

BAND 8



ISSN 0253-097X

ISBN 3-900312-57-5

ERGEBNISSE  
ÖSTERREICHISCHER AKTIVITÄTEN  
IM INTERNATIONALEN  
HYDROLOGISCHEN PROGRAMM (IHP)  
1975 – 1980

Redaktion: Univ.-Prof. Dr. Ferdinand Steinhauser

---

**ARCHIV FÜR LAGERSTÄTTENFORSCHUNG**  
DER GEOLOGISCHEN BUNDESANSTALT

---

WIEN 1987

vormals Archiv für Lagerstättenforschung in den Ostalpen, begründet von O. M. FRIEDRICH  
Eigentümer, Herausgeber und Verleger: Geologische Bundesanstalt, 1030 Wien, Rasumofskygasse 23.

**Inhalt**

|   |    |
|---|----|
| Zum Geleit .....  | 5  |
| Vorwort .....   | 6  |
| Das österreichische IHP-Programm 1975-1980 .....  | 7  |
| Arbeiten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik im IHP 1975-1980.   |    |
| Mit 19 Abbildungen und 14 Tabellen .....  | 8  |
| 1. Einleitung .....   | 8  |
| 2. Hydrometeorologische und klimatologische Untersuchungen im Neusiedler Seegebiet .....  | 8  |
| 3. Verdunstung von Schneeflächen .....  | 19 |
| 4. Hydrometeorologische Untersuchungen an der Donau .....   | 20 |
| 5. Potentielle Verdunstung in Österreich .....  | 21 |
| 6. Einfluß von Wasserflächen auf das Klima ihrer Umgebung .....   | 22 |
| 7. Urbanhydrologie .....  | 24 |
| Seismische Eisdickenmessungen österreichischer Gletscher.   |    |
| Mit 2 Tabellen .....  | 27 |
| Österreichischer Beitrag zur Internationalen Hydrologischen Monographie der Donau .....   | 29 |
| Arbeiten des Institutes für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Wien im IHP 1975-1980 ..... |    |
| 1. Projekt: Grundwasserhaushaltsmodelle .....   | 30 |
| 2. Projekt: Wasserhaushalt von Österreich .....   | 35 |
| Arbeiten des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck im IHP 1975-1980.                                |    |
| Projekt: Eis-, Wasser- und Wärmehaushalt des Hintereisferners im Rofental bei Vent in Tirol während der Jahre 1975-1980.          |    |
| Mit 10 Abbildungen und 8 Tabellen .....   | 43 |
| Beitrag des Institutes für Geographie der Universität Salzburg zum IHP 1975-1980.   |    |
| Projekt: Massenzuwachs des Stubacher Sonnblick-Keeses (Hohe Tauern).  |    |
| Mit 4 Abbildungen und 3 Tabellen .....  | 56 |
| Beiträge der Biologischen Station Lunz zum IHP 1975-1980.   |    |
| Mit 8 Tabellen .....  | 61 |
| 1. Zum Problem der Meromixie von Alpenseen .....  | 61 |
| 2. Zum hydrochemischen Problem des Neusiedlersees .....   | 64 |
| 3. Zur hydrochemischen Charakterisierung von Silikat- und Humusgewässern in Niederösterreich .....                                | 66 |
| Die Arbeiten des Hydrographischen Dienstes in Österreich im Rahmen des IHP 1975-1980 .....  | 68 |
| Beitrag des Institutes für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz zum IHP.                      |    |
| Projekt: Hydrologisches Versuchsgebiet Pöllau.  |    |
| Mit 1 Abbildung .....   | 71 |

Schriftleitung: Albert Daurer.

Alle Rechte für In- und Ausland vorbehalten.

Medieninhaber, Herausgeber und Verleger: Geologische Bundesanstalt, A-1031 Wien, Rasumofskygasse 23.

Für die Redaktion verantwortlich: Univ.-Prof. Dr. Ferdinand Steinhauser, Dr. Albert Daurer.

Verlagsort: Wien.

Herstellungsort: Horn, N.Ö.

Ziel des „Archivs für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt“ ist die Verbreitung wissenschaftlicher Ergebnisse durch die Geologische Bundesanstalt.

Satz: Geologische Bundesanstalt.

Druck: Ferdinand Berger &amp; Söhne Ges. m. b. H., 3580 Horn

### Zum Geleit

Eine der wesentlichen Aufgaben der Geologischen Bundesanstalt, wie sie im Forschungsorganisationsgesetz festgelegt sind, besteht in der Dokumentation von Arbeitsergebnissen auf dem Gebiet der Geowissenschaften, wobei der Rohstoff-Forschung und -Erkundung besonderer Stellenwert zukommt.

Dies bezieht sich auch auf den lebenswichtigen Rohstoff Wasser, dessen Vorkommen, physikalische und chemische Eigenschaften, Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeiten angesichts von Umweltproblemen und Verknappung in den letzten Jahrzehnten in verstärktem Maße Forschungsgegenstand auf nationaler und internationaler Ebene geworden sind. Die von der UNESCO 1965 initiierte Hydrologische Dekade und deren Fortsetzung durch das Internationale Hydrologische Programm hat dieser Tendenz Rechnung getragen und auch in Österreich dahingehend stimulierend gewirkt, daß die Kenntnisse über Dargebot und Charakter der Wässer in unserem Lande eine bedeutende Erweiterung erfahren haben, sei es, daß es sich um Niederschlagswässer, Oberflächenwässer, in Gletschern gebundene oder um Grundwässer handelt.

Die Geologische Bundesanstalt, die an den betreffenden Forschungsprogrammen aktiv beteiligt war, hat mit ihrer Publikationsreihe „Archiv für Lagerstättenforschung“ ein Publikationsorgan zur Hand, mit dem die Forschungsergebnisse einer breiten Fachöffentlichkeit zur Kenntnis gebracht werden können, im Sinne der Dokumentationsverpflichtung der Geologischen Bundesanstalt.

T. E. GATTINGER  
Direktor der Geologischen Bundesanstalt

## Vorwort

Das Internationale Hydrologische Programm (IHP) wurde von der UNESCO als Fortsetzung der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) 1965–1974 ange-regt. Für die erste sechsjährige Phase von 1975 bis 1980 wurde vom Intergovernmental Council der UNESCO ein Untersuchungsprogramm ausgearbeitet. Über die in Österreich in diesem Abschnitt des IHP durchgeführten Untersuchungen und ihre Ergebnisse soll dieser Bericht Aufschluß geben.

An den Untersuchungen im IHP waren in Österreich in interdisziplinärer Zusammenarbeit folgende Institute beteiligt:

- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien
- Hydrographisches Zentralbüro in Wien
- Geologische Bundesanstalt in Wien
- Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck
- Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien
- Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Wien
- Geographisches Institut der Universität Salzburg
- Biologische Station Lunz
- Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz
- Abteilung für Hydrogeologie der Technischen Universität Graz

- Institut für Hydrobiologie der Universität für Bodenkultur Wien

Durch die Beteiligung Österreichs am IHP konnten Untersuchungen auf hydrometeorologischem, hydrologischem, glazialmeteorologischem und hydrogeologischem Gebiet durchgeführt werden, die ohne die für das IHP zur Verfügung gestellten Mittel nicht durchführbar gewesen wären. Die Untersuchungen waren zum Großteil mit Geländearbeiten verbunden und erforderten zum Teil auch neues Instrumentarium für die Beobachtungen und Personal für die Bearbeitungen, wofür die Kosten ebenfalls nur aus dem vom Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung zur Verfügung gestellten Budget für IHP gedeckt werden konnten.

Für die Koordinierung aller Arbeiten hatte ein an der Österreichischen Akademie für Wissenschaften unter Leitung von Prof. Dr. FERDINAND STEINHAUSER eingerichtetes Nationalkomitee für das IHP zu sorgen.

Durch die Beteiligung am IHP sind nicht nur den mitarbeitenden Instituten neue Forschungsmöglichkeiten eröffnet worden, sondern auch für verschiedene Wirtschaftszweige in Österreich nützliche Ergebnisse gewonnen worden.

Der Obmann des Nationalkomitees für IHP

## Das österreichische IHP-Programm 1975–1980

Eine der Hauptaufgaben im IHP in Österreich war die Bestimmung des Wasserhaushalts der einzelnen Flüsse und des ganzen Landes. Dieser Wasserhaushalt soll für jeden Monat erstellt werden. Dazu waren umfangreiche Untersuchungen für die Bestimmung des Verdunstungsanteils und über die Wasserspeicherung im Boden und im Schnee bzw. über die Wasserspende aus diesen notwendig. Dazu wurden auch Untersuchungen des Wärmehaushalts der Schneedecken im Hochgebirge durchgeführt.

Als weitere wichtige Aufgabe des IHP in Österreich ist die Erfassung der in den Gletschern gespeicherten Wasservorräte zu betrachten. Für diesen Zweck wurden in Fortsetzung des IHD (1) an fünfzehn großen Gletschern seismische Eisdickenmessungen durchgeführt, um den Wassergehalt dieser Gletscher festzustellen. Auf Grund dieser Ergebnisse konnte auch eine allgemeine Methode zur Abschätzung des Eisvolumens von Gletschern entwickelt werden, die auch bereits bei der Bearbeitung des Schweizer Gletscherkatasters Anwendung gefunden hat. Auch für die Bearbeitung eines österreichischen Gletscherkatasters (2,3) bildeten die Eisdickenmessungen und die daraus abgeleiteten Berechnungsmethoden die Grundlagen zur Bestimmung des Eisvolumens der einzelnen Gletscher, womit auch für die Wasserwirtschaft ein wichtiger Beitrag geliefert wurde.

In methodischer Hinsicht richtunggebend sind auch die Untersuchungen des Massenhaushalts des Hintereisferners, die während der IHD durchgeführt wurden und nun auch im IHP fortgesetzt wurden (4,5), womit wichtige Grundlagen für das Verständnis und für die Erklärung der Gletscherschwankungen geschaffen werden.

Als Beitrag zur Wasserbilanz der Erde ist eine Untersuchung über den Anteil des festen Niederschlags am Gesamtniederschlag der Erde (6) zu werten.

Zum Arbeitsprogramm des IHP gehört auch die Untersuchung von Grundwassereinzugsgebieten und Grundwasserhoffungsgebieten und im besonderen umfangreiche Grundwasseruntersuchungen zur Erstel-

lung eines Wasserwirtschaftsmodells des südlichen Wiener Beckens.

Im Rahmen des IHP wurde auch an der Herstellung hydrogeologischer Karten und an karsthydrologischen Untersuchungen gearbeitet.

Auch die Wärmebelastung von Flüssen durch Kraftwerke hat Beachtung gefunden. Diesbezügliche Untersuchungen werden im Rahmen der IHP-Arbeiten an der Donau durchgeführt. Auch Untersuchungen über den Energiehaushalt von Hochgebirgsseen wurden ange-stellt.

Untersuchungen über die hydrochemischen Komponenten natürlicher Gewässer im Zusammenhang mit der Geologie des Einzugsgebietes, über mikrobiologische Analysen und über die Selbstreinigung von Gewässern gehören zum IHP-Projekt der Bestimmung der Wasserqualität.

### Literatur

- 1) IHD-Activities in Austria 1965–1974. – Report to international conference on the results of the IHD, 2.–14. September 1974 in Paris, Vienna 1974.
- 2) PATZELT, G. & GROSS, G.: Österreichischer Gletscherkataster. – Unveröffentlichte Bearbeitung im Geographischen Institut der Universität Innsbruck.
- 3) PATZELT G.: The Austrian Glacier Inventory. – World Glacier Inventory, IAHS Publ. no 126, 1980.
- 4) KUHN, M. KASER, G., MARKL, G., WAGNER, H. P. & SCHNEIDER, H.: 25 Jahre Massenhaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner. – 80 S., Innsbruck (Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck) 1979.
- 5) KUHN, M. KASER, G., MARKL, G., NIRKUS, U. & PELLET, F.: Hydrologische und glaziologische Untersuchungen im Ötztal, 1952–1982. – 104 S., Innsbruck (Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck) 1985.
- 6) LAUSCHER, F.: Methoden zur Weltklimatologie der Hydrometeore. Der Anteil des festen Niederschlags am Gesamtniederschlag. – Archiv Met. Geoph. Biokl. B. 24, 129–176, 1976.

## Arbeiten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik im Internationalen Hydrologischen Programm 1975-1980

Mit 19 Abbildungen und 14 Tabellen

### Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Einleitung .....  | 8  |
| 2. Hydrometeorologische und klimatologische Untersuchungen im Neusiedlersee-Gebiet ..... | 8  |
| 2.1. Beiträge zum Wasserhaushalt des Neusiedlersees .....                                | 8  |
| 2.2. Beiträge zum Klima des Neusiedlersee-Gebietes .....                                 | 9  |
| 3. Verdunstung von Schneeflächen .....   | 19 |
| 4. Hydrometeorologische Untersuchungen an der Donau .....                                | 20 |
| 5. Potentielle Verdunstung in Österreich .....   | 20 |
| 6. Einfluß von Wasserflächen auf das Klima ihrer Umgebung .....                          | 22 |
| 7. Urbanhydrologie .....   | 24 |
| Literatur .....  | 25 |

### 1. Einleitung

Die Schwerpunkte der hydrometeorologischen Forschung während der ersten Phase des Internationalen Hydrologischen Programms 1975-1980 lagen an der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

- in der Fortsetzung der in der IHD begonnenen Untersuchungen zur Hydrometeorologie und zur Klimatologie des Neusiedlerseegebietes (1),
- in Wärmehaushaltsuntersuchungen von Schneedecken im alpinen Raum,
- in hydrometeorologischen Untersuchungen im Einflußbereich der Donau,
- in der Bestimmung der potentiellen Verdunstung in Österreich durch die Errichtung eines Meßnetzes mit Verdunstungswannen der Type GGI - 3000,
- in Untersuchungen über den Einfluß von Wasserflächen auf das Mikro- bzw. Mesoklima ihrer Umgebung,
- in Untersuchungen im Bereich der urbanen Hydrologie,
- in der Mitarbeit bei der Erstellung einer Hydrologischen Monographie der Donau durch die Donauländer und
- in der Fortsetzung der in der IHD begonnenen seismischen Eisdickenmessungen der österreichischen Gletscher.

### 2. Hydrometeorologische und klimatologische Untersuchungen im Neusiedler-Seegebiet

Während der Internationalen Hydrologischen Dekade, dem Vorgänger des IHP, wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik im Gebiete des Neusiedlersees mehrjährige, intensive Feldexperimente durchgeführt (1). Im Rahmen der Beteiligung am IHP wurden nun die umfangreichen damaligen Messungen

zum Teil weitergeführt und bearbeitet, so daß eine Reihe von Veröffentlichungen abgeschlossen werden konnte.

#### 2.1. Beiträge zum Wasserhaushalt des Neusiedlersees

Die Fortsetzung der IHD-Arbeiten hatte als Schwerpunkt die Abschätzung der beiden wichtigsten Wasserhaushaltskomponenten Verdunstung und Niederschlag zum Ziel, wobei vor allem die komplexe Größe der Verdunstung im Mittelpunkt des Interesses stand.

So wurde in (2) die Abhängigkeit der Verdunstung des Neusiedlersees von den verschiedenen meteorologischen Einzelementen wie Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Wassertemperatur, Strahlungsbilanz und Sättigungsdefizit durch Korrelationsanalyse untersucht. Es konnte der große Einfluß von Windgeschwindigkeit und Sättigungsdefizit auf die Verdunstung quantitativ bestimmt werden. Wird das Sättigungsdefizit nicht berücksichtigt, so sind in der Reihenfolge der Wichtigkeit Wassertemperatur, relative Luftfeuchte und Lufttemperatur zu nennen. Für die Strahlungsbilanz konnte kein statistisch signifikanter direkter Einfluß auf die Größe der Verdunstung gefunden werden.

Während der IHD wurde mit den physikalischen Methoden des Wärmehaushaltes und der aerodynamischen Profilmethode die Verdunstung bestimmt. Aus diesen Messungen wird mit empirischen Formeln nach dem Dalton-Typ die Verdunstung aus einfachen klimatologischen Werten abgeschätzt. In (3) wurde untersucht, welche Fehleinschätzungen auftreten, wenn man die Verdunstung mit solchen Dalton-Formeln ermittelt, jedoch dabei längerfristige Mittelwerte, z. B. Monatsmittelwerte gegenüber Tageswerten verwendet. Abb. 1 zeigt, daß bei Anwendung verschiedenster Mittelungen durchaus längerfristige Mittelwerte (Monatsmittelwerte) verwendet werden können.

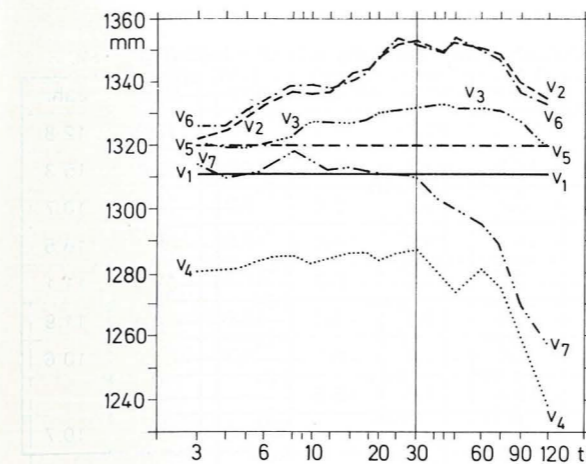


Abb. 1: Abhängigkeit der Verdunstungssummen vom Mittelungszeitraum  $t$  [in Tagen] bei Berechnung mit verschiedenen Verdunstungsformeln  $V_1$  bis  $V_7$  (aus (3)).

