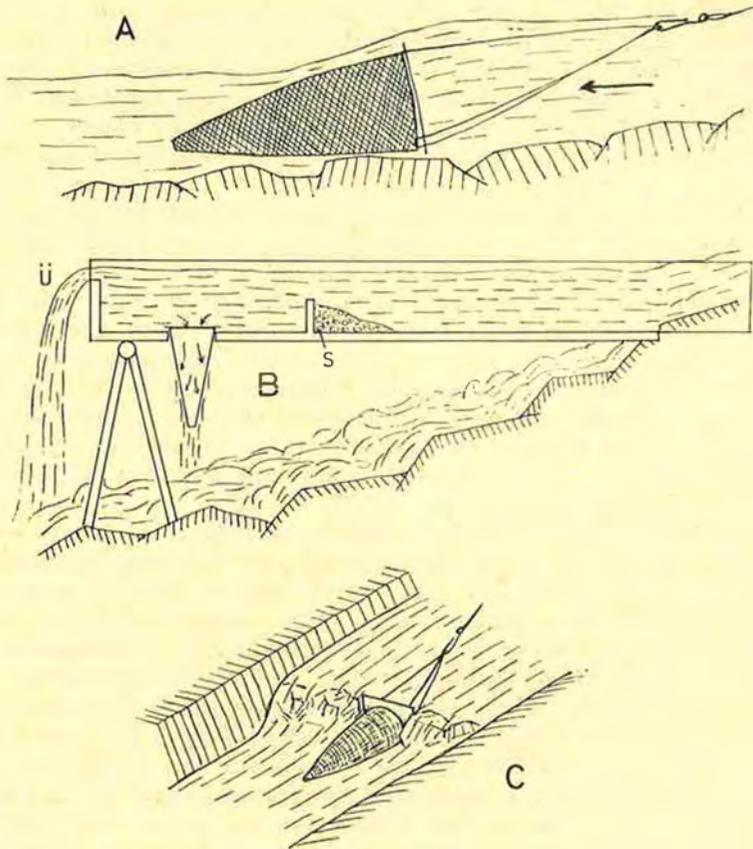


Abb. 3: Einhängung von Planktonnetzen.

A: Direkte Einhängung einer Netzgarnitur in einem Gerinne. Das Netz muß durch das Wasser aufgebläht werden.

B: Vertikale Einhängung einer Netzgarnitur in einer Holzrinne. Durch den Überfall Ü wird der auf das Netz wirkende Wasserdruck konstant gehalten. In die Rinne kann ein Sandfang S eingebaut werden.

C: Einhängung einer Netzgarnitur in ein Gerinne mit schwachem Gefälle und geringen Fließgeschwindigkeiten. Durch einen Damm aus Steinen wird der nötige Wasserdruck erzielt.

Weitere Erläuterungen im Text.

vertikal eingehängt werden (Abb. 3). Die Netze stehen dann stets unter gleichem Wasserdruck; Sandeinschwemmungen können durch entsprechende Einbauten verhindert werden. Infolge des größeren Aufwandes wird diese Art der Netzeinhängung, die die besten Ergebnisse liefert, wohl nur zur Klärung von Spezialfragen Anwendung finden.

Von V. MAURIN und J. ZÖTL (1959) wurde die Einhängung von Planktonnetzen in zerlegbaren Holzgestellen beschrieben. Diese Methode liefert aber in seichten Gerinnen keine guten Ergebnisse, da die Netzöffnungen dort z. T. aus dem Wasser herausragen und nicht die ganze Filterfläche zur Sporensammlung ausgenützt wird.

Während der Einhängungsdauer sammeln sich im Netz, meist mehr oder weniger fest an die Netzzinnenfläche angelagert, die vom Wasser mitgeführten Feststoffe. Während anfangs nur Partikel  $> 25 \mu$  zurückgehalten werden, wird im Zuge der Filterung die wirksame Maschenweite des Filtergewebes durch Feststoffrückhalt ständig verkleinert, so daß zuletzt auch Partikel  $< 1 \mu$  zurückgehalten werden und die Filtergeschwindigkeit auf weniger als  $1 \text{ ml/cm}^2$  pro Minute sinkt, das Netz also nahezu undurchlässig wird.

In vielen Fällen ist eine weitgehende Verlegung des Netzes bereits nach ein- bis zweistündiger Einhängdauer erreicht. Eine Verlängerung der Einhängdauer bewirkt dann keine weitere Sporenanreicherung mehr. So konnte bei entsprechenden Vergleichsuntersuchungen festgestellt werden, daß die bei sechs- und zwölfstündiger Einhängdauer der Netze erzielten Sporenzahlen von der gleichen Größenordnung (und z. T. sogar geringer) waren wie die bei zweistündiger Netzeinhängung (siehe Bericht über den Triftversuch Semriach-Peggau in diesem Band).