Von diesem Ergebnis ausgehend wurden in (4) unter Verwendung von Monatsmittelwerten von Lufttemperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit mit Hilfe einer entsprechend modifizierten empirischen Verdunstungsformel nach Dalton die Verdunstung des Neusiedlersees von 1901 bis 1970 bestimmt, wobei große Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Arbeiten ungarischer Autoren erzielt wurde. Als langjähriger Jahressummenwert der Verdunstung des Neusiedlersees ergab sich dabei 800 mm, der mit einer Standardabweichung von 100 mm streut. Eine Gegenüberstellung Verdunstung-Niederschlag zeigt, daß im langjährigen Mittel der Jahressummen die Verdunstung den Niederschlag um 136 mm übersteigt. Vom Oktober bis Februar übertrifft jedoch der Niederschlag die Verdunstung. Betrachtet man die Einzeljahre (Abb. 2), so zeigt sich, daß in manchen Jahren insgesamt der Niederschlag höher war als die Verdunstung.

In (5,6) wurden die die Verdunstung betreffenden Ergebnisse zusammengefaßt dargestellt.

Die bekannten Ansichten über den gesamten Wasserhaushalt des Neusiedlersees wurden in (7) zusammengefaßt, wobei festzustellen ist, daß eine Vielzahl von Problemen noch ungelöst bleibt.

Der Wasserhaushalt hat natürlich großen Einfluß auf den Wasserstand des Sees. So wurde in (8) ermittelt, daß für die Periode 1956 bis 1964 der mittlere Wasserstand des Sees bei 106 cm lag, während von 1966 bis 1972 durch den gesteuerten Abfluß über den Einserka-

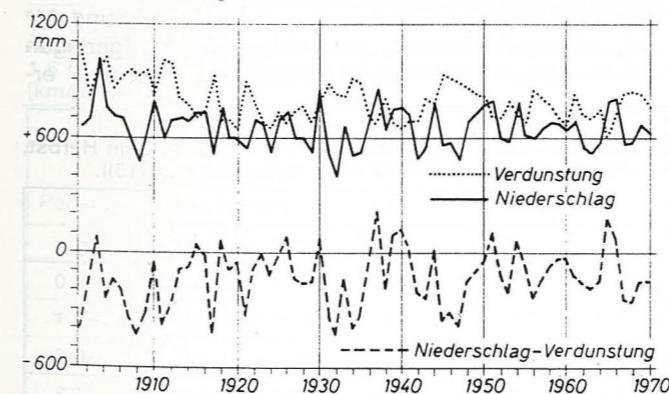


Abb. 2: Verlauf der Jahressummen des Niederschlages, der Verdunstung und der Differenz Niederschlag minus Verdunstung des Neusiedlersees für 1901-1970 (aus (4)).

nal in Ungarn ein mittlerer Stand von 146 cm erreicht wurde. Ausgeprägte Seespiegelschwankungen traten jedoch auch durch Windeinfluß auf.

#### 2.2. Beiträge zum Klima des Neusiedlersee-Gebietes

Im Rahmen der Untersuchungen im Forschungsprogramm der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) 1966-1974 und zum Teil auch noch in der ersten Phase des IHP 1975-1978 wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik auch 8 Registrierstationen für Temperatur, relative Feuchtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit im Raum um den Neusiedlersee und eine Registrierstation in Seemitte eingerichtet (Abb. 3), von denen nun Auswertungen von 4-8 Jahren vorliegen. Die Station in Seemitte konnte nur in der eisfreien Zeit in Betrieb gehalten werden.

Im ganzen Stationsnetz um den Neusiedlersee und in Seemitte wurden auf einzelnen Stationen ungefähr 40 Elemente in verschiedenen langen Zeitabschnitten registriert, darunter die Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen, die verschiedenen Strahlungskomponenten, Verdunstung mit Class A-Wannen und GGI-3000-

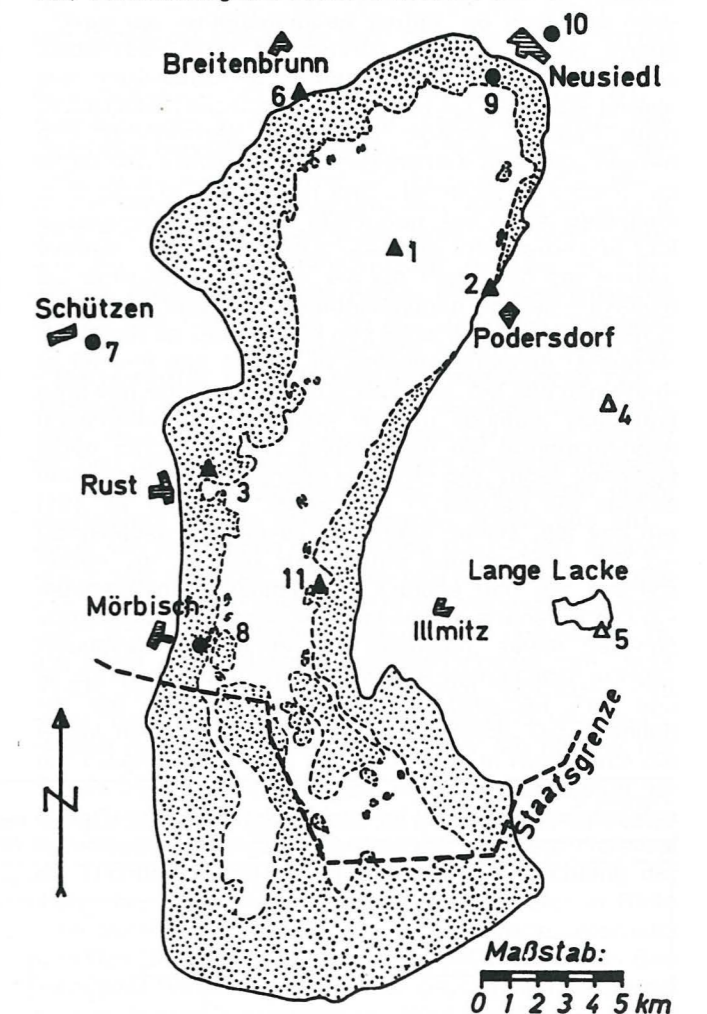


Abb. 3: Lage der Wind-Registrierstellen (aus (16)).  
1 = Seemitte (SM); 2 = Podersdorf (PO); 3 = Rust (RU); 6 = Breitenbrunn (BR); 7 = Schützen (SCH); 8 = Mörbisch (MÖ); 9 = Neusiedl am See, Biologische Station (NS); 10 = Neusiedl-Berg beim Zollamt; 11 = Illmitz-Seestation (IL).  
Das punktierte Gebiet kennzeichnet den Schilfgürtel.

Tabelle 1  
Jahresgang der Windgeschwindigkeit im Neusiedlerseegebiet [km/h], reduziert auf die Periode 1967–1976 (aus (16)).

| Station*) | Jänner | Februar | März | April | Mai  | Juni | Juli | August | Sept. | Oktober | Nov. | Dez. | Jahr |
|-----------|--------|---------|------|-------|------|------|------|--------|-------|---------|------|------|------|
| IL        | 12.6   | 12.5    | 13.0 | 15.2  | 14.1 | 14.4 | 14.0 | 11.3   | 11.1  | 10.3    | 11.3 | 13.9 | 12.8 |
| PO        | 14.8   | 16.1    | 16.9 | 17.6  | 15.7 | 16.1 | 16.4 | 13.2   | 12.8  | 13.4    | 14.5 | 15.9 | 15.3 |
| NS        | 11.8   | 11.8    | 11.7 | 12.2  | 11.4 | 10.7 | 10.8 | 8.4    | 8.4   | 9.4     | 9.9  | 11.0 | 10.7 |
| NB        | 18.6   | 18.9    | 18.8 | 19.3  | 16.4 | 15.2 | 15.4 | 13.1   | 13.6  | 14.0    | 16.3 | 18.1 | 16.5 |
| BR        | 12.4   | 11.6    | 12.3 | 13.4  | 11.5 | 10.9 | 11.0 | 9.2    | 8.6   | 8.9     | 10.4 | 12.5 | 11.1 |
| RU        | 12.5   | 13.0    | 13.2 | 14.0  | 12.7 | 12.3 | 12.3 | 9.8    | 9.2   | 9.9     | 10.8 | 12.5 | 11.9 |
| MÖ        | 12.1   | 11.6    | 11.8 | 13.2  | 11.2 | 10.1 | 9.8  | 8.5    | 8.3   | 9.1     | 9.7  | 11.7 | 10.6 |
| SM        | —      | —       | —    | 19.9  | 18.2 | 18.3 | 18.0 | 15.4   | 15.0  | 15.5    | —    | —    | —    |
| SCH       | 11.9   | 11.8    | 12.4 | 13.0  | 11.6 | 10.1 | 10.4 | 8.4    | 8.3   | 8.5     | 10.1 | 11.6 | 10.7 |

\*) Die Bedeutung der Abkürzungen der Stationsnamen ist in der Beschreibung zu Abb. 3 angegeben.

Wannen, Wassertemperatur und Bodentemperatur in verschiedenen Tiefen und auf der Station in Seemitte auch die Wassertrübung, die Höhe der Wellen und die Wasserströmungen. Das damit gewonnene Beobachtungsmaterial wurde zum größten Teil in der ersten Phase des IHP in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen verarbeitet.

Neben den Beiträgen zum Wasserhaushalt des Neusiedlersees lieferte dieses Datenmaterial auch die Grundlage für Arbeiten über das Klima im Gebiet des Neusiedlersees.

Die stündlichen Auswertungen der Registrierungen von Lufttemperatur und relativer Feuchte wurden vor 5 Jahren in (9,10) für alle Stationen publiziert.

Die Besonderheiten der Niederschlagsverhältnisse im Bereich des Neusiedlersees werden in (11) beschrieben und einer Häufigkeitsanalyse unterzogen. Trotz der geringen flächenhaften Ausdehnung des Untersuchungsgebietes zeigen sich differenzierte Niederschlagsverteilungen, die vor allem durch den Einfluß des Sees begründet erscheinen.

Von besonderem Interesse sind die Windverhältnisse des Gebietes, die in (12,13,14,15,16) behandelt wurden, wobei vor allem die Unterschiede in den Windgeschwindigkeiten zwischen beiden Uferzonen und der freien Wasserfläche bemerkenswert sind.

Die aus diesen Registrierungen auf die zehnjährige Periode 1967–1976 abgeleiteten Mittelwerte der Windgeschwindigkeit an den einzelnen Stationen sind in Tabelle 1 wiedergegeben (16). Daraus ist ersichtlich, daß im Jahresgang das durchschnittliche Maximum auf den April, das durchschnittliche Minimum aber meist auf den September fällt. In allen Monaten ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in Seemitte am größten und an der Westküste des Sees merklich schwä-

cher als auf der Ostküste. In den Monaten April bis Oktober ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit in Seemitte um 6–7 km/h größer als an der Westküste des Sees und um 3–3,5 km/h größer als an der Ostküste. In diesen Monaten ist die durchschnittliche Windgeschwindigkeit an der Ostküste um 3 bis 4 km/h größer als an der Westküste, in den Monaten November bis März beträgt dieser Unterschied aber nur 1,5 bis 2,5 km/h.

Zur Veranschaulichung der Form der Verteilung der Häufigkeitswerte der stündlichen Windgeschwindigkeit sind in Tabelle 2 als Beispiele die aus in 5 Jahren stündlich beobachteten Werte berechneten Mittelwerte, Streuung, Schiefe und Exzeß getrennt für Tag und Nacht und für Frühling und Herbst für Podersdorf (Ostküste), Seemitte und Breitenbrunn (Westküste) angegeben (15).

Die allgemeinen Unregelmäßigkeiten und die starke Veränderlichkeit von Windrichtung und Windstärke lassen regelmäßige Tagesgänge nicht ohne weiteres erkennen. Um Gesetzmäßigkeiten abzuleiten, die diesen Unregelmäßigkeiten überlagert sind, sind mehrjährige Registrierungen notwendig, deren Auswertungen nun von den Stationen im Neusiedler See-Gebiet zur Verfügung stehen. Ihre Bearbeitung zeigt bemerkenswerte Unterschiede zwischen den verschiedenen Stationen auch im Tagesgang der Windgeschwindigkeit (16), wofür in Tabelle 3 die zu je drei Monaten zusammengefaßten Tagesgänge für die Stationen Podersdorf an der Ostküste, Seemitte und Mörbisch an der Westküste als Beispiele wiedergegeben sind. Daraus ist ersichtlich, daß die Tagesgänge regelmäßige Formen aufweisen mit einem Maximum am frühen Nachmittag zwischen 12<sup>h</sup> und 14<sup>h</sup> und einem Minimum, das sich mit nur geringen Schwankungen über einen breiten Zeitabschnitt er-

Tabelle 2  
Mittelwert (m), Streuung (s), Schiefe (g<sub>1</sub>) und Exzeß (g<sub>2</sub>) der Verteilung der Windgeschwindigkeit im Frühling und im Herbst, getrennt nach Tag und Nacht in Podersdorf, Seemitte und Breitenbrunn in einem fünfjährigen Zeitraum (aus (15)).

|          |              | Tag  |      |                |                | Nacht |      |                |                |
|----------|--------------|------|------|----------------|----------------|-------|------|----------------|----------------|
|          |              | m    | s    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> | m     | s    | g <sub>1</sub> | g <sub>2</sub> |
| Frühling | Podersdorf   | 18.4 | 12.1 | 0.7            | -0.3           | 15.5  | 11.7 | 0.9            | 0.0            |
|          | Seemitte     | 19.6 | 12.7 | 0.6            | -0.6           | 19.2  | 11.3 | 0.8            | -0.1           |
|          | Breitenbrunn | 16.8 | 10.4 | 0.8            | -4.2           | 13.2  | 9.9  | 1.1            | -0.6           |
| Herbst   | Podersdorf   | 14.0 | 10.5 | 1.2            | 1.0            | 12.4  | 9.7  | 1.3            | 1.3            |
|          | Seemitte     | 15.4 | 11.0 | 0.8            | -0.1           | 14.4  | 9.6  | 1.1            | 0.9            |
|          | Breitenbrunn | 12.2 | 9.1  | 1.2            | 1.6            | 10.1  | 8.6  | 1.4            | 2.1            |

Tabelle 3  
Tagesgang der Windgeschwindigkeit in Podersdorf (PO, Ostufer des Neusiedlersees), in Mörbisch (MÖ, Westufer des Sees) und in Seemitte (SM) im Zeitraum 1967–1976 [km/h]. Aus (16).

| Stunde | Februar – April |      | Mai – Juli |      |      | August – Oktober |      |      | November – Jänner |      |
|--------|-----------------|------|------------|------|------|------------------|------|------|-------------------|------|
|        | PO              | MÖ   | PO         | MÖ   | SM   | PO               | MÖ   | SM   | PO                | MÖ   |
| 0–1    | 15.9            | 10.4 | 14.9       | 8.4  | 17.3 | 12.2             | 6.7  | 14.6 | 14.3              | 9.7  |
| 2–3    | 16.1            | 10.5 | 15.1       | 8.6  | 17.2 | 12.4             | 7.0  | 14.9 | 14.2              | 9.8  |
| 4–5    | 15.9            | 10.3 | 15.3       | 8.7  | 17.5 | 12.7             | 7.0  | 14.9 | 14.5              | 10.0 |
| 6–7    | 16.3            | 10.5 | 16.1       | 9.4  | 17.6 | 12.7             | 7.1  | 14.8 | 14.2              | 9.9  |
| 8–9    | 17.4            | 12.3 | 16.8       | 11.3 | 18.0 | 13.9             | 8.4  | 14.9 | 14.6              | 10.5 |
| 10–11  | 18.9            | 14.0 | 17.1       | 12.1 | 18.1 | 14.3             | 10.2 | 15.6 | 15.6              | 11.9 |
| 12–13  | 19.7            | 15.4 | 17.9       | 13.3 | 18.7 | 14.9             | 11.7 | 16.4 | 16.4              | 13.0 |
| 14–15  | 20.2            | 15.4 | 18.2       | 13.3 | 19.5 | 14.9             | 11.4 | 16.5 | 15.9              | 12.6 |
| 16–17  | 18.8            | 14.3 | 18.2       | 12.4 | 19.7 | 13.6             | 9.5  | 15.6 | 14.9              | 10.8 |
| 18–19  | 16.7            | 12.1 | 15.6       | 10.1 | 18.1 | 11.8             | 7.9  | 14.4 | 14.5              | 10.5 |
| 20–21  | 15.8            | 11.0 | 14.8       | 9.0  | 17.4 | 11.5             | 7.4  | 14.5 | 14.1              | 10.3 |
| 22–23  | 15.6            | 10.9 | 14.9       | 8.7  | 17.2 | 11.8             | 7.2  | 14.4 | 14.0              | 10.1 |

streckt, und zwar von 19<sup>h</sup> bis 7<sup>h</sup> im Jahresviertel Februar bis April, von 20<sup>h</sup> bis 6<sup>h</sup> im Mai bis Juli, von 18<sup>h</sup> bis 8<sup>h</sup> im August bis Oktober und von 17<sup>h</sup> bis 9<sup>h</sup> im November bis Jänner. Die durchschnittliche Tagesschwankung der Windgeschwindigkeit beträgt in den einzelnen Stationen in unterschiedlicher Verteilung in den Monaten Februar bis Oktober 3,2 bis 7,2 km/h, in den Monaten November bis Jänner aber nur 2,4 bis 3,9 km/h. In Seemitte ist die Tagesschwankung in den Monaten Mai bis Oktober mit 2,3 bis 3,9 km/h bemerkenswert kleiner als an den Stationen am Ufer des Sees.

Dreijährige Registrierungen der Windgeschwindigkeit in 1,5 m, 3 m und 6 m Höhe über der Wasseroberfläche bei Podersdorf wenige Meter vom Ufer entfernt, in Seemitte über der freien Wasseroberfläche und bei Rust über dem Schilf geben die Möglichkeit, die Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe in Ufernähe, über dem Wasser in Seemitte und über dem Schilfgürtel und ihre Unterschiede festzustellen (13). Beispiele der Meßergebnisse sind in der Tabelle 4 wiedergegeben. In der untersten Schicht von 1,5 m bis 3 m Höhe nimmt die Geschwindigkeit mit der Höhe über dem Schilf bei Rust etwas stärker zu als über dem Wasser bei Podersdorf, über der freien Wasseroberfläche in Seemitte aber noch weniger als bei Podersdorf. In 3 bis 6 m Höhe ist die Zu-

nahme mit der Höhe über dem Schilf noch stärker als bei Podersdorf, was offenbar auf die stärkere Reibung über dem Schilf zurückzuführen ist.

Was die Windrichtungen betrifft, so liegt das Neusiedlersee-Gebiet im Bereich vorherrschender Winde aus nordwestlichen Richtungen und andererseits aus südöstlichen Richtungen, die nicht nur durch die jeweiligen Wetterlagen modifiziert werden sondern auch durch den Einfluß der Umgebung des Sees (im Westen vorgelagerte Bergketten und Flachland im Osten), im besonderen aber auch durch den See selbst beeinflusst werden. Einen Überblick über die Windverteilung gibt als Beispiel die Abb. 4, die die Verteilung der Häufigkeiten der einzelnen Windrichtungen an den einzelnen Stationen im Uferbereich des Sees und auch in Seemitte für Juli und August in zusammengefaßte Überlagerung von Windrosen für Tagesviertel, die aus den Windregistrierungen abgeleitet werden konnten, zeigt und einen Einblick in die Änderungen der Windrichtungen und der Windverhältnisse im Laufe des Tages vermittelt (12). In Mörbisch zeigen die Windrosen ein starkes Überwiegen nordwestlicher Winde nachts, der von der ersten zur zweiten Nachthälfte entsprechend der zunehmenden Abkühlung des Landes und der westlich vorgelagerten Berghänge zunimmt, Tagsüber nimmt die Häufigkeit der Winde aus Südosten, einem Seewind entsprechend, zu. Ähnlich sind die Verhältnisse in Rust, wo die Häufigkeitsunterschiede zwischen Tag und Nacht noch größer sind als in Mörbisch. Die Drehung der Hauptwindrichtung auf WNW mag in Rust durch die Senke beim Straßenübergang nach St. Margareten beeinflusst sein. In Breitenbrunn ist in diesen Monaten das Windrosensystem gegenüber den Vormonaten mehr auf die Richtung Nord-Süd gedreht. Unter Beachtung der Tatsache, daß bei Breitenbrunn das Seeufer in Richtung Westsüdwest-Ostnordost sich erstreckt, erscheint dort das Überwiegen der Häufigkeit vom Land zum See wehender Winde bei Nacht über die gleichen Winde bei Tag und das Überwiegen der Häufigkeit der vom See zum Land wehender Winde bei Tag über die gleichen Winde bei Nacht noch größer als in Rust und Mörbisch. Am Nordufer des Sees bei Neusiedl kommen die vom Land her wehenden Winde vorwiegend aus nordnordöstlichen Richtungen, die tagsüber vom See zum Land

Tabelle 4  
Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe zwischen 1,5 m und 6 m über Grund in Podersdorf, Seemitte und Rust [km/h]. Aus (13).

|            |             | Juni | August | Oktober |
|------------|-------------|------|--------|---------|
| Podersdorf | von 1,5–3 m | 1,4  | 1,1    | 1,2     |
|            | von 3–6 m   | 1,2  | 0,8    | 1,0     |
|            | von 1,5–6 m | 2,6  | 1,9    | 2,2     |
| Seemitte   | von 1,5–3 m | 1,0  | 0,7    | 0,9     |
|            | von 3–6 m   | 1,0  | 1,1    | 0,9     |
|            | von 1,5–6 m | 2,0  | 1,8    | 1,8     |
| Rust       | von 1,5–3 m | 1,5  | 1,2    | 1,2     |
|            | von 3–6 m   | 1,9  | 1,6    | 1,5     |
|            | von 1,5–6 m | 3,4  | 2,8    | 2,7     |

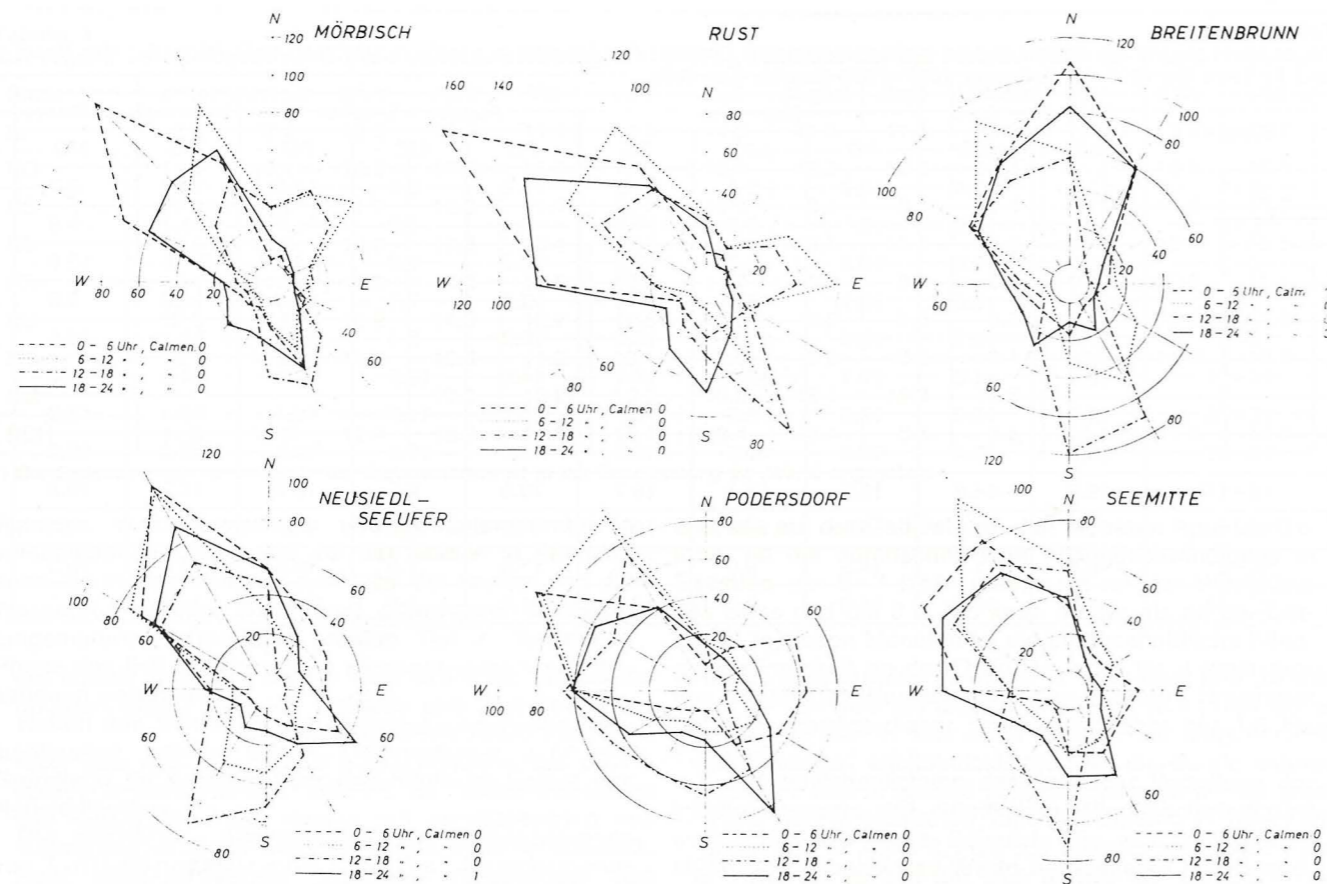


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung der Windrichtung im Juli und August 1967 in den vier Tagesvierteln 0-6h, 6-12h, 12-18h und 18-24h (aus (12)).

wehenden Winde aber vorwiegend aus südsüdwestlichen bis südlichen Richtungen. Die Unterschiede in den Häufigkeiten der vom Land her wehenden Winde bei Nacht zu den gleichen Winden bei Tag sowie der vom See her wehenden Winde bei Tag zu den gleichen Winden bei Nacht ist auch in Neusiedl noch sehr groß aber doch schon kleiner als an den Stationen am Westufer des Sees, wo die Wirkung der Überlagerung des Einflusses des Hangwindsystems über den Einfluß des Land-Seewindsystems größer ist als am Nordufer des Sees. In Podersdorf sind die nordwestlichen Winde auch die Seewinde und die südöstlichen Winde die Landwinde. Dementsprechend unterstützt die Landwindtendenz die Häufigkeit der südöstlichen Winde bei Nacht und die Seewindtendenz die Nordwestwindhäufigkeit bei Tag. Es ist daher die Häufigkeit der südöstlichen Winde als Gegenwinde gegen die vorherrschenden nordwestlichen Winde tagsüber merklich kleiner als nachts und die Häufigkeit der nordwestlichen Winde tagsüber größer als nachts. In Seemitte sind auch im Juli und August die Winde aus West bis Nord bei starker Richtungsstreuung mehr als doppelt so häufig wie die Winde aus Ost bis Süd. Bemerkenswert ist, daß die Häufigkeiten in beiden Windsystemen im Laufe der Nacht sich nicht viel ändern, bei Tag aber die süd- bis südöstlichen Winde am Vormittag seltener vorkommen als am Nachmittag, die nordwestlichen Winde aber am Vormittag häufiger wehen als am Nachmittag. Dies bedeutet in gewissem Sinne eine Angleichung an die Verhältnisse auf dem Westufer des Sees bei Tag. In gleicher Weise wie in Abb. 4 sind die Windrosen in Viertelstunden auch für die übrigen Monate des Jahres in (12) dargestellt.

Auf Grund vierjähriger Registrierungen sind die Häufigkeiten bei einzelnen Windrichtungen und Windstärken in Podersdorf, Rust, Seemitte und Mörbisch, besonders für Tag und Nacht und für die 4 Jahreszeiten, auch in Tabellen in (16) angegeben.

Die Wirkung des Land-Seewindeffektes und des Hangwindeffektes kommt am deutlichsten bei der Betrachtung der schwachen Winde zum Ausdruck. Dies ist aus der Abb. 5 zu ersehen, in der der Jahresgang der Häufigkeit von Stunden mit Windstärken  $\leq 10$  km/h in einem vierjährigen Zeitabschnitt bei Winden aus dem SE-Sektor und bei Winden aus dem NW-Sektor bei Tag den Häufigkeiten dieser Windstärken bei Nacht in Podersdorf, in Seemitte und in Rust gegenübergestellt sind. Daraus ist ersichtlich, daß in Podersdorf am Ostufer des Sees Winde dieser Stärke aus dem SE-Sektor von März bis November bei Nacht wesentlich häufiger vorkommen als bei Tag, aber Stunden mit Windstärken  $\leq 10$  km/h bei Winden aus dem NW-Sektor, die dort im allgemeinen seltener sind als die Winde dieser Stärke aus dem SE-Sektor, von April bis Oktober bei Nacht seltener vorkommen als tagsüber, während in den Wintermonaten bei schwachen Winden aus dem SE-Sektor wie bei schwachen Winden aus dem NW-Sektor keine wesentlichen Häufigkeitsunterschiede zwischen Tag und Nacht bestehen. Diese Umkehrung des Überwiegens der Häufigkeiten tagsüber oder bei Nacht bei Winden aus dem SE-Sektor und bei Winden aus dem NW-Sektor entspricht dem Land-Seewindsystem.

Anders sind die Verhältnisse im Jahresgang der Häufigkeit von Stunden mit Windstärke  $\leq 10$  km/h in Rust am Westufer des Sees. Hier sind das ganze Jahr hindurch die Stunden mit schwachen Winden  $\leq 10$  km/h

Wind aus dem SE-Quadrant ( $60^\circ+90^\circ+120^\circ+150^\circ$ )      Wind aus dem NW-Quadrant ( $240^\circ+270^\circ+300^\circ+330^\circ$ )

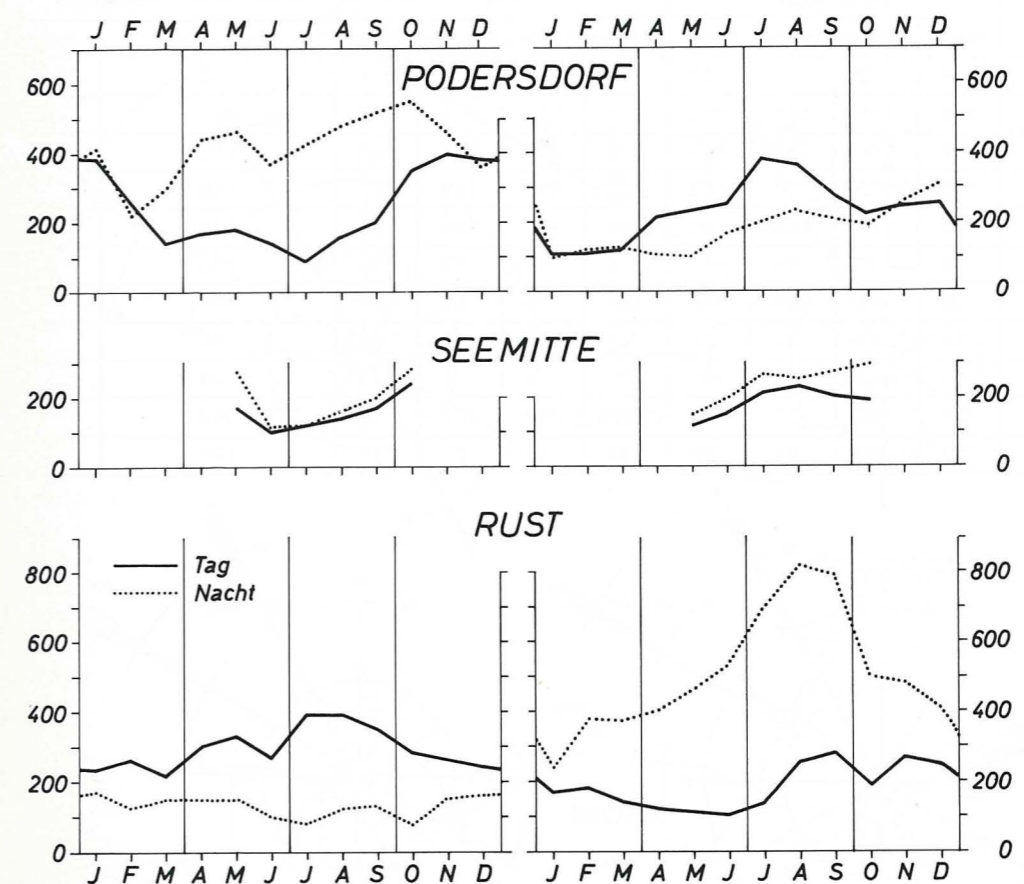


Abb. 5: Jahresgang der Häufigkeit von Stunden mit Windstärke  $\leq 10$  km/h bei Tag (6-18h) und bei Nacht (18-6h) bei Winden aus dem SE-Sektor und bei Winden aus dem NW-Sektor in den 4 Jahren 1967 bis 1970 in Podersdorf, in Seemitte und in Rust (aus (16)).

aus dem SE-Sektor bei Tag häufiger als bei Nacht und umgekehrt Stunden mit schwachen Winden aus dem NW-Sektor bei Nacht häufiger als tagsüber, was hier wieder dem Land-Seewindeffekt, verstärkt durch den Hang-Effekt des angrenzenden Bergzuges entspricht. Daß die Unterschiede zwischen Tag und Nacht im Sommer am größten sind, entspricht ebenfalls diesen Lokalwindensystemen, die ja durch die Ein- und Ausstrahlungsunterschiede zwischen Tag und Nacht und durch die damit verbundenen Temperaturunterschiede zwischen Land- und See verursacht werden und diese eben im Sommer am größten sind.

Interessant sind die Unterschiede zwischen den Häufigkeiten der Winde bei Tag und bei Nacht an der Meßstelle in Seemitte, wo eigentlich die Landwinde vom Westen und vom Osten zusammentreffen und die Seewinde bei Tag eine Divergenz verursachen sollten. Aus den Werten in der Tabelle 5 ist zu ersehen, daß in Seemitte bei Wind aus dem südlicheren Teil des NW-Sektors das Windsystem des Westufers des Sees mit häufigeren Winden aus westlichen Richtungen bei Nacht sich bemerkbar macht, während bei Winden aus dem nördlicheren Teil des NW-Sektors die Winde bei Tag häufiger sind als bei Nacht. Ähnlich ist es auch bei Winden aus dem SE-Sektor, wo bei Winden aus dem nördlicheren Teil dieses Sektors die Winde bei Nacht häufiger sind als tagsüber und bei Winden aus dem südlicheren Teil dieses Sektors Winde bei Tag häufiger vorkommen als bei Nacht. Wie man aus den Häufigkeiten der einzelnen Windrichtungen entnehmen kann,

verschieben sich die Spitzenwerte bei Häufigkeit der Winde aus dem NW-Sektor in Seemitte bei Tag um  $30^\circ$  im Sinne des Uhrzeigers und Ähnliches zeigt sich im ganzen System der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen, so daß es den Anschein hat, als ob hier das Windsystem sich von nachts zu tagsüber um ca.  $30^\circ$  dreht und dadurch dem Zusammentreffen entgegengesetzter Winde etwas ausweicht.