Wenn also z. B. bei 24stündiger Probenentnahme 12 Stunden nach der Netzeinhängung ein massierter Sporenaustritt aus der Quelle erfolgt, wird sich dieser in der Sporenzahl, die in der nach weiteren 12 Stunden entnommenen Probe festgestellt werden kann, kaum mehr oder nur noch schwach abbilden. Sollte dieser Sporenaustritt bei der Neueinhängung des Netzes nach der Probenentnahme schon wieder stark abgeklungen sein, wird man aus der nächsten (nach weiteren 24 Stunden entnommenen) Probe nicht mehr auf die Stärke des tatsächlich erfolgten Sporenaustrittes schließen können.

Bei der Interpretation der in Planktonnetzproben nachgewiesenen Sporenzahlen ist daher zu beachten, daß unter Umständen eine in einer 24-Stunden-Probe nachgewiesene geringe Sporenmenge sowohl auf einen schwachen Sporenaustritt gleich nach der Netzeinhängung als auch auf einen sehr starken Sporenaustritt knapp vor der Probenentnahme zurückzuführen sein kann.

Die optimale Einhängdauer der Netze wird daher weitgehend durch die Geschwindigkeit der Netzverlegung durch Feststoffe, an denen die nachzuweisenden Sporen mengenmäßig nur den geringsten Anteil haben, bestimmt. Am größten ist die Feststoffanlieferung sowohl in

langsam fließenden, stark verkrauteten Bächen (organisches Material!) wie auch in turbulent fließenden Bergbächen (Feinsand!). Eine Netzeinhängung nahe dem Quellmund ist daher im Interesse der Erzielung optimaler Sporensammlungsergebnisse anzustreben.

Bei räumlich eng begrenzten Sporenriftversuchen, die nur kurze Durchlaufzeiten erwarten lassen und bei denen der Zeitpunkt des ersten Sporenaustrittes sowie die Sporendurchgangsspitze möglichst exakt festgestellt werden sollen, wird daher eine kurzfristige Probenentnahme vorzuziehen sein. Bei sich über ausgedehnte Areale erstreckenden Großversuchen mit langen Laufzeiten kann erfahrungsgemäß auch bei 24stündiger Einhängdauer der Sporendurchgang noch recht gut erfaßt werden (Abb. 4). Welche Einhängdauer jeweils vorzuziehen ist, hängt also letztlich von den jeweiligen natürlichen Gegebenheiten, der Fragestellung und den Beobachtungsmöglichkeiten ab.

Grundsätzlich sind bei jedem Triftversuch die Netze so zeitgerecht einzuhängen, daß noch vor Beginn der Einspeisungen Blindproben genommen werden können.

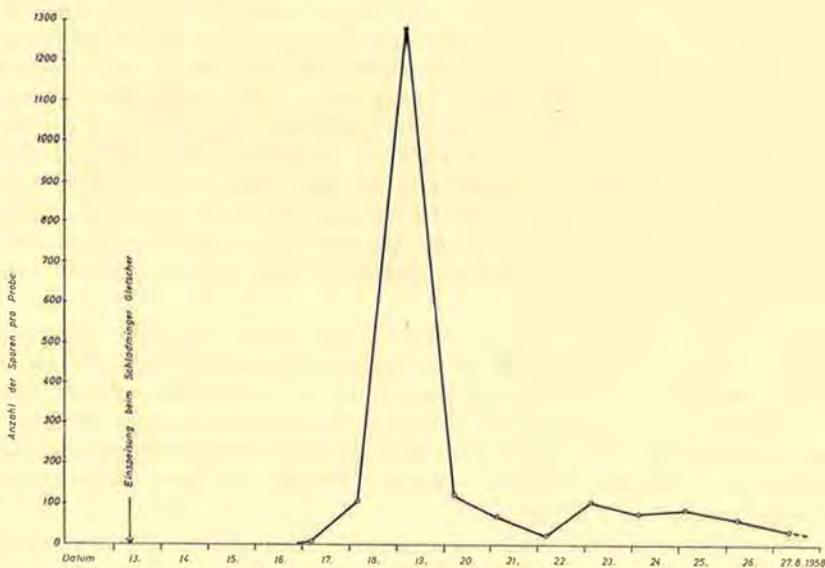


Abb. 4: Der Sporendurchgang im Waldbachursprung beim Triftversuch Dachstein 1958 als Beispiel für eine geschlossene Triftung der Hauptsporenmenge von einer starken Schwinde (Gletscherschwinde  $> 5$  l/s) zu einer Riesenquelle ( $> 1$  m<sup>3</sup>/s). Die Horizontaldistanz zwischen Schwinde und Quelle beträgt 8,4 km, der Höhenunterschied 1480 m. (Aus J. ZÖTL 1960/61). Der Durchgang konnte durch 24stündige Probenentnahme noch sehr gut erfaßt werden.