Tabelle 5  
Differenzen der Windhäufigkeiten in bestimmten Windrichtungsbereichen zwischen Tag (6-18 Uhr) und Nacht (18-6 Uhr), Tag-Nacht (1967-1970), in Promille der Stunden in jeder Jahreszeit (aus (16)).

| Richtungsbereich |                    | Winter   | Frühling | Sommer         | Herbst |
|------------------|--------------------|----------|----------|----------------|--------|
| Podersdorf       | 270-360° (W-N)     | 3        | 77       | 106            | 66     |
|                  | 30-120° (NNE-ESE)  | 0        | -115     | -169           | -123   |
| Rust             | 210-300° (SSW-WNW) | -72      | -192     | -303           | -222   |
|                  | 30-150° (NNE-SSE)  | 84       | 202      | 276            | 220    |
| Mörbisch         | SW-NW              | -55      | -161     | -291           | -184   |
|                  | NNE-SSE            | 43       | 161      | 235            | 169    |
| Seemitte         |                    | Mai-Juli |          | August-Oktober |        |
|                  | 270-300° (W-WNW)   | -127     |          | -91            |        |
|                  | 300-30° (NNW-NNE)  | 114      |          | 65             |        |
|                  | 60-120° (ENE-ESE)  | -38      |          | -56            |        |
|                  | 150-210° (SSE-SSW) | 49       |          | 80             |        |

Tabelle 6  
Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten in Promille in Podersdorf, Rust und Seemitte (aus (16)).

|            | Podersdorf |          |        |        | Rust   |          |        |        | Seemitte   |                  |
|------------|------------|----------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|------------|------------------|
|            | Winter     | Frühling | Sommer | Herbst | Winter | Frühling | Sommer | Herbst | Mai – Juli | August – Oktober |
| Stille     | 14         | 3        | 1      | 10     | 9      | 2        | 1      | 5      | 0          | 1                |
| 1–5 km/h   | 243        | 151      | 194    | 318    | 314    | 215      | 286    | 398    | 121        | 187              |
| 6–10 km/h  | 217        | 242      | 265    | 250    | 198    | 238      | 288    | 255    | 183        | 226              |
| 11–15 km/h | 162        | 162      | 146    | 156    | 136    | 169      | 158    | 141    | 159        | 171              |
| 16–20 km/h | 104        | 112      | 123    | 90     | 129    | 128      | 120    | 91     | 142        | 151              |
| 21–25 km/h | 75         | 82       | 95     | 66     | 94     | 104      | 80     | 54     | 120        | 107              |
| 26–30 km/h | 58         | 86       | 82     | 48     | 58     | 75       | 40     | 38     | 101        | 72               |
| 31–40 km/h | 74         | 122      | 77     | 51     | 49     | 61       | 26     | 15     | 130        | 68               |
| >40 km/h   | 53         | 40       | 17     | 11     | 13     | 8        | 1      | 3      | 44         | 17               |
| ≤10 km/h   | 474        | 396      | 460    | 578    | 521    | 455      | 575    | 658    | 304        | 414              |
| ≥30 km/h   | 127        | 162      | 94     | 62     | 62     | 69       | 27     | 18     | 174        | 85               |

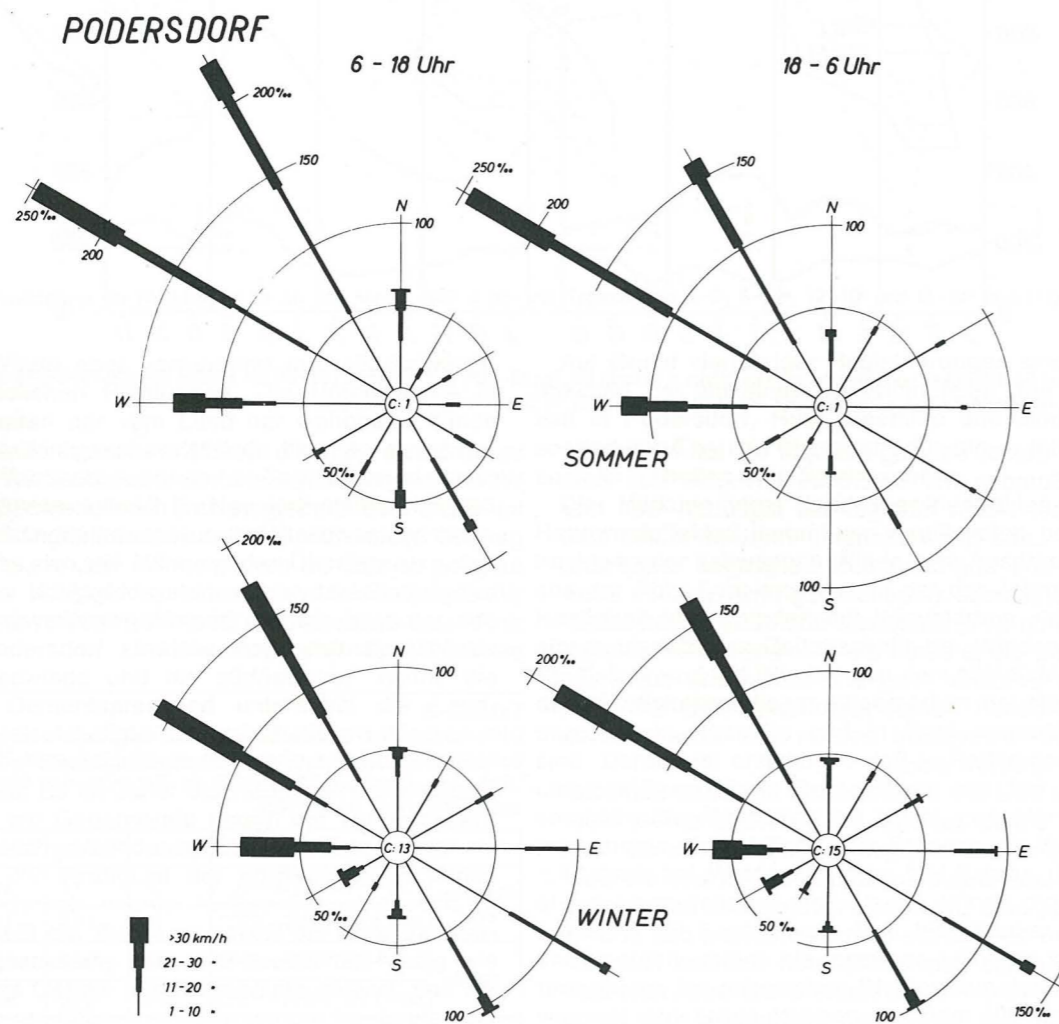


Abb. 6: Windrosen für Sommer und Winter in Podersdorf bei Tag (6–18<sup>h</sup>) und bei Nacht (18–6<sup>h</sup>) mit Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen und Windstärken bei den einzelnen Windrichtungen in Promille der Stunden der Jahreszeit (aus (16)).

Auch die Windgeschwindigkeiten verteilen sich nicht gleichmäßig auf alle Windrichtungen, sondern zeigen wesentliche Unterschiede im Durchschnitt der Windgeschwindigkeiten bei den einzelnen Windrichtungen wie auch im Bereich der bei jeder Windrichtung vorkom-

menden Windstärken und bei ihren Häufigkeitsverteilungen.

Beispiele für die Häufigkeitsverteilungen aller Windgeschwindigkeiten ohne Berücksichtigung der Windrichtungen sind in Tabelle 6 für die Häufigkeitsverteilungen

## RUST

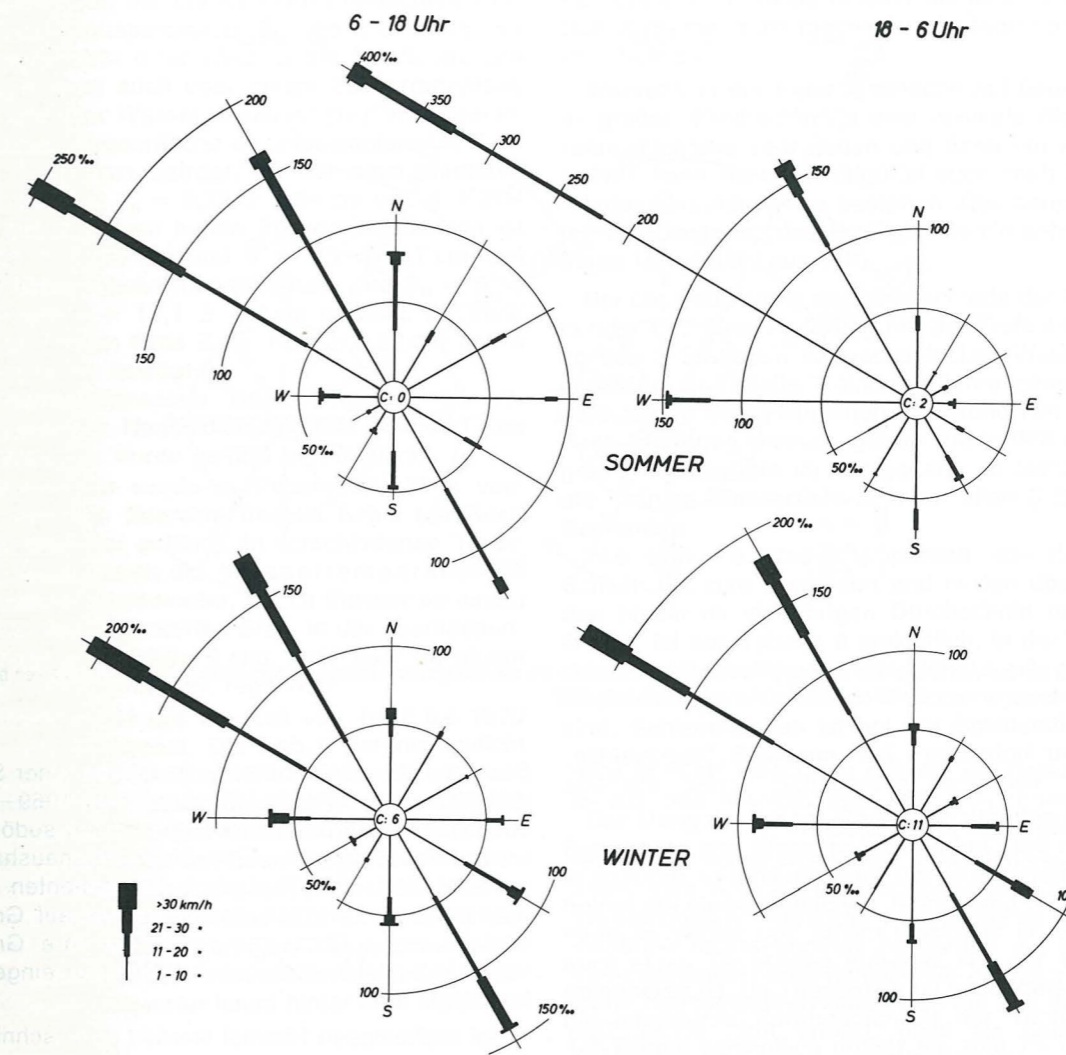


Abb. 7: Windrosen für Sommer und Winter in Rust bei Tag (6–18<sup>h</sup>) und bei Nacht (18–6<sup>h</sup>) mit Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen und Windstärken bei den einzelnen Windrichtungen in Promille der Stunden der Jahreszeit (aus (16)).

in den vier Jahreszeiten in Podersdorf, am windstärkeren Ostufer des Sees, in Rust, am windschwächeren Westufer des Sees, und in Seemitte wiedergegeben. Die schwachen Winde kommen in allen Jahreszeiten in Rust häufiger vor als in Podersdorf, am seltensten aber in beiden Stationen im Frühling, während Winde über 30 km/h in Podersdorf in allen vier Jahreszeiten mehr als doppelt so oft vorkommen wie in Rust, in beiden Stationen aber am häufigsten im Frühling.

Die Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten in jeder einzelnen Windrichtung in Podersdorf, in Rust und in Seemitte im Sommer und Winter bei Tag und bei Nacht sind aus den Abbildungen 6, 7 und 8 zu ersehen. In Podersdorf (Abb. 6) kommen die stärksten Winde aus dem Sektor W bis NNW. Windstärke von 30 km/h wird hier im Winter in 122 ‰, im Frühling in 145 ‰, im Sommer in 93 ‰ und im Herbst in 59 ‰ aller Stunden übertroffen, während bei Winden aus dem Sektor NNE bis E die Windstärke von 20 km/h nur äußerst selten überschritten wird. Dagegen kommen Windstärken von 1 bis 10 km/h bei Winden aus dem Sektor NNE bis E im Winter in 148 ‰ im Frühling in 101 ‰, im Sommer in 114 ‰ und im Herbst 160 ‰, aber bei Winden aus dem Sektor W bis NNW im Winter

nur in 103 ‰, im Frühling in 88 ‰, im Sommer in 143 ‰ und im Herbst in 138 ‰ aller Stunden vor. In Podersdorf kommen auch bei Südwinden noch Windstärken über 30 km/h im Frühling in 13 ‰ aller Stunden vor, in den übrigen Jahreszeiten aber nur sehr selten.

In Rust (Abb. 7) kommen die stärksten Winde ebenfalls aus dem Sektor W bis NNW. Sie sind aber dort viel seltener als in Podersdorf. Die Windstärke von 30 km/h wird hier bei Winden aus diesem Sektor im Winter nur in 56 ‰, im Frühling nur in 61 ‰, im Sommer nur in 26 ‰ und im Herbst nur in 17 ‰ aller Stunden übertroffen. Windstärken über 30 km/h kommen in Rust vereinzelt auch noch bei Winden aus SSE und S vor. Dagegen wird bei Winden aus dem Sektor NNE bis E und bei Winden aus SW die Geschwindigkeit von 20 km/h nur sehr selten übertroffen.

In Seemitte kann ein strenger Vergleich mit den anderen Stationen nur im Sommer durchgeführt werden. Die stärksten Winde kommen dort aus WNW bis N (Abb. 8). Die Windstärke von 30 km/h wird dabei in 127 ‰ aller Stunden übertroffen, das ist merklich mehr als in Podersdorf. Auch W-Winde, S-Winde und SSE-Winde haben einigemal die Geschwindigkeit von 30 km/h in Seemitte überschritten. Windstärken von



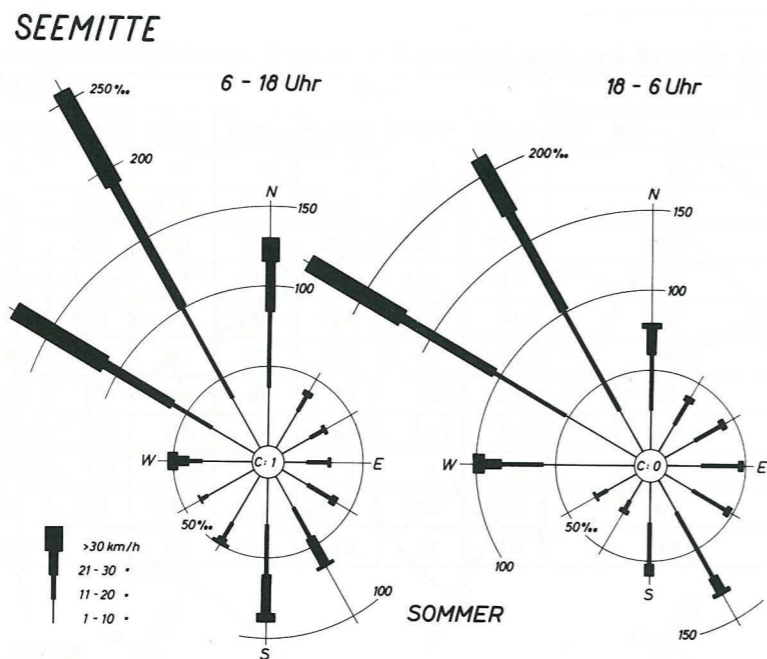


Abb. 8: Windrosen für Sommer in Seemitte bei Tag (6–18<sup>h</sup>) und bei Nacht (18–6<sup>h</sup>) mit Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen und Windstärken bei den einzelnen Windrichtungen in Promille der Stunden der Jahreszeit (aus (16)).

1–10 km/h treten bei Winden aus WNW bis N in Seemitte im Sommer in 105 % aller Stunden auf; das ist merklich weniger als in Podersdorf.

Die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten bei den verschiedenen Windrichtungen weisen sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Windrichtungen auf. Bei den am häufigsten vorkommenden Windrichtungen sind auch die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten groß und bei den selten vorkommenden Windrichtungen sind sie klein. (Siehe Abb. 6,7,8). Das Hauptmaximum fällt auf Winde aus dem NW-Sektor und ein sekundäres Maximum auf Winde aus dem SE-Sektor. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Maxima der Windgeschwindigkeit sind bei den einzelnen Meßstellen sehr verschieden. Im Jahresdurchschnitt ist das sekundäre Maximum in Podersdorf um 11,7 km/h, in Rust aber nur um 3,7 km/h kleiner als das Hauptmaximum und in Mörbisch sind beide Maxima gleich. Das Hauptminimum der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit einer Windrichtung fällt in Podersdorf und in Rust auf den NNE-Wind und ist im Jahresdurchschnitt in Podersdorf um 16 km/h und in Rust um 10,6 km/h kleiner als das Hauptmaximum, das auf den WNW-Wind entfällt. In Mörbisch fällt das Minimum auf den NE-Wind und ist um 7,6 km/h kleiner als das durchschnittliche Maximum bei NW-Winden. Die sekundären Minima sind nur wenig größer als die Hauptminima und fallen in Podersdorf auf den SSE-Wind, in Rust und in Mörbisch auf den SW-Wind.

Weitere Angaben über Windverhältnisse im Neusiedlerseegebiet sind auch für andere Meßstellen in (16) zu finden.

Der gesamte Strahlungshaushalt mit seinen Komponenten, Globalstrahlung, kurzwellige Reflexion (Albedo), langwellige Gegenstrahlung und Ausstrahlung ist für vier verschiedene Standorte im Gebiet des Neusiedlersees ebenfalls untersucht worden (17). Der Bearbeitung lagen Meßdaten der Komponenten des Strahlungshaushaltes von 1967–1970 von Seemitte, von der

Seeuferstation bei Podersdorf und von einer Station im und über dem Schilf bei Rust und von 1969–1970 von einer Landstation bei Althof, circa 5 km südöstlich von Podersdorf zugrunde. Der Strahlungshaushalt wurde getrennt nach den einzelnen Komponenten auch auf Unterschiede zwischen den Stationen auf Grund ihrer verschiedenen Standorte sowie auf ihre Größen bei verschiedenen Bewölkungsverhältnissen eingehend untersucht.

Bei wolkenlosen Himmel werden durchschnittlich von Mai bis Juli Tagessummen der Globalstrahlung von 600 cal/cm<sup>2</sup> erreicht. Bei großen Sonnenhöhen beträgt die durchschnittliche Albedo des Neusiedlersees 14 % bei Seemitte und 11,5 % bei Podersdorf. Die Trübung des seichten Sees erhöht die Albedo um 2 % bis 5 %. Auch die Wellenbewegungen bewirken eine kleine Erhöhung der Albedo. Die Albedo der Eisdecke beträgt 40 % bis 50 %. Bei einer Neuschneedecke erreicht die Albedo Werte über 70 %. Die Albedo des Schilfs bei Rust betrug 10 % bis 15 %. Beim Althof wurde über einem Rübenbestand konstant eine Albedo von 20 % gemessen. Die Albedo eines Getreidefeldes lag zwischen 20 % und 23 %, nach der Ernte aber unter 19 %.

Die kurzwellige Einstrahlung betrug am Grunde des Schilfs bei Rust von November bis Mai über 50 % der Einstrahlung über dem Schilf, bei vollentwickeltem Schilf aber nur mehr 20 % bis 35 %. Die Monatssummen der Strahlungsbilanz waren im Dezember bei Podersdorf immer negativ, im Schilf bei Rust waren sie zum Teil auch schon im November negativ. Die größten Unterschiede der Strahlungsbilanz traten zwischen Seemitte und dem Gelände um Althof auf. Im Sommer sind die Strahlungsbilanzwerte als Summe aller Strahlungskomponenten über der Wasserfläche höher als über Landflächen, im Winter ist es aber umgekehrt.

Im entwickelten Schilfbestand stellen sich ausgeprägte vertikale Temperaturgradienten ein.

An Hand zahlreicher simultan gemessener Wind- und Temperaturprofile in der bodennahen Atmosphäre wurden der Rauigkeitsparameter  $Z_0$  und die Dicke der Verdrängungsschicht  $d$  für Wind in der Schilfzone und als Vergleich dazu auch über einem Zuckerrübenfeld, über Gras und über Wasser bestimmt (18). Während im Fall der glatten Wasserfläche des Neusiedlersees  $Z_0 = 0,0041 \pm 0,0011$  cm beträgt, ist bei einer mittleren Schilfhöhe von 3 m  $Z_0 = 8,72 \pm 2,84$  cm und  $d = 209 \pm 21$  cm. Bei 2–10 cm hohen Zuckerrübenpflanzen ist  $Z_0 = 0,088 \pm 0,028$  cm und  $d = 1,1 \pm 0,7$  cm, bei 30–35 cm hohen Zuckerrübenpflanzen wird  $Z_0 = 5,29 \pm 1,73$  cm und  $d = 15,1 \pm 2,7$  cm erreicht, während bei 16±5 cm hohem Gras  $Z_0 = 1,28 \pm 0,39$  cm und  $d = 11,2 \pm 2,12$  cm beträgt.

Eine zusammenfassende Darstellung der klimatischen Situation im Neusiedlerseegebiet während des Berichtszeitraumes wurde in (20) veröffentlicht.

Im Neusiedlersee wurde in Podersdorf, 20 m vom Ostufer entfernt, in Seemitte und im Schilf bei Rust, 800 m vom Westufer entfernt, in verschiedenen Tiefen und im Seeboden auch die Wassertemperatur mit Platinwiderstandsthermometer, die im Wasser an einem im Seeboden fest verankerten Stab, in der oberflächennahen Schicht in ungefähr 5 mm Tiefe aber an einem Schwimmer befestigt waren, registriert.

Die Beobachtungen aus der Zeit von 1967 bis 1970 wurden in (21) bearbeitet. Die Abb. 9 veranschaulicht den Jahresgang der mittleren Stundenwerte der Wassertemperatur in der oberflächennahen Schicht in 20 bis 30 cm Tiefe an den drei Stationen im Durchschnitt der 4 Jahre. Abweichend von Seen mit großem Wassergehalt wird im Neusiedlersee das Temperaturmaximum bereits in der ersten Hälfte des Juli erreicht, da der Neusiedlersee mit seinem geringen Wassergehalt nicht viel Wärme speichern kann, und daher bleibt das Maximum der Wassertemperatur kaum hinter dem Maximum

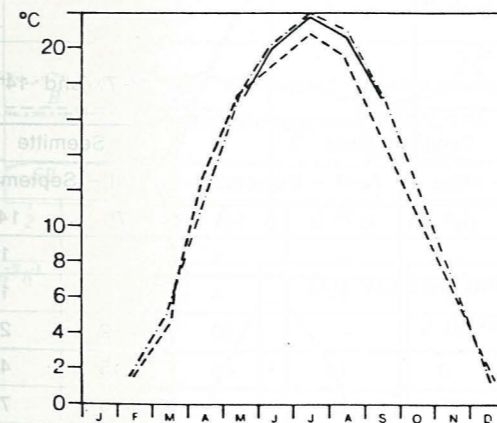


Abb. 9: Mittlerer Jahresgang der Wassertemperatur 1967–1970 in 20–30 cm Tiefe (aus 21).  
--- = Schilfstation; - - - - = Podersdorf; — = Seemitte.

Tabelle 7  
Monatsmittelwerte der durchschnittlichen Wassertiefe in cm nach Messungen um 7 Uhr in Seemitte, bei Podersdorf und im Schilf bei Rust (1967–1970). Aus (19).

|             | Jänner | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | Sept. | Oktober | Nov. | Dez. |
|-------------|--------|---------|------|-------|-----|------|------|--------|-------|---------|------|------|
| Seemitte    | —      | —       | —    | —     | 155 | 148  | 142  | 138    | 137   | 139     | —    | —    |
| Podersdorf  | 102    | 109     | 113  | 111   | 106 | 101  | 93   | 89     | 87    | 89      | 91   | 93   |
| Rust-Schilf | 62     | 72      | 77   | 72    | 69  | 65   | 56   | 53     | 51    | 52      | 54   | 57   |

der Lufttemperatur zurück. Der Neusiedlersee erwärmt sich daher im Frühling rascher als tiefe Seen und kühlt sich im Herbst auch rascher ab. Er friert daher auch relativ früh zu.

Während in der freien Seefläche auf Grund des relativ großen Windreichtums eine vertikale Wassertemperaturschichtung sehr selten und dann nur kurzdauernd auftritt, kann sie im Schilfgürtel auch noch bei höheren Windgeschwindigkeiten bestehen. Überhaupt bildet sich in den Beständen des Schilfgürtels ein sehr eigenständiges Mikroklima aus (19).

Bei der Beurteilung der Unterschiede der Wassertemperatur und ihrer Änderung mit der Tiefe sind auch die an den 3 Stationen unterschiedlichen Wassertiefen zu beachten. In Tabelle 7 sind die Jahresgänge der Wassertiefen an den 3 Stationen auf Grund von vierjährigen Beobachtungen wiedergegeben. Darin fällt auf, daß die größte Wassertiefe im Jahresgang im März vorkommt, die kleinste Wassertiefe aber an allen 3 Stationen im September.

Wie sich die Wassertemperatur von der obersten Schicht bis zum Seeboden und in den oberen Seeboden hinein im vierjährigen Durchschnitt mit der Tiefe ändert, ist aus Tabelle 8 ersichtlich, in der die monatlichen Durchschnittswerte für Monate mit vollständigen Beobachtungen für alle 3 Stationen zusammengestellt sind. Schlammboden ist bei der Schilfstation Rust als „schleimiger“ Schlamm, bei Podersdorf und Seemitte aber als „harter“ Schlamm zu verstehen.

Der Mangel an einer länger anhaltenden thermischen Schichtung des Wassers im See hat eine relativ große interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur zur Folge, die einen deutlichen Jahresgang mit einem Minimum im Winter und einem Maximum im Sommer und auch einen Tagesgang aufweist, wie der Tabelle 9 zu entnehmen ist. Im Tagesgang ist besonders in Seemitte die interdiurne Veränderlichkeit der Temperatur zum 14<sup>h</sup>-Termin wesentlich größer als zum 7<sup>h</sup>- und 21<sup>h</sup>-Termin. In Podersdorf sind die Unterschiede zwischen 14<sup>h</sup> und 7<sup>h</sup> nicht so groß und das Maximum fällt auf den Juni. Im Schilf bei Rust nimmt die interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur vom Minimum im Jänner rasch bis zum Maximum im April zu, ändert sich dann bis zum August nicht viel und bleibt nur in dieser Zeit im Tagesgang bemerkenswert über den anderen Terminen. Die interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur ist in 25 cm Tiefe im Sommerhalbjahr in Podersdorf und in Seemitte viel größer, im Schilf bei Rust aber kleiner als in den großen Alpenseen.

Die Häufigkeitsverteilung der interdiurnen Wassertemperaturen am Morgen (von 7<sup>h</sup> bis 7<sup>h</sup>) und am frühen Nachmittag von 14<sup>h</sup> bis 14<sup>h</sup>) zeigt die Tabelle 10 für die 3 Stationen. Diese absoluten Häufigkeitsverteilungen lassen sich durch Werte der Standardabweichungen charakterisieren, die in Tabelle 11 für die Häufigkeitsverteilungen um 7<sup>h</sup>, 14<sup>h</sup> und 21<sup>h</sup> an den 3 Stationen an

der Seeoberfläche und im Seeboden zusammengestellt sind.

Während in Seemitte und bei Podersdorf wegen des meist bis zum Boden durchmischten Wassers keine großen Unterschiede der Standardabweichungen s zwi-

schen Seeoberfläche und Seeboden bestehen, ist diese im Schilf bei Rust im Seeboden nur halb so groß wie an der Seeoberfläche.

Die Werte der Standardabweichungen an der freien Wasseroberfläche im Neusiedlersee sind bedeutend

**Tabelle 8**  
Mittelwerte der Wassertemperatur und der Temperatur im Seeboden [°C] in den einzelnen Monaten in Seemitte, bei Podersdorf und im Schilf bei Rust (1967–1970). Aus (19).

|                    |                                   | Jan. | Feb. | März | April | Mai  | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|--------------------|-----------------------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| Seemitte           | 120 cm über der Schlammobergrenze | –    | –    | –    | –     | 15,8 | 19,8 | 21,5 | 20,4 | 17,2  | 12,0 | –    | –    |
|                    | An der Schlammobergrenze          | –    | –    | –    | –     | 15,3 | 19,1 | 20,6 | 19,9 | 16,8  | 11,4 | –    | –    |
|                    | 20 cm im Schlamm                  | –    | –    | –    | –     | 13,8 | 17,4 | 19,4 | 19,2 | 17,0  | 12,6 | –    | –    |
| Bei Podersdorf     | 60 cm über Schlammobergrenze      | –    | –    | 5,0  | 11,2  | 17,3 | 20,0 | 21,8 | 20,8 | 17,4  | 11,7 | 6,0  | 1,3  |
|                    | An der Schlammobergrenze          | –    | –    | 5,1  | 11,0  | 16,9 | 19,6 | 21,4 | 20,6 | 17,1  | 11,5 | 5,9  | 2,8  |
|                    | 20 cm im Schlamm                  | –    | –    | –    | 10,1  | 15,5 | 18,5 | –    | –    | 17,4  | 12,7 | 7,6  | 3,7  |
| Im Schilf bei Rust | 45 cm über der Schlammobergrenze  | 0,7  | 1,5  | 3,7  | –     | 16,4 | –    | 20,5 | 19,4 | –     | 10,9 | –    | 1,6  |
|                    | An der Schlammobergrenze          | 3,1  | 3,3  | 5,0  | –     | 13,9 | –    | 18,2 | 17,5 | –     | 11,0 | –    | 5,5  |
|                    | 50 cm im Schlamm                  | 6,0  | 5,6  | 5,8  | –     | 11,4 | –    | 15,3 | 15,6 | –     | 12,7 | –    | 7,9  |

**Tabelle 9**  
Interdiurne Veränderlichkeit der Wassertemperatur [°C] bei Podersdorf, in Seemitte und im Schilf bei Rust (1967–1970). Aus (19).

|                 |                 | Jänner | Februar | März | April | Mai  | Juni | Juli | August | Sept. | Oktober | Nov. | Dez. |
|-----------------|-----------------|--------|---------|------|-------|------|------|------|--------|-------|---------|------|------|
| Bei Podersdorf  | 7 <sup>h</sup>  | 0,32   | 0,53    | 0,86 | 1,28  | 1,43 | 1,68 | 1,73 | 1,38   | 1,16  | 0,82    | 0,74 | 0,31 |
|                 | 14 <sup>h</sup> | 0,38   | 0,64    | 0,95 | 1,34  | 1,77 | 2,04 | 1,74 | 1,57   | 1,30  | 0,98    | 0,81 | 0,38 |
| Seemitte        | 7 <sup>h</sup>  | –      | –       | –    | –     | 0,98 | 1,15 | 1,24 | 0,87   | 0,78  | 0,60    | –    | –    |
|                 | 14 <sup>h</sup> | –      | –       | –    | –     | 1,86 | 2,00 | 2,07 | 1,50   | 1,38  | 1,03    | –    | –    |
| Schilf bei Rust | 7 <sup>h</sup>  | 0,10   | 0,23    | 0,62 | 1,06  | 1,00 | 1,04 | 0,96 | 0,75   | 0,74  | 0,62    | 0,69 | 0,23 |
|                 | 14 <sup>h</sup> | 0,10   | 0,22    | 0,60 | 1,32  | 1,22 | 1,22 | 1,26 | 1,24   | 1,04  | 0,72    | 0,73 | 0,30 |

**Tabelle 10**  
Absolute Häufigkeitsverteilung der interdiurnen Änderungen der Wasseroberflächentemperatur von 7<sup>h</sup>–7<sup>h</sup> und 14<sup>h</sup>–14<sup>h</sup> (1967–1970). Aus (19).

|               | Podersdorf     |                 |                   |                 | Schilf bei Rust |                 |                   |                 | Seemitte          |                 |     |
|---------------|----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----|
|               | Oktober – März |                 | April – September |                 | Oktober – März  |                 | April – September |                 | April – September |                 |     |
|               | 7 <sup>h</sup> | 14 <sup>h</sup> | 7 <sup>h</sup>    | 14 <sup>h</sup> | 7 <sup>h</sup>  | 14 <sup>h</sup> | 7 <sup>h</sup>    | 14 <sup>h</sup> | 7 <sup>h</sup>    | 14 <sup>h</sup> |     |
| 5,0           | –              | 1               | –                 | 5               | –               | –               | –                 | –               | 1                 | –               | 16  |
| 4,1 bis 5,0   | 1              | –               | 6                 | 6               | –               | –               | –                 | –               | 4                 | –               | 13  |
| 3,1 bis 4,0   | –              | 4               | 12                | 26              | –               | –               | –                 | –               | 10                | 2               | 29  |
| 2,1 bis 3,0   | 3              | 11              | 58                | 83              | 1               | 0               | 16                | 40              | 15                | 15              | 41  |
| 1,1 bis 2,0   | 52             | 36              | 139               | 119             | 33              | 27              | 110               | 108             | 116               | 116             | 76  |
| 0,1 bis 1,0   | 220            | 214             | 168               | 143             | 209             | 211             | 230               | 198             | 234               | 234             | 142 |
| 0             | 95             | 70              | 19                | 22              | 138             | 108             | 22                | 21              | –                 | –               | –   |
| –0,1 bis –1,0 | 202            | 214             | 132               | 131             | 182             | 208             | 184               | 148             | 168               | 168             | 142 |
| –1,1 bis –2,0 | 38             | 68              | 94                | 82              | 36              | 41              | 74                | 85              | 74                | 74              | 94  |
| –2,1 bis –3,0 | 18             | 12              | 46                | 53              | 5               | 2               | 30                | 26              | 35                | 35              | 47  |
| –3,1 bis –4,0 | 4              | 2               | 17                | 9               | –               | –               | 9                 | 23              | 9                 | 9               | 22  |
| –4,1 bis –5,0 | 1              | 1               | 11                | 10              | –               | –               | –                 | 10              | 4                 | 4               | 19  |
| –5,1 bis –6,0 | –              | –               | 6                 | 7               | –               | –               | 1                 | 2               | 1                 | 1               | 11  |
| –6,1 bis –7,0 | –              | –               | 3                 | 3               | –               | –               | –                 | 1               | –                 | –               | 1   |
| –7,0          | –              | –               | 2                 | 6               | –               | –               | –                 | –               | –                 | –               | –   |