## Die Entnahme der Planktonnetzproben

Das im Netz gesammelte Feststoffmaterial muß möglichst quantitativ gewonnen und dem Labor zur Aufbereitung und Untersuchung zugeführt werden. Zu diesem Zweck wird vorerst die gesamte Netzgarnitur (Planktonnetz mit Jutenetz und Schutzgitter) aus dem Gewässer herausgenommen. Hierbei ist darauf zu achten, daß das im Netz befindliche Wasser nicht etwa durch die Netzöffnung ausfließt, da dadurch ein Teil des gesammelten Feststoffmaterials (mit Sporen) verlorengehen kann. Von den vertikal gehaltenen Netzgarnituren wird vorerst das Schutzgitter abgenommen. Danach wird das Planktonnetz mit dem Mittelring an einem vorbereiteten Haken (eventuell Baumast oder Nagel im Baumstamm) aufgehängt und das Jutenetz vorsichtig (ohne dabei den Quetschhahn am Planktonnetz zu öffnen) abgezogen. Das nun frei hängende Planktonnetz ist meist noch zu  $\frac{2}{3}$  mit Wasser gefüllt, das nur langsam durch die verlegte Gaze sickert. Durch leichtes Ribbeln der Gaze von außen zwischen den Fingern (womit man tunlichst am Oberrand des Netzes beginnt) wird der im Netz gesammelte Rückstand von der Innenfläche der Gaze gelöst und sinkt in den Glastrichter ab; die Gaze wird damit wieder wasserdurchlässig. Es empfiehlt sich, diesen Vorgang durch neuerliches Einbringen von Quellwasser in das vertikal hängenbleibende Netz unter neuerlichem Ribbeln so lange zu wiederholen, bis sich das gesamte im Netz gesammelte Feststoffmaterial im Glastrichter befindet. Je weniger Feststoffmaterial im Netz gesammelt worden ist, um so mehr muß getrachtet werden, dieses möglichst quantitativ zu gewinnen! Durch Öffnen des Quetschhahnes wird der Inhalt des Glastrichters in eine Flasche (30 bis 50 ml) abgefüllt. Sollte der Schlauch am Glastrichter verstopft sein, kann er von innen her mit einem steifen Draht oder ähnlichem vorsichtig durchstoßen werden.

Vor der Wiedereinhängung müssen die Netze gründlich gereinigt werden, bis sie wieder ihre ursprüngliche Durchlaßfähigkeit haben. Hierzu werden die Netze umgestülpt und in fließendem Wasser (das nun die Gaze in umgekehrter Richtung durchströmt) stark geribbelt. Das gereinigte Netz wird mit dem Quetschhahn verschlossen (Dichtheit überprüfen!), in das Jutenetz eingebracht und mit dem Schutzgitter versehen wieder eingehängt.

Am ehesten werden erfahrungsgemäß Schutzgitter und Jutenetze beschädigt, die, wenn sie nicht mehr reparaturfähig sind, durch neue ersetzt werden. Die aus Nylongaze hergestellten Planktonnetze sind äußerst widerstandsfähig und am wenigsten gefährdet. Kleine Löcher können nach Trocknung mit Leukoplast oder ähnlichem verklebt, zerbrochene Glastrichter können durch neue ersetzt werden. Es empfiehlt sich daher, die Probennehmer jeweils mit dem erforderlichen Reparaturmaterial und mit kompletten Ersatzgarnituren auszustatten.

Da es nicht auszuschließen ist, daß trotz gründlicher Reinigung Sporen in den Netzen zurückgehalten werden, sollen gebrauchte Netze nur dann für weitere Versuche verwendet werden, wenn sie bei früheren Versuchen nur sporenfreie Proben geliefert haben. Ohne Bedenken können bei früheren Versuchen sporenpositive Netze dann wiederverwendet werden, wenn bei neuen Versuchen jene Sporenfarben, die im Netz seinerzeit nachgewiesen wurden, nicht eingespeist werden. Wenn eine Wiederverwendung der Netze vorgesehen ist, muß daher bei jedem Versuch über den Einsatz jedes einzelnen Netzes und über die in ihm nachgewiesenen Sporen Buch geführt werden. Während eines Versuches ist die Übertragung eines Netzes von einer Beobachtungsstelle zur anderen nicht statthaft. Jutenetze und Schutzgitter werden, wenn sie in sporenpositiven Gewässern eingesetzt waren, nach Ende des Versuches verworfen.