**Tabelle 11**  
Standardabweichungen der interdiurnen Temperaturabweichungen [°C] in den Jahren 1967–1970 (aus (19)).

|                      |             | Oktober – März |                 |                 | April – September |                 |                 |
|----------------------|-------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
|                      |             | 7 <sup>h</sup> | 14 <sup>h</sup> | 21 <sup>h</sup> | 7 <sup>h</sup>    | 14 <sup>h</sup> | 21 <sup>h</sup> |
| An der Seeoberfläche | Seemitte    | –              | –               | –               | 1,287             | 2,293           | 1,466           |
|                      | Podersdorf  | 0,920          | 1,005           | 0,945           | 1,882             | 2,086           | 2,037           |
|                      | Rust-Schilf | 0,690          | 0,736           | 0,741           | 1,210             | 1,643           | 1,398           |
| Am Seeboden          | Seemitte    | –              | –               | –               | 1,267             | 1,315           | 1,393           |
|                      | Podersdorf  | 0,832          | 0,785           | 0,875           | 1,773             | 1,827           | 1,891           |
|                      | Rust-Schilf | 0,480          | 0,480           | 0,483           | 0,661             | 0,609           | 0,626           |

größer als in den großen Alpenseen, wie ein Vergleich mit dem Traunsee und mit dem Attersee zum 7<sup>h</sup>-Termin zeigt:

- Traunsee  
Oktober – März s = 0,546  
April – September s = 0,979
- Attersee  
Oktober – März s = 0,383  
April – September s = 0,629

### 3. Verdunstung von Schneeflächen

Für alpine Bereiche mit relativ langer Andauer einer geschlossenen Schneedecke sind quantitative Angaben

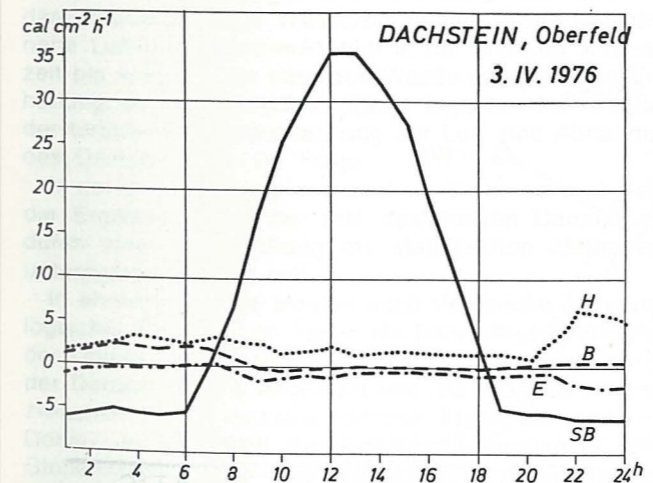
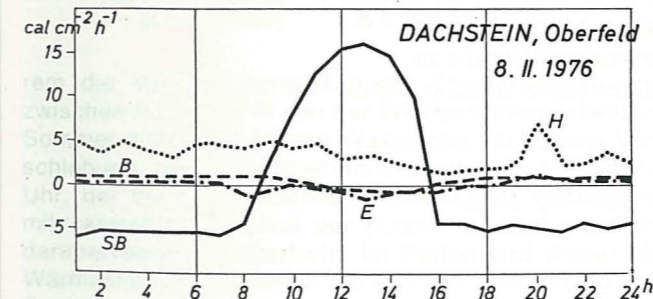


Abb. 10: Tagesgänge von SB, B, E und H an der Schneefläche am 8. Februar 1976 und am 3. April 1976 am Dachstein-Oberfeld (aus (23)).

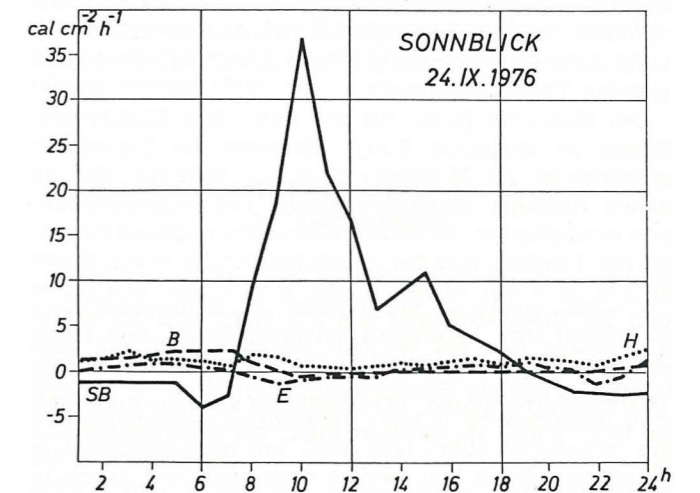


Abb. 11: Tagesgänge von SB, B, E und H an der Schneefläche am 24. September am Hohen Sonnblick (aus (23)).

über die Größe der auftretenden Verdunstung in der Literatur spärlich vorhanden. Es wurde daher zunächst (22), ausgehend von den Normalwerten der Lufttemperatur und der relativen Feuchte versucht, für verschiedene Seehöhen in den Ostalpen die mittleren monatlichen Tageswerte der fühlbaren und der latenten Wärmeströme (Verdunstung) über einer Schneefläche zu bestimmen. Dabei war zu klären, ob überhaupt Verdunstung oder Kondensation an der Schneedecke auftritt, da die Oberflächentemperatur des Schnees auf Grund der besonderen Strahlungseigenschaften des Schnees im allgemeinen unter der Lufttemperatur liegt. Es konnte festgestellt werden (22), daß im Mittel Verdunstung von einer Schneedecke nur selten auftritt, und wenn, nur mit geringen Beträgen; im allgemeinen überwiegt die Kondensation, deren Werte jedoch ebenfalls gering sind.

Eine Quantifizierung dieser Tatsache wurde in (23) zusammengefaßt. Mittels einer leichten, standortunabhängigen Wärmehaushaltsmeßstation wurden Messungen an Schneedecken im Hochgebirge sowohl im Winter als auch während der Abschmelzphase im Frühjahr (Dachstein) und im Spätherbst (Sonnblick) vorgenommen. Der Hauptenergiegewinn für die obersten Schichten der untersuchten Schneedecken kam dabei an klaren Tagen neben der Strahlungsbilanz (SB) überwiegend aus den fühlbaren Wärmeströmen (H) zustande, Verdunstung (E) bzw. Kondensation bleiben gering, ebenso der Bodenwärmestrom (B), wie an den Abbildungen 10, 11 deutlich ersichtlich ist.

#### 4. Hydrometeorologische Untersuchungen an der Donau

An zwei Standorten wurden während des Berichtszeitraumes Wärmehaushaltsmessungen der Donau durchgeführt, wobei diese Messungen beim Nußdorfer Wehr im Stadtbereich von Wien und im Stauraum des Donaukraftwerkes Wallsee-Mitterkirchen erfolgten und mittels der Bestimmung des Wärmehaushaltes Aussagen über das thermische Verhalten und die Verdunstung des Gewässers ermöglichen sollten.

Eine eingehende Bearbeitung der im Stauraum Wallsee-Mitterkirchen gewonnenen Meßwerte ist in (24) durchgeführt worden. Dabei wurde die Auswirkung des Stauraumes des Laufkraftwerkes auf die thermische Struktur des Flusses und die Wechselwirkung der Wasserfläche mit meteorologischen Elementen durch eine vergleichende Darstellung ihrer Tagesgänge an ausgewählten Tagen untersucht.

Die Meßstelle (Abb. 12) war nahe dem Südufer der Donau im Stauraum 500 m oberhalb der Staumauer eingerichtet. Zur Meßstelle führte ein Meßsteg, der mit einem Ausleger verlängert wurde. Die Meßeinrichtungen ermöglichten die Registrierung der relativen Feuchte, der Trocken- und der Feuchttemperatur in 0,5 m und in 3 m über der Wasserfläche, der Albedo aus 0,5 m und der Globalstrahlung aus 3 m Höhe und der Strahlungsbilanz und ein Wassertemperaturprofil. Auf dem Festland befand sich auch eine Wetterhütte mit einem Thermohydrographen, eine bespülte Verdunstungswanne GGI-3000, ein Ombrometer, ein Ombrograph und ein Windmesser auf einem 6 m hohen Mast. 9 km stromaufwärts am nördlichen Donauufer und 2,4 km stromabwärts kurz nach der Staumauer am südlichen

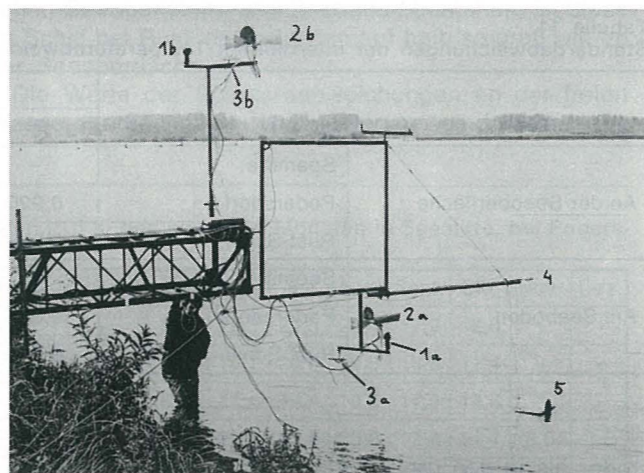


Abb. 12: Meßsteg mit Ausleger im Stauraum des Donaukraftwerkes Wallsee-Mitterkirchen.  
1 a, b = Feuchtegeber 0,5 und 3,0 m über der Wasserfläche; 2 a, b = Temperaturmesser trocken und feucht 0,5 und 3,0 m über Wasser; 3 a = Albedo (0,5 m); 3 b = Globalstrahlung (3,0 m); 4 = Strahlungsbilanz; 5 = Wassertemperaturprofil.

Donauufer waren Wassertemperaturmeßstellen aufgebaut. Ferner wurden 34 Wassertemperaturprofilfahrten entlang des Donaustauraumes bis zur Ennskanalmündung durchgeführt. Die meisten Meßgeräte wurden von Anfang Juli 1976 bis Ende Juni 1978 betrieben.

Aus dem Vergleich graphisch dargestellter Tagesgänge der Windrichtung und Windstärke, der Globalstrahlung, des Dampfdruckes in 0,5 und in 3 m, der Temperatur in 0,5 und in 3 m und der Wasseroberflächentemperaturen an ausgewählten Schönwettertagen in den verschiedenen Jahreszeiten ergaben sich unter ande-

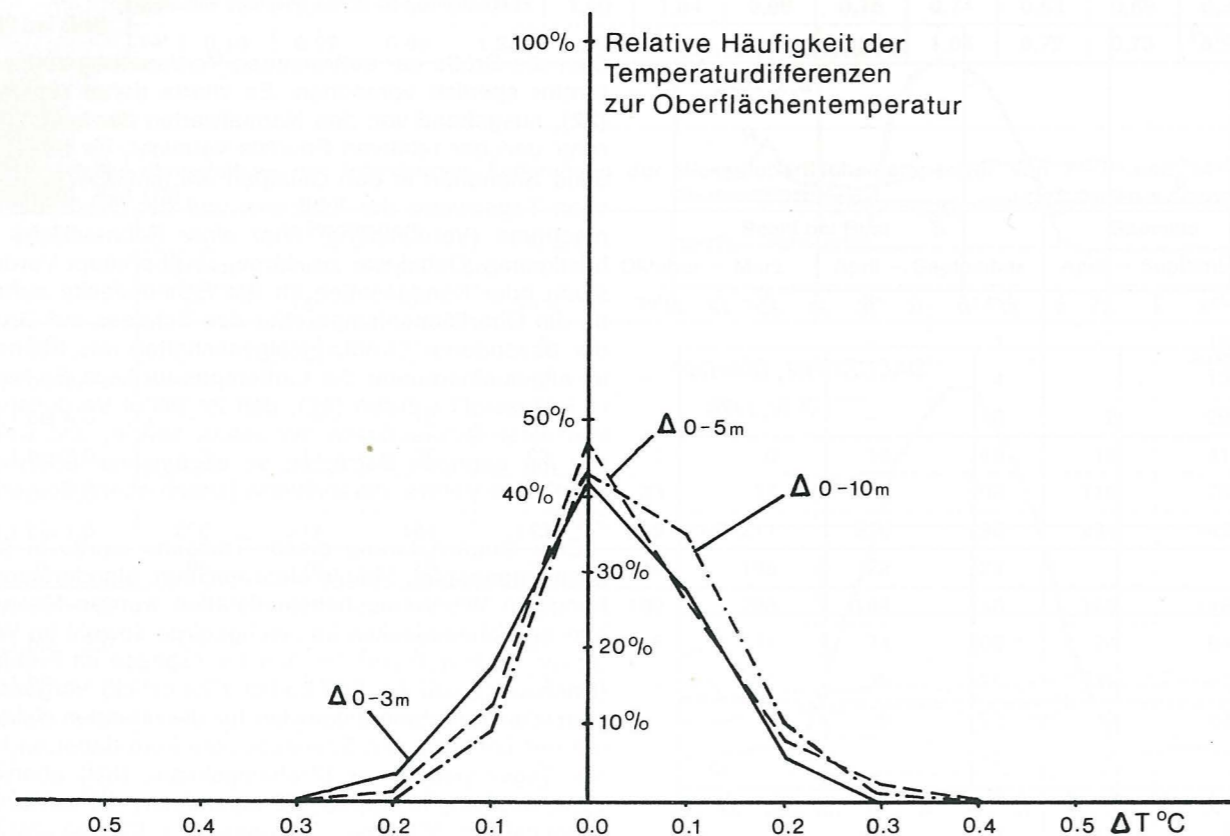


Abb. 13: Gemessene vertikale Temperaturdifferenz zur Oberflächentemperatur im Stausee Wallsee-Mitterkirchen (aus (25)).

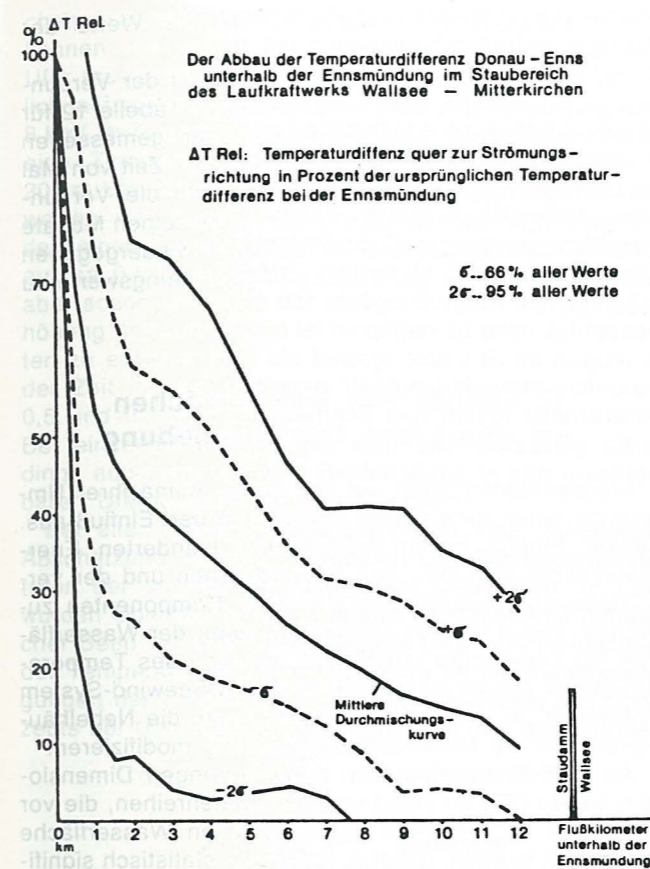


Abb. 14: Der Abbau der Temperaturdifferenz Donau - Enns unterhalb der Ennsmündung im Staubeereich des Laufkraftwerkes Wallsee-Mitterkirchen (aus (25)).  
 $\Delta T_{Rel}$  = Temperaturdifferenz quer zur Strömungsrichtung in Prozent der ursprünglichen Temperaturdifferenz bei der Ennsmündung;  $\sigma = 66\%$  aller Werte;  $2\sigma = 95\%$  aller Werte.

rem die starke Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen 0,5 und 3 m von der Windgeschwindigkeit, im Sommer infolge der kühlen Wasseroberfläche eine Verschiebung des Temperaturmaximums auf 15 bis 18 Uhr, der bei nur schwacher Luftbewegung gesteigerte mikroklimatische Einfluß der Wasseroberfläche auf die darüberliegende Luftschicht, im Herbst und Winter ein Wärmestrom vom Wasser zur Luft, im Spätfrühling und Sommer aber in umgekehrter Richtung. Die Wasserdampfzufuhr von der Wasseroberfläche in die wasser-nahe Luftschicht erstreckt sich in der warmen Jahreszeit bis einige Meter über den Wasserspiegel. Eine Erhöhung der Windgeschwindigkeit tagsüber hat wegen der turbulenten Durchmischung der Luft eine Abnahme des Dampfdruckes zur Folge.

In der Untersuchung wird auch zu klären versucht, ob die Ergebnisse aus der rein deskriptiven Darstellung durch eine Untersuchung mit statistischen Methoden untermauert werden soll.

In ähnlicher Weise werden auch Vergleiche meteorologischer Elemente an Tagen mit hoher Wasserführung der Donau und an Tagen mit niedriger Wasserführung der Donau bei Linz angestellt und die Wechselwirkung zwischen diesen meteorologischen Elementen und der Donau an graphisch dargestellten Tagesgängen der Globalstrahlung, der Strahlungsbilanz, der Lufttemperatur in der Beobachtungshütte am Ufer und in 0,5 m über der Wasseroberfläche, der Wasseroberflächentemperatur, der Wassertemperatur in 2,5 m Tiefe und der Was-

sertemperatur der Donau 9 km oberhalb der Meßstelle beim Kraftwerk und ca 2 km unterhalb der Staumauer in deskriptiver und auch in statistischer Behandlung besonders hinsichtlich der Temperaturverhältnisse bearbeitet.

Im Zuge des Projektes „Hydrometeorologische Untersuchung an der Donau“ wurde auch das dreidimensionale Temperaturfeld der Donau im Staubeereich des Kraftwerkes Wallsee-Mitterkirchen näher untersucht (25). Dabei konnte festgestellt werden, daß die vertikale Schichtung in allen Jahreszeiten auch in einem Stauraum vernachlässigbar klein ist (Abb. 13), was eine Eisbildung gegenüber dem ungestörten Fließgewässer nicht begünstigt.