Die befüllten Probenflaschen werden mit Korkstopfen verschlossen und entsprechend etikettiert (Angabe der Beobachtungsstelle sowie des Tages und der Zeit der Probenentnahme) dem Labor zur weiteren Verarbeitung zugestellt. Durch Zugabe von Formaldehyd kann verhindert werden, daß der organische Anteil der Sporenproben nach mehrwöchiger Lagerung in Fäulnis übergeht. Farbe und Form der Sporen erleiden nach den bisherigen Erfahrungen auch durch mehrjährige Lagerung der Proben keine Veränderung. Über die Probenentnahme selbst ist von den Beobachtern mit Durchschrift Buch zu führen, wobei jeweils für jede Beobachtungsstelle neben der Probenentnahmezeit auch die Nummer des eingesetzten Planktonnetzes, allfällige Bemerkungen über Schäden und deren Behebung, Angaben über Netzwechsel sowie — wenn vorgesehen — gemessene Schüttungs- und Temperaturwerte u. a. m. festzuhalten sind. Die Durchschriften werden mit den Proben dem Labor übermittelt.

### **Aufarbeitung und Mikroskopieren der Planktonnetzproben**

Da die aus den Planktonnetzen gewonnenen Proben oft bis zu mehreren Gramm Feststoffmaterial enthalten können, die mikroskopische Untersuchung einer so großen Probenmenge aber ausgesprochen unwirtschaftlich wäre, muß getrachtet werden, durch entsprechende Aufarbeitungsmethoden eine Anreicherung der sporenführenden Fraktion zu erzielen.

Die Aufbereitung der Proben mit Kalilauge wurde von A. HOFER (1959, dort auch weitere Literatur) eingehend beschrieben. Durch die Kalilauge wird ein Großteil des organischen Detritus zerstört; Kalksand (soweit er nicht schon durch die Schwere von der sporenführenden Fraktion zu trennen ist) kann durch verdünnte Salzsäure gelöst werden.

Um das Kochen mit Kalilauge zu umgehen, wurde versucht, die Sporenfraktion von den übrigen Probenbestandteilen durch ihre

Schwebefähigkeit zu trennen. Die Probe (30—50 ml) wird, je nach Gehalt an Feststoffen, in einem 250-ml-Becherglas (hohe Form) mit 100—200 ml Wasser versetzt und stark gerührt. Das Rühren wird so lange fortgesetzt, bis eine vollständige Dispergierung des oft zu größeren Aggregaten zusammengebackenen Feststoffmaterials erreicht ist. Nach zirka einminütigem Stehen wird dekantiert und das Dekantat durch Zentrifugieren eingeengt. (Eine elektrische Zentrifuge ist hierzu unerlässlich!) Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis eine Trennung der Fraktion  $D < 50 \mu$  von den groben Fraktionen erreicht ist. Die auf diese Art bisher gewonnenen Ergebnisse sind als ausgesprochen gut zu bezeichnen. Welche der beiden Methoden jeweils anzuwenden ist, hängt letztlich von der Zusammensetzung der Netzproben ab. Wenn überwiegend organisches Feinmaterial ( $D < 50 \mu$ ) vorliegt, ist unter Umständen dem Kochen mit Kalilauge der Vorzug zu geben.

Wenn Proben nachweislich mehr als 100 Sporen enthalten, genügt die Untersuchung der Hälfte oder eines Viertels der Probenmenge. Der Originalprobe wird unter dauerndem Rühren der entsprechende Anteil entnommen, der dann aufgearbeitet und mikroskopiert wird. Bei genauer Teilung kann der Fehler kleiner als einige Prozent der Gesamtsporenmenge gehalten werden.

Der nach einer der beiden Methoden gewonnene und auf Sporengelalte zu prüfende Rückstand wird durch Zentrifugieren so weit eingeengt, daß hiervon noch gut mikroskopierbare Präparate angefertigt werden können. Je 1—3 Tropfen des Rückstandes werden aus den Zentrifugengläsern mit einer Pipette auf Objektträger gebracht und mit Deckgläsern bedeckt. Durch einen Zusatz von Glycerin wird das rasche Antrocknen der Präparate verhindert. Mit welcher Vergrößerung die beste Mikroskopierleistung erzielt wird, hängt von der Dichte und der Zusammensetzung der Präparate ab. Bei sauberen Präparaten kann in der Regel mit etwa ein- bis zweihundertfacher Vergrößerung das Auslangen gefunden werden. Als Lichtquelle ist eine Mikroskopierlampe mit Tageslichtfilter dem stark veränderlichen Tageslicht vorzuziehen. Zur Erleichterung der Unterscheidung der einzelnen Sporenfarben (vor allem rot-violett-blau) sind beim Mikroskopieren Vergleichspräparate (Dauerpräparate) mit verschiedenen gefärbten Sporen bereitzuhalten. Zur Durchsicht der Proben und Auszählung der Sporen ist ein Kreuztischschlitten unerlässlich.

Selbstverständlich müssen alle Geräte, die bei der Aufbereitung einer Probe verwendet wurden, vor Aufbereitung neuer Proben gründlichst gereinigt werden, um Sporenverschleppungen zu verhindern. Zum Aufbereiten der Proben darf nur einwandfrei sporenfrees Wasser verwendet werden, das erforderlichenfalls auch durch Filtern von sporenverdächtigem Wasser hergestellt werden kann.

Die zur Aufbereitung und mikroskopischen Untersuchung einer Probe erforderliche Zeit hängt von der Verschmutzung und vom Spo-

rengehalt der Probe ab. Erfahrungsgemäß können von einer geschulten Kraft im Tag 4—8 Proben untersucht werden.

### **Filterung von Wasserproben im Labor**

An Stelle der kontinuierlichen Netzeinhängung in Gerinnen kann Quellwasser auch im Labor gefiltert werden. Aus den Gewässern entnommene Wasserproben ( $\sphericalangle$  1 l!) werden durch ein entsprechend feines Filter gesaugt; der Filterrückstand wird unter dem Mikroskop direkt auf Sporengehalte untersucht. Als Filter eignet sich am besten ebenfalls Nylongaze von 25  $\mu$  Maschenweite; feinere Filter (z. B. Membranfilter) verlegen sich sehr rasch durch die im Wasser enthaltene Trübe und bedingen lange Filterzeiten. Die Filtergröße ist so zu wählen, daß die gesamte Filterfläche bei Anwendung eines Kreuztisches mikroskopisch untersucht werden kann. Da 1 l Wasser erfahrungsgemäß nur weniger als 1% der unter günstigen Verhältnissen durch Planktonnetze in Gerinnen gesammelten Sporenmenge enthält und ferner der Transport großer Wassermengen ins Labor meist mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden ist, wird die Anwendung dieser Methode wohl nur auf Spezialuntersuchungen beschränkt bleiben. Ihr Vorteil beruht in der Bestimmung der zur Zeit der Probenentnahme tatsächlich im Wasser vorhandenen Sporenmenge, auf die aus Planktonnetzproben nicht geschlossen werden kann.

### **Möglichkeiten und Grenzen der Sporenriftmethode**

Die in Suspension getrifteten Sporen sinken in ruhigem Wasser mit Geschwindigkeiten um 1—10 cm/h ab. In turbulent durchflossenen Triftstrecken wird keine bedeutende Sporensedimentation erfolgen. Sobald die Sporensuspension aber in nur langsam durchsickerte Abflußstrecken oder in nur oberflächlich schwach durchströmte, tiefe Becken gelangt, kann in diesen ein bedeutender Teil der eingespeisten Sporenmenge absinken. Die dort sedimentierten Sporen können nur noch mechanisch mobilisiert und dem weiteren Abfluß zugeführt werden, was nur bei Hochwässern, die eine ausreichende Turbulenz selbst auf dem Grund der Sedimentationsbecken verursachen, der Fall ist. Eine vollständige Ausspülung sedimentierter Sporen wird jedoch auch durch stärkere Hochwässer nicht bewirkt werden (Anhaften der Sporen an rauhen Felswänden usw.).

Wie Kontrolluntersuchungen zeigten, können noch viele Monate nach Durchführung eines Triftversuches Sporen aus den Quellen austreten (Abb. 5). Solche langfristige Sporenaustritte zeigen an, daß im Gebirge bedeutende Sporenmengen gespeichert werden können und eine vollständige Reinigung der unterirdischen Wasserwege von Sporen praktisch nie erreicht werden wird. Es dürfen daher selbst nach mehrjähriger Wartezeit in einem bereits einmal mit Sporen beschickt