Die horizontale Vermischung zweier verschieden temperierter Wasserkörper kann am Beispiel des Einflusses des Ennskanals in den Donaustauraum durch eine Exponentialfunktion mit allerdings großer Streuung angenähert werden (Abb. 14).

#### 5. Potentielle Verdunstung in Österreich

1975 wurde von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik im Rahmen der Teilnahme am Internationalen Hydrologischen Programm das bereits in einigen Orten bestehende Verdunstungsmeßnetz wesentlich erweitert (26). Dabei wurden die von der World Meteorological Organisation (WMO) empfohlenen Verdunstungswannen der Type GGI-3000 eingesetzt, die in der UdSSR konzipiert wurden und einen Durchmesser von 61,8 cm, eine Tiefe am Rand von 60,0 cm und in der Mitte von 68,5 cm aufweisen und in den Boden bis zu einem Überstand von 7,5 cm eingegraben werden. Abb. 15 zeigt die Standorte der Verdunstungswannen im Bundesgebiet. In Obersiebenbrunn, Salzburg und Klagenfurt wurde auch mit der ebenfalls international empfohlenen Class A-Wanne der USA die Verdunstung gemessen. Die Class A-Wanne hat einen Durchmesser von 1,21 m, 25,5 cm Tiefe und wird auf einem Holzrost am Boden aufgestellt.



Abb. 15: Standorte von Verdunstungswannen in Österreich, Stand 1977 (aus (26)).

Die in den Jahren 1975 und 1976 mit beiden Meßgeräten von Mai bis Oktober gewonnenen Summen der Verdunstung sind in Tabelle 12 wiedergegeben, die einen Vergleich beider Meßreihen ermöglicht. Im allgemeinen liefert die Class A-Wanne höhere Werte als die GGI-3000-Wanne. Die größten Unterschiede treten bei den in Österreich herrschenden Klimaverhältnissen im allgemeinen im Mai und Juni auf, während im Oktober

Tabelle 12  
Summen der potentiellen Verdunstung von Mai bis Oktober, gemessen mit GGI-3000-Wannen und mit Class A-Wannen [mm] für 1975 und 1976 (aus (26)).

| Meßstelle       | GGI-3000-Wanne |       | Class A-Wanne |       |
|-----------------|----------------|-------|---------------|-------|
|                 | 1975           | 1976  | 1975          | 1976  |
| Obersiebenbrunn | 462,9          | 465,9 | 687,9         | 695,3 |
| Retz            | 378,2          | 456,8 |               |       |
| Schwarzenau     | 301,6          | 345,7 |               |       |
| Kremsmünster    | -              | 354,7 |               |       |
| Salzburg        | 443,6          | -     | 574,3         | -     |
| Innsbruck       | -              | 443,4 |               |       |
| Imst            | -              | 399,5 |               |       |
| Feldkirch       | -              | 415,1 |               |       |
| Lienz           | -              | 458,9 |               |       |
| Klagenfurt      | -              | 446,1 | 555,7         | 588,8 |
| Feuerkogel      | -              | 322,4 |               |       |

die Verdunstungswerte aus der Class A-Wanne (wegen des unterschiedlichen Wärmehaushaltes der Wannen) teilweise geringer sind als aus GGI-3000-Wannen. In Tabelle 13 sind die Verhältnisse der Verdunstung aus GGI-3000-Wannen zur Verdunstung aus Class A-Wannen, bestimmt aus 1975 und 1976 für die Monate April bis Oktober angegeben. Beim Vergleich der mit GGI-3000-Wannen gemessenen Verdunstungsmengen mit theoretisch berechneten Mengen der potentiellen Verdunstung ergibt sich in der Mehrzahl der Fälle eine sehr befriedigende Übereinstimmung. Daraus ist zu schließen, daß die GGI-3000-Wanne offensichtlich Werte liefert, die eher den tatsächlichen potentiellen

Tabelle 13  
Verhältnis der Verdunstung aus GGI-3000-Wannen zur Verdunstung aus Class A-Wannen, bestimmt aus 1975 und 1976 (aus (26)).

| Meßstelle       | April | Mai  | Juni | Juli | August | Sept. | Oktober | Mai - Oktober |
|-----------------|-------|------|------|------|--------|-------|---------|---------------|
| Obersiebenbrunn | 0,66  | 0,67 | 0,65 | 0,72 | 0,70   | 0,66  | 0,85    | 0,71          |
| Salzburg        | -     | 0,67 | 0,74 | 0,79 | 0,75   | 0,72  | 1,00    | 0,78          |
| Klagenfurt      | 0,79  | 0,63 | 0,66 | 0,77 | 0,78   | 0,81  | 1,10    | 0,79          |

Tabelle 14  
Monatssummen der mit GGI-3000-Wannen und Class A-Wannen in Obersiebenbrunn, Salzburg und Klagenfurt in den Jahren 1975 und 1976 gemessenen Verdunstungswerte in mm (aus (26)).

|                 |                |      | April | Mai   | Juni  | Juli  | August | Sept. | Oktober |
|-----------------|----------------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|
| Obersiebenbrunn | GGI-3000-Wanne | 1975 | -     | 19,2  | 83,1  | 102,6 | 90,3   | 54,6  | 42,1    |
|                 |                | 1976 | 73,6  | 73,0  | 97,6  | 144,3 | 97,5   | 53,4  | 30,1    |
|                 | Class A-Wanne  | 1975 | 100,3 | 121,7 | 128,8 | 159,8 | 135,3  | 98,8  | 43,5    |
|                 |                | 1976 | 111,4 | 120,7 | 149,1 | 181,3 | 133,4  | 69,9  | 41,2    |
| Salzburg        | GGI-3000-Wanne | 1975 | -     | 75,6  | 78,4  | 90,1  | 94,2   | 65,2  | 40,1    |
|                 |                | 1976 | -     | 84,3  | 118,2 | 130,0 | 66,7   | 37,4  | -       |
|                 | Class A-Wanne  | 1975 | -     | 111,6 | 105,3 | 112,5 | 120,5  | 84,5  | 39,9    |
|                 |                | 1976 | -     | 125,8 | 160,9 | 165,1 | 92,6   | 55,5  | -       |
| Klagenfurt      | GGI-3000-Wanne | 1975 | -     | -     | -     | -     | 73,5   | 54,3  | 34,2    |
|                 |                | 1976 | 51,0  | 67,3  | 97,4  | 119,5 | 74,5   | 49,5  | 37,9    |
|                 | Class A-Wanne  | 1975 | -     | 99,1  | 104,9 | 143,9 | 102,7  | 71,0  | 34,1    |
|                 |                | 1976 | 64,6  | 107,5 | 148,3 | 154,2 | 88,6   | 58,0  | 32,2    |

Verdunstungswerten entsprechen als die Werte der Class A-Wanne.

Um einen Überblick über die Verteilung der Verdunstung in Österreich zu gewinnen sind in Tabelle 12 für alle Stationen die Gesamtsummen der gemessenen Werte der potentiellen Verdunstung in der Zeit von Mai bis Oktober zusammengestellt. Wie sich die Verdunstungsmengen im Jahresgang auf die einzelnen Monate verteilen ist auch aus dem in Tabelle 14 wiedergegeben Monatsmengen der gemessenen Verdunstungswerte zu ersehen.

## 6. Einfluß von Wasserflächen auf das Klima ihrer Umgebung

Wasserflächen üben auf das lokale Klima ihrer Umgebung einen ihrer Größe entsprechenden Einfluß aus. Dieser Einfluß kommt infolge der geänderten Energieumsätze an Land- und Wasserflächen und der verschiedenen Wechselwirkungen ihrer Komponenten zustande. Dabei wird im allgemeinen über der Wasserfläche die Luftfeuchte erhöht, die Variation des Temperaturganges ausgeglichen und ein Land-Seewind-System entwickelt. In der Folge kann sich auch die Nebelhäufigkeit und die Niederschlagsverteilung modifizieren.

An Fluß-Stauwerken von relativ geringen Dimensionen wurde (27) an Hand von Klimadatenreihen, die vor und nach dem Aufstau der künstlichen Wasserfläche gewonnen wurden, gezeigt, daß keine statistisch signifikanten Lokalklimaänderungen nachzuweisen waren, was sicherlich auf die nur geringe Ausdehnung des vorliegenden Staussees zurückzuführen war.

Mit den Methoden der Ausbreitungsrechnung wurde (28) bewiesen, daß sehr wohl Einflüsse der Wasserflä-

chen auf die ufernahen Zonen angenommen werden können, die jedoch mit zunehmender Entfernung vom Ufer rasch abklingen. So ergaben sich für einen künstlich aufzustauenden See mit einer Oberfläche von ca 8 km<sup>2</sup> im Dezember in unmittelbarer Ufernähe im Mittel eine Temperaturerhöhung von ca. 1°C, während in 200 m Uferdistanz nur mehr 20 % dieses Wertes zu erwarten waren. Im Frühjahr wurde in Ufernähe unter denselben Bedingungen eine Temperaturerniedrigung auf ca 0,5°C geschätzt, welche in 200 m Uferdistanz aber schon unterhalb der Meßgenauigkeit lag. Eine Erhöhung der Luftfeuchte ist hingegen zu allen Jahreszeiten zu erwarten und sie bewegt sich z.B. im August in der Zeit mit der höchsten Verdunstungsrate zwischen 0,5 und 0,1 gm<sup>-3</sup> in Ufernähe und 200 m Uferdistanz. Bei einzelnen Wetterlagen wird sich kurzzeitig allerdings auch eine größere Beeinflussung in den unmittelbaren Ufergebieten einstellen können.

Bei allen diesen Überlegungen ist eine verlässliche Abschätzung der zu erwartenden Oberflächentemperaturen der untersuchten Gewässer unerlässlich. In (29) wurden Oberflächentemperaturen verschiedener natürlicher Seen mit einer Zeitkonstante (Anpassungsfunktion der Temperatur des Wasserkörpers an die Klimabedingungen der Umgebung) bestimmt, die mittels des Konzeptes der Gleichgewichtstemperaturen und des Wärme-

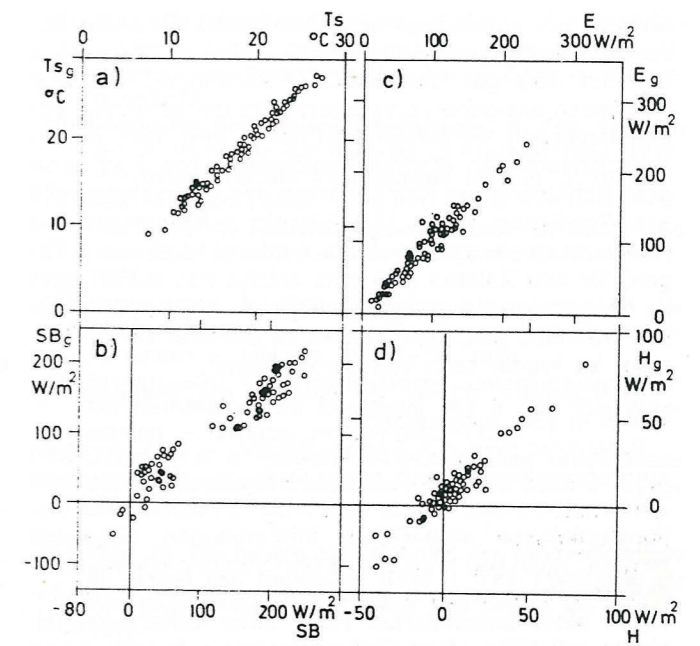


Abb. 16: Berechnete Tageswerte (g) dargestellt gegen gemessene Werte (s) von a) Wassertemperatur (T), b) Strahlungsbilanz (SB), c) latentem Wärmestrom (E) und fühlbarem Wärmestrom (H) für den Neusiedlersee (Mai, Juli, Oktober 1969). Aus (29).

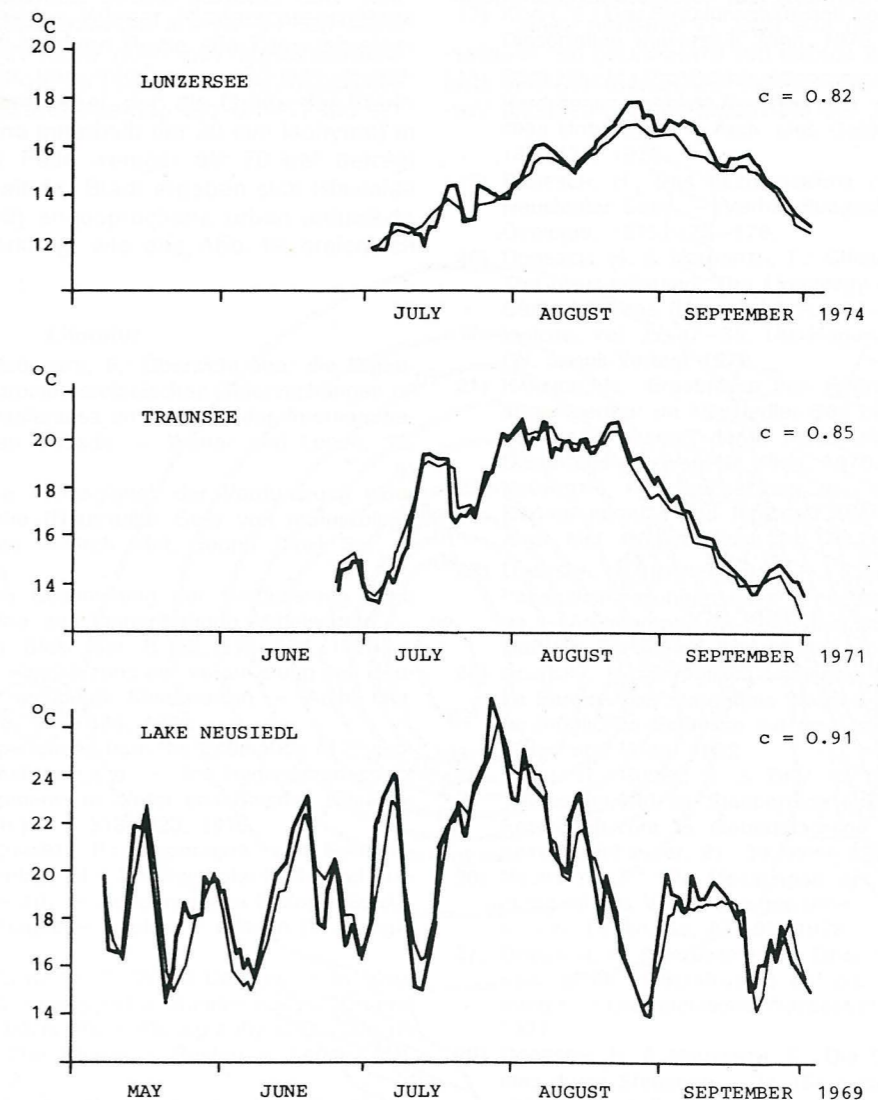


Abb. 17: Gemessene (—) und berechnete (---) Wassertemperatur für drei österreichische Seen (c = Korrelationskoeffizient). Aus (31).

überganges ermittelt wurde. Das Modell läßt sich sowohl auf tiefe thermisch geschichtete Seen (allerdings nur auf das gut durchmischte Epilimnion) und auf Flachseen anwenden und liefert trotz der einfachen klimatologischen Ausgangsdaten neben den recht gut zu approximierenden Oberflächentemperaturen auch eine gute Schätzung der Komponenten des Wärmehaushalts des Gewässers (Abb. 16). Für die Zeitkonstante des Neusiedlersees ergab sich ein mittlerer Wert von 3 Tagen, für den Balaton See eine solche von ca 6 Tagen im Sommer und ca 8 Tagen im Winter. Für den sehr tiefen Traunsee hingegen wurden im Sommer ca 1,7 Monate, im Winter ca 3 Monate errechnet.

Eine andere Art der Berechnung der Zeitkonstante wurde in (30) vorgenommen.

Betrachtet man das System Wasser – Luft als einen autoregressiven Prozeß erster Ordnung, so kann diese Zeitkonstante aus den in den entsprechenden Korrelationsfunktionen enthaltenen Informationen abgeleitet werden. Auch hier wird wie in (29) von der Wärmehaushaltsgleichung eines Wasserkörpers ausgegangen, diese in einer linearisierten Form einer Differentialgleichung mit Hilfe eines Faltungsintegrals integriert und die Lösung in Form der zeitabhängigen Wasseroberflächentemperatur dargestellt. Diese Ergebnisse waren in sehr guter Übereinstimmung mit jenen in (29) und ließen eine gute Berechnung der Wasseroberflächentemperatur zu, wie man aus Abb. 17 ersehen kann.

In (31) ist dieses Modell der Errechnung der Wasseroberflächentemperatur mittels Zeitkonstanten mit zwei weiteren Modellen, die die räumliche und zeitliche Ver-

teilung der Temperaturen eines Gewässers zu ermitteln erlauben, dargestellt.

Es zeigt sich, daß das erste Modell den beiden anderen überlegen ist, infolge der relativ einfachen Ausgangsdaten – sofern man sich auf die Berechnung der Oberflächentemperaturen gemittelt über einen Zeitraum von ca 1 Monat beschränkt. Die beiden anderen Modelle erlauben eine genauere Bestimmung des zeitlichen Verlaufes der Temperaturen des betrachteten Wasserkörpers, erfordern allerdings auch eine genauere Kenntnis von dessen lignophysikalischen Eigenschaften.