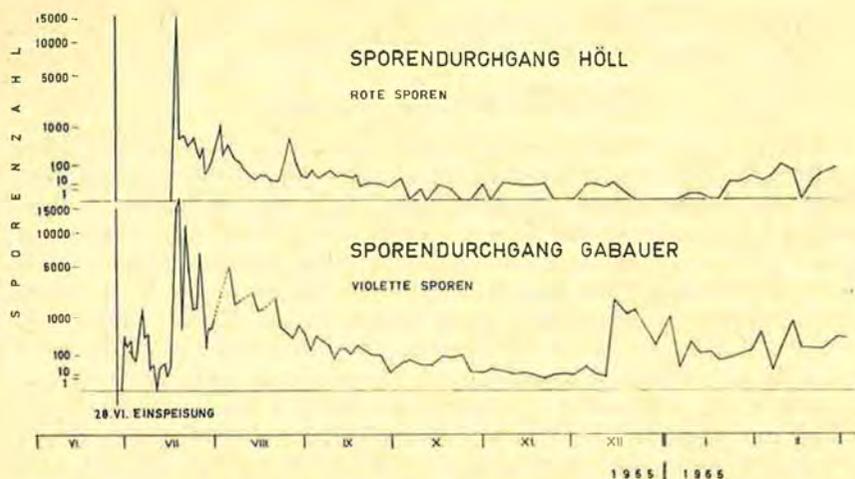


Abb. 5: Sporenaustritte beim Triftversuch Schlagerboden (Frankenfels, NÖ) 1965. Die in zwei Schwinden am 28. Juni eingespeisten Sporen (je 6 kg) traten voneinander getrennt in zwei verschiedenen Quellen aus. Der stärkste Austritt erfolgte nach wolkenbruchartigen Regenfällen erst am 19. Juli (Höllquelle: 16.400 rote Sporen) und am 20. Juli (Gabauerquelle: 17.900 violette Sporen). Die Sporenaustritte klangen langsam ab. Im Dezember wurde nach starken Niederschlägen in der Gabauerquelle neuerlich ein starker Sporenaustritt (1670 Sporen) festgestellt. Im Februar 1966 lieferten beide Quellen noch bedeutende Sporenmengen (Höllquelle: 5—20 Sporen pro Probe; Gabauerquelle: 10—400 Sporen pro Probe). Die Horizontalentfernung und der Höhenunterschied zwischen Schwinde und Quelle betragen beim Triftweg zur Höllquelle 1 km bzw. 40 m und beim Triftweg zur Gabauerquelle 1,3 km bzw. 110 m. Über die Detailergebnisse dieses Versuches wird an anderer Stelle berichtet werden.

gewesenen Karstwassersystem nur anders gefärbte Sporen, als sie bei den vorhergegangenen Versuchen eingespeist wurden, verwendet werden.

Eine möglichst verlustlose Triftung von Sporen durch ein unterirdisches Hohlraumssystem wird durch Hochwasserverhältnisse begünstigt. Allerdings erfordern die dann erhöhten Quellschüttungen in der Regel größere Einspeisungsmengen und entsprechend aufwendige Maßnahmen zur Sicherung der Beobachtungseinrichtungen. Erhöhte Mittelwasserverhältnisse scheinen die besten Voraussetzungen für Triftversuche zu bieten. Bei unter Niederwasserverhältnissen durchgeführten Triftversuchen negativ gebliebene Quellen sind nach Möglichkeit bei später eintretenden Hochwässern neuerlich zu beobachten, um allenfalls dann erst mobilisierte und den Quellen zugeführte Sporen nachweisen zu können.

Die Menge der an den Beobachtungsstellen austretenden Sporen entspricht der um den Rückhalt verminderten Einspeisungsmenge. Die Größe des Rückhaltes hängt von der Gestalt des vom Wasser durchflossenen Hohlraumsystems und den jeweils herrschenden hydrologischen Verhältnissen ab. Aus großen Durchflusssmengen an den Schwinden und Quellen kann nicht unbedingt auf geringe Sporenrückhalte im Karstwassersystem geschlossen werden. Andererseits können aber selbst in trockene Felsspalten mit nur geringer Nachspülung eingebrachte Sporen rasch in ein stark wasserführendes Gefäß gelangen und durch dieses massiert den Quellen zugeführt werden.

Der stärkste Sporenrückhalt erfolgt in nur schwach durchflossenen Kanälen: In Sickerquellen sind daher kaum Sporenaustritte zu erwarten, selbst wenn aus ihnen in der Einspeisungsstelle versinkendes Wasser austritt.

Die zu wählenden Einspeisungsmengen richten sich daher in der Regel nach den bisher gewonnenen Erfahrungswerten, die natürlich nicht kritiklos auf andere Untersuchungsgebiete übertragen werden dürfen.

Bei den bisher in alpinen und außeralpinen Karstgebieten\* durchgeführten Triftversuchen mit Triftwegen bis zu 20–30 km wurden in der Regel jeweils 10–25 kg Sporen eingespeist. Damit konnten an kleinen Quellen in Einzelproben noch durchschnittlich 10 Sporen erzielt werden. (Diese Sporenzahlen wurden auch bei Einspeisungen in trockene Spalten mit Nachspülung von einigen 100 l Wasser erreicht. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß die eingespeisten Sporen rasch in natürlich durchflutete Karstwasserkanäle gelangen, was von der Oberfläche her aber nicht festgestellt werden kann.) Mehr als 100 Sporen pro Probe traten nur selten auf, und zwar meist nur in großen Quellen, die aus stark wasserwegigen Karstkanälen gespeist werden (siehe Abb. 4) sowie bei äußerst kurzen Triftstrecken. Bei Triftstrecken von weniger als 5 km wurden auch noch mit geringeren Sporenmengen (5 kg und weniger) gute Ergebnisse erzielt. In vielen Fällen (vor allem bei großen Triftstrecken) konnten nur weniger als 10 Sporen pro Probe

---

\* Dachsteinmassiv: J. ZÖTL 1957; F. BAUER, J. ZÖTL & A. MAYR 1959; F. BAUER 1958; F. BAUER 1959 (unveröff. Bericht). — Totes Gebirge: J. ZÖTL 1961; V. MAURIN & J. ZÖTL 1964, u. mündl. Mitt. d. Autoren. — Steinernes Meer: H. BRANDECKER, V. MAURIN & J. ZÖTL 1965. — Lechtaler Alpen: J. ZÖTL 1961 u. mündl. Mitt. d. Autors. — Hochkönig: F. BAUER 1966 (unveröff. Bericht). — Schneecalpe: F. BAUER 1962 u. 1963 (unveröff. Berichte). — Buchkogel bei Graz: V. MAURIN & J. ZÖTL 1959; K. BUCHTELA et al. 1964. — Voralpe bei Altenmarkt (Stmk.): J. ZÖTL 1964 u. mündl. Mitt. d. Autors. — Köflach (Stmk.): V. MAURIN & J. ZÖTL 1959 u. mündl. Mitt. d. Autoren. — Bükkgebirge (Ungarn): F. BAUER 1960 (unveröff. Bericht). — Cetina-Hinterland (Bosnien): V. MAURIN & J. ZÖTL 1965 (Ergebnisse nicht veröffentlicht). — Korbach (Hessen, BRD): B. HÖLTING & G. MATTHES 1963.

nachgewiesen werden. Bei der Verwendung von Nylonnetzen, die damals noch nicht zur Verfügung standen, wären mit den gleichen Einspeisungsmengen zweifellos weitaus höhere Sporenzahlen erzielt worden (siehe oben).

Bei einem im Einzugsbereich der Trebišnjica (Bosnien) durchgeführten Triftversuch (F. BAUER 1962, unveröff. Bericht) mit Einspeisung von 25 kg Sporen in eine überstaute Poljenschwinde konnten in einer 17 km von der Einspeisungsstelle entfernten Riesenquelle, die zur Versuchszeit (Hochwasserverhältnisse) über 50 m<sup>3</sup>/s schüttete, noch bis zu 35 Sporen in den Einzelproben nachgewiesen werden.

Wenn zwischen Schwinden und Quellen gut durchflutete, geschlossene Karstwasserkanäle vorliegen, können weitaus höhere Sporenzahlen erzielt werden. So wurden im Lurgrottensystem zwischen Semriach und Peggau (siehe Bericht über den Triftversuch Semriach—Peggau 1966 in diesem Band) und im Schlagerbodengebiet in den niederösterreichischen Voralpen (F. BAUER, unveröff. Bericht) nach Einspeisung von 10 bzw. 6 kg Sporen in den Planktonnetzproben bis über 15.000 Sporen nachgewiesen (siehe Abb. 5). Bei diesen beiden Versuchen wurden die oben beschriebenen Nylongazenetze verwendet, die rund die zehnfache Sporenmenge sammeln als die früher bei den anderen Versuchen verwendeten grobmaschigeren Seidennetze.

In Lockergesteinskörpern ist mit einem vollständigen Rückhalt der Sporen zu rechnen. Zwar können in Sonderfällen (Vorliegen stark wasserwegsamere Horizonte oder Linien) auch hier positive Einzelergebnisse erzielt werden, die aber keine Rückschlüsse auf die Gesamtentwässerungsverhältnisse zulassen.

In hygienischer Hinsicht ist die Sporentriftmethode von diagnostischer Bedeutung, da nachgewiesene Triftwege anzeigen, daß über sie auch pathogene Keime (Sporendurchmesser = 30 µ, Länge von Typhusbazillen = 7 µ!) von den Schwinden in die sporenpositiven Quellen gelangen können.