## 7. Urbanhydrologie

Eine Untersuchung des urbanen Einflusses auf die Niederschlagsverteilung im Wiener Raum ist in (32) vorgenommen worden. Mit Hilfe des dichten Niederschlagsnetzes in Wien und Umgebung wurde auf der Basis von Jahressummen des Niederschlags aus den letzten 30 Jahren und unter Verwendung verschiedener Untersuchungsmethoden die Existenz eines urban induzierten Niederschlagsmaximums im Lee der städtischen Wärmeinsel mit hoher statistischer Signifikanz bewiesen. Das Zentrum dieses Zusatzniederschlags lag jeweils ca. 11–31 km ost-nordöstlich bis südöstlich des Stadtzentrums von Wien (Abb. 18), wobei der Niederschlagszuwachs 75–240 mm pro Jahr ausmachte, was 7,5 bis 17,4 % der Jahresniederschlagshöhe bedeutet.

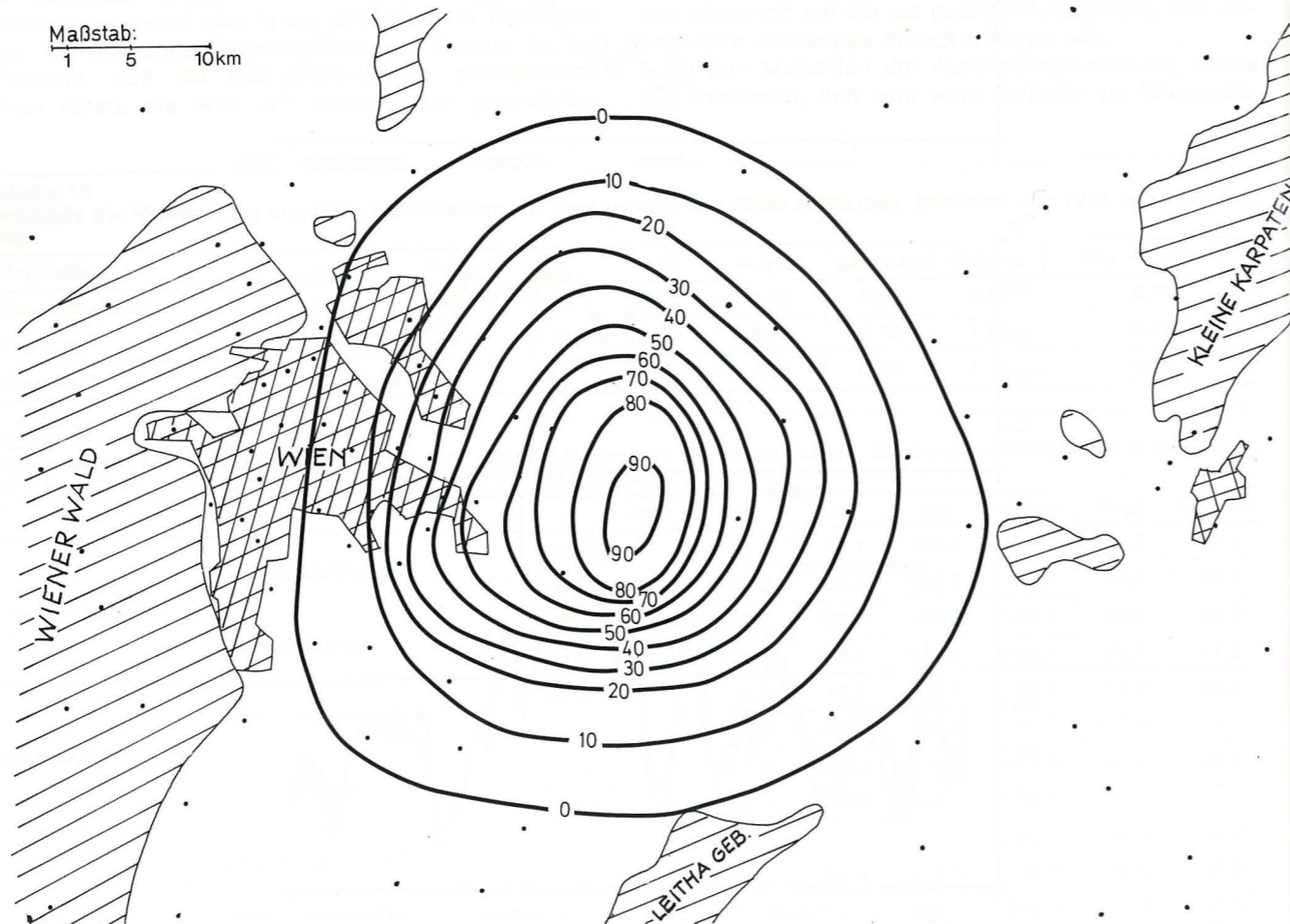


Abb. 18: Mittlere, jährlich durch die Stadt erzeugte Zusatzniederschlagssumme, Reihe 1947–1976, Isohyetenäquidistanz 10 mm/Jahr (aus (32)).

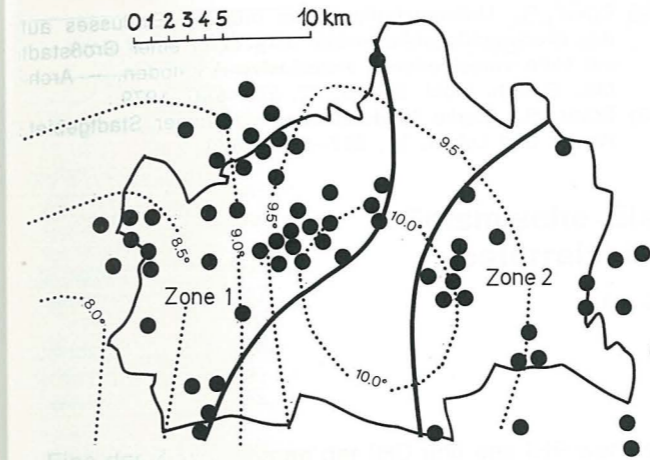


Abb. 19: Lage der Zentren der starken Niederschläge im Raum Wien (1965–1974). Aus (33).  
Zone 1: Stärkere Häufung in den Wienerwaldgebieten; Zone 2: Sekundäres Maximum im Leegebiet der Stadt. Punktiert = Temperaturjahresmittel, Isothermenäquidistanz 0,5°C.

Bezüglich der prozentuellen Niederschlagserhöhung scheint ein Trend zu bestehen, da der Zusatzniederschlag in den 30 untersuchten Jahren anscheinend signifikant um ca 40 % angestiegen ist.

Aus 28 Stationen des Wiener Niederschlagsnetzes wurden aus einer 10-jährigen Reihe alle Tage mit einer Niederschlagssumme von mindestens 30 mm ausgewählt. Es zeigte sich dabei, daß die Größe der Starkregenzellen (= Fläche innerhalb der 30 mm Isohyete) in Wien in 50 % aller Fälle weniger als 70 km<sup>2</sup> beträgt (33). Im östlichen Teil der Stadt ergaben sich Hinweise auf die schon in (32) angesprochene urban induzierte Niederschlagsverstärkung, wie aus Abb. 19 ersichtlich wird.

## Literatur

- 1) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Übersicht über die Ergebnisse aus den hydrometeorologischen Untersuchungen im Gebiet des Neusiedlersees im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade. – *Wetter und Leben*, **26**, 151–156, 1974.
- 2) NEUWIRTH, F.: Die Abhängigkeit der Verdunstung einer freien Wasserfläche (Neusiedler See) von meteorologischen Einzelwerten. – *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, **24**, 53–67, 1975.
- 3) NEUWIRTH, F.: Die Bestimmung der Verdunstung einer freien Wasserfläche aus längerfristigen Mittelwerten. – *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B*, **25**, 337–344, 1978.
- 4) NEUWIRTH, F.: Die Abschätzung der Verdunstung des Neusiedler Sees aus einfachen Klimawerten. – *Arch. Met. Geoph. Ser. A*, **29**, 373–386, 1980.
- 5) NEUWIRTH, F.: Experiences from the Estimation of Evaporation from a Shallow Lake. – In: *Hydrodynamics of Lakes. – Developments in Water and Science (Elsevier Scientific Publ. Co.)*, **11**, 313–323, 1979.
- 6) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Evaporation. – In: *Neusiedler See. The Limnology of a Shallow Lake in Central Europe (Hrsg. H. LÖFFLER)*. – *Monography of Biologicae*, Vol. **35**, 65–77, The Hague – Boston – London (W. Junk-Verlag) 1979.
- 7) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Water Balance. – In: *Neusiedler See. The Limnology of a Shallow Lake in Central Europe (Hrsg. H. LÖFFLER)*. – *Monography of Biologicae*, Vol. **35**, 79–84, The Hague – Boston – London (W. Junk-Verlag) 1979.
- 8) HANN, W.: Seespiegelschwankungen des Neusiedler Sees. – *Dissertation Universität Wien*, 1975.

- 9) Klimadaten des Neusiedlerseegebietes, I. Teil: Tabellen der Stundenwerte der Lufttemperatur, 1966–1970. – *Arbeiten aus der Zentralanstalt für Met. u. Geodyn.*, Heft **13**, Wien 1973.
- 10) Klimadaten des Neusiedlerseegebietes II. Teil: Tabellen der Stundenwerte der relativen Luftfeuchte, 1966–1970. – *Arbeiten aus der Zentralanstalt für Met. u. Geodyn.*, Heft **15**, Wien 1975.
- 11) NEUWIRTH, F.: Niederschlagsverhältnisse im Gebiet des Neusiedler Sees. – *Wetter und Leben*, **28**, 166–177, 1976.
- 12) STEINHAUSER, F.: Kleinklimatische Untersuchungen der Windverhältnisse am Neusiedler See. I. Teil: Die Windrichtungen. – *Idöjaras*, **74**, 76–88, 1970.
- 13) STEINHAUSER, F.: Kleinklimatische Untersuchungen der Windverhältnisse am Neusiedler See II. Teil. Die Windstärken. – *Idöjaras*, **74**, 324–365, 1970.
- 14) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Kleinräumige Unterschiede des Windfeldes im Südtel des Neusiedler Sees. – *Wetter und Leben*, **27**, 38–46, 1975.
- 15) WIHL, G.: Ein Beitrag zur Erfassung der Windverhältnisse im Gebiet des Neusiedler Sees. I. Teil: Perzentile der Windgeschwindigkeit. – *Wetter und Leben*, **27**, 47–62, 1975.
- 16) STEINHAUSER, F.: Der Jahres- und Tagesgang der Windgeschwindigkeit und die Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit von der Windrichtungen im Neusiedlerseegebiet. – *Sitzber. der Österr. Akad. d. Wiss., Math.-naturw. Klasse*, **191**, 381–419, 1982.
- 17) KOCH, E.: Der Strahlungshaushalt des Neusiedler Sees. – *Dissertation Universität Wien*, 1976.
- 18) DOBESCH, H.: Der Rauigkeitsparameter und die Dicke der Verdrängungsschicht für Wind über verschiedenen natürlichen Unterlagen. – *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, **25**, 125–130, 1976.
- 19) DOBESCH, H.: Das Bestandsklima im „Schiffsgürtel“ des Neusiedler Sees. – *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 1975, 173–176.
- 20) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Climatic Conditions. – In: *The Neusiedlersee. The Limnology of a Shallow Lake in Central Europe (Hrs. H. LÖFFLER)*. – *Monography of Biologicae*, Vol. **35**, 47–64, The Hague – Boston – London (W. Junk-Verlag) 1979.
- 21) HAMMER, N.: Ergebnisse von Registrierungen der Wassertemperatur im Neusiedler See unter Berücksichtigung der Beeinflussung durch meteorologische Faktoren. – *Dissertation Universität Wien*, 1976.
- 22) NEUWIRTH, F.: Abschätzung der mittleren monatlichen Ströme latenter und fühlbarer Wärme über Schnee. – *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A*, **26**, 213–228, 1977.
- 23) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Ergebnisse aus Wärmehaushaltmessungen über Schneedecken im Hochgebirge. – *Arbeiten aus der Zentralanstalt für Met. u. Geodyn.*, Heft **32**, 54/1–54/7, Wien 1978.
- 24) HOJESKY, H.: Thermisch bedingtes Verhalten der Donau im Bereich des Stauraums Wallsee-Mitterkirchen und seine möglichen Einflüsse auf die Uferzone. – *Dissertation Universität Wien*, 1982.
- 25) BÖHM, R., RUDEL, E. & ZIRM, K.: Das dreidimensionale Temperaturfeld im Staubereich eines Laufkraftwerks. – *Festschrift zum 75. Geburtstag von Univ. Prof. Dr. Ferdinand Steinhauser*, 21–30, Wien 1980.
- 26) NEUWIRTH, F.: Die Messungen der potentiellen Verdunstung mittels Verdunstungswannen in Österreich. – *Wetter und Leben*, **30**, 87–92, 1978.
- 27) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Über den Einfluß des Stausees eines Flußkraftwerks auf das Klima seiner Umgebung. – *Österreichische Wasserwirtschaft*, **29**, 153–157, 1977.
- 28) DOBESCH, H. & NEUWIRTH, F.: Die Beeinflussung des Klimas durch Stauseen. – In: *Die Auswirkung alpiner Speicherseen auf die Umwelt, Band 8C, Fachtagung III. PRO AQUA – PRO VITA*, 80, Basel.

- 29) DOBESCH, H.: On the Estimation of Energy Budgets in Stagnant Bodies of Water. — Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A, **29**, 362–372 1980.
- 30) DOBESCH, H.: Zur Berechnung der Temperatur natürlicher und künstlicher stehender Gewässer. — Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B, **28**, 331–337, 1980.
- 31) DOBESCH, H.: The Evaluation of Time-Constants of Stagnant Water Bodies by Correlation Functions. — Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A, **30**, 111–118, 1981.
- 32) BÖHM, R.: Untersuchungen des urbanen Einflusses auf das Niederschlagsfeld in der Umgebung einer Großstadt mit Hilfe verschiedener statistischer Methoden. — Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B, **27**, 225–246, 1979.
- 33) BÖHM, R.: Starke Niederschläge im Wiener Stadtgebiet, Wetter und Leben, **31**, 207–230, 1979.

## Seismische Eisdickenmessungen österreichischer Gletscher

Mit 2 Tabellen

Eine der Zielsetzungen der IHD und des IHP war es, ein Inventar der im Gletschereis der Alpen gespeicherten Wassermengen zu erarbeiten. Während im sogenannten „Gletscherkataster“ die topographischen Daten der österreichischen Gletscher zusammengestellt werden sollten, war es die Aufgabe des Projektes „Gletscherseismik“, die Eismächtigkeiten zu erfassen. Die-

ses Projekt wurde von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Zusammenarbeit mit dem Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien im Rahmen des österreichischen Programms der IHD und des IHP abgewickelt.

Als Meßmethode für die Eisdicken wurde die Refraktionsseismik ausgewählt, da sie von allen in Frage

Tabelle 1  
Untersuchte Gletscher, Einsatzjahr, Zahl der gemessenen Profile und Gesamtprofillänge.

| Jahr       | Gletscher                                    | Profilanzahl | Profillänge [km] |
|------------|--|--------------|------------------|
| 1966       | Vernagt Ferner, Ötztaler Gruppe (3)          |              | 0,2              |
| 1967       | Schladminger Gletscher, Dachsteingruppe (7)  | 3            | 1,654            |
| 1967, 1968 | Hallstätter Gletscher, Dachsteingruppe (7,8) | 6            | 3,645            |
| 1968       | Gosau Gletscher, Dachsteingruppe (8)         | 3            | 1,658            |
| 1969       | Gefrorene Wand Kees, Zillertaler Alpen (9)   | 6            | 5                |
| 1970       | Oberster Pasterzenboden, Glocknergruppe (10) | 3            | 3,3              |
| 1971, 1972 | Fleisa Kees, Goldberggruppe (11)             | 3            | 1,46             |
| 1971, 1972 | Goldberg Kees, Goldberggruppe (11)           | 6            | 2,77             |
| 1971, 1972 | Wurten Kees, Goldberggruppe (11)             | 3            | 1,07             |
| 1973, 1974 | Obersulzbach Kees, Venedigergruppe (12)      | 4            | 4,7              |
| 1973, 1974 | Untersulzbach Kees, Venedigergruppe (12)     | 3            | 2,9              |
| 1975       | Horn Kees, Zillertaler Alpen (13)            | 5            | 4,6              |
| 1976       | Daunkogel Ferner, Stubaieralpen (14)         | 4            | 2,2              |
| 1977       | Schlatten Kees, Venedigergruppe (14)         | 2            | 2,4              |
| 1978       | Vermunt Gletscher, Silvretta Gruppe (14)     | 6            | 2,7              |

Tabelle 2  
Größe der Fläche [km<sup>2</sup>], mittlere Eisdicke, größte gemessene Eisdicke und berechnetes Volumen der untersuchten Gletscher.

| Gletscher                  | Größe der Oberfläche [km <sup>2</sup> ] | Mittlere Eisdicke [m] | Größte, gemessene Eisdicke [m] | Berechnetes Eisvolumen [10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ] |
|----------------------------|---|-----------------------|--------------------------------|--|
| Schladminger Gletscher     | 0,9                                     | 9                     | 30                             | 8  |
| Hallstätter Gletscher      | 3,58                                    | 33                    | 92                             | 118  |
| Gosau Gletscher            | 1,3                                     | 29                    | 80                             | 38   |
| Gefrorene Wand Gletscher   | 4,2                                     | 20                    | 60                             | 85   |
| Oberster Pasterzenboden    |   | 16,4                  | 180                            | 386  |
| Kleines Fleiß Kees         | 1,18                                    | 12,4                  |                                | 14,6   |
| Goldberg Kees              | 1,34                                    | 12,5                  |                                | 16,7   |
| Wurten Kees                | 2,02                                    | 11,5                  |                                | 23,2   |
| Untersulzbach Kees         | 4,1                                     | 84                    |                                | 345  |
| Obersulzbach Kees          | 11,2                                    | 47                    |                                | 226  |
| Horn Kees