Der wesentlichste Vorteil der Sporentriftmethode gegenüber allen anderen Methoden liegt in der Möglichkeit, durch Verwendung verschieden gefärbter Sporen gleichzeitig bis zu 5 verschiedene Schwinden zu beschicken und damit die Grundzüge der Abflußverhältnisse auch ausgedehnter Karstmassive unter denselben hydrologischen Verhältnissen im Rahmen eines einzigen Großversuches zu klären.

Die Sporentriftmethode wurde bisher in alpinen und außeralpinen Karstgebieten mit bestem Erfolg angewendet. Die erzielten Ergebnisse sind um so besser, je wegsamer und stärker durchflutet ein Karstwassersystem ist. Für die Untersuchung von Grundwasserkörpern ist die Triftmethode nicht geeignet.

## Literatur

- BAUER, F.: Quellwassergefährdung in Karstgebieten. Öst. Wasserwirtschaft, Jg. 10, 5/6, Wien 1958.
- BAUER, F., J. ZÖTL & A. MAYR: Neue karsthydrographische Forschungen und ihre Bedeutung für Wasserwirtschaft und Quellschutz. Wasser und Abwasser, Bd. 1958, Wien 1958.
- BRANDECKER, H., V. MAURIN & J. ZÖTL: Hydrogeologische Untersuchungen und baugelogeologische Erfahrungen beim Bau des Dießbach-Speichers (Steinernes Meer). — Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Jg. 1965, Graz 1965.
- BUCHTELA, K., J. MAIRHOFER, V. MAURIN, T. PAPADIMITROPOULOS & J. ZÖTL: Vergleichende Untersuchungen an neueren Methoden zur Verfolgung unterirdischer Wässer. Die Wasserwirtschaft, 54. Jg., 9, Stuttgart 1964.
- DECHANT, M.: Das Anfärben von Lycopodiumsporen. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Jg. 1959, S. 145—149, Graz 1959.
- ERDTMAN, G.: An Introduction to Pollen Analysis. Waltham, Mass., USA, 1954.
- HOFER, A.: Das Mikroskopieren der Planktonnetzproben. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Jg. 1959, S. 140—145, Graz 1959.
- HÖLTING, B. & G. MATTHES: Ein Sporenriftversuch im Zechstein von Korbach/Essen. Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 91, Wiesbaden 1963.
- KIRCHHEIMER, F.: Die Erhaltung der Sporen und Pollenkörner in den Kohlen sowie ihre Veränderungen durch die Aufbereitung. Bot. Arch., vol. 35, 1933 (zit. bei ERDTMAN 1954).
- MAURIN, V. & J. ZÖTL: Die Untersuchung der Zusammenhänge unterirdischer Wässer mit besonderer Berücksichtigung der Karstverhältnisse. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Jg. 1959, S. 125—189, Graz 1959.
- MAURIN, V. & J. ZÖTL: Karsthydrologische Untersuchungen im Toten Gebirge mit besonderer Berücksichtigung der versorgungswasserwirtschaftlichen Belange im Tauplitzgebiet. Öst. Wasserwirtschaft, Jg. 16, 5/6, Wien 1964.
- RUDOLPH, K.: Mikrofloristische Untersuchungen tertiärer Ablagerungen im nördlichen Böhmen. Beih. Bot. Centralbl., Vol. LV, 1935 (zit. bei ERDTMAN 1954).
- WILSON, L. R.: The spores of the genus *Lycopodium* in the United States and Canada. Rhodora, Vol. 36, 1934 (zit. bei ERDTMAN 1954).
- ZÖTL, J.: Der Einzugsbereich von Quellen im Karstgebirge. Öst. Wasserwirtschaft, Jg. 9, 4, Wien 1957.
- ZÖTL, J.: Neue Ergebnisse der Karsthydrologie. Erdkunde, Bd. XI, 2, Bonn 1957.
- ZÖTL, J.: Die Hydrographie des nordostalpinen Karstes. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, Jg. 1960/61, 2, Graz 1961.

## Summary

The technique of feeding-in the drifting material and of the collection and analysis of samples is described in detail. The right choice of the required quantities of feeding material and of the intervals between the collections of samples is dealt with on the basis of the results of various spore-drifting experiments. The possibilities and limitations of the methods are discussed.

## Résumé

Les opérations d'injection du traceur, de prélèvement et d'examen des échantillons seront expliquées en détail. En se référant aux résultats obtenus à la suite de différentes expériences aux spores traceuses, l'auteur expliquera le choix exact des quantités nécessaires de traceur ainsi que les intervalles des prélèvements d'échantillons. Finalement, les possibilités d'application et les limites de cette méthode seront discutées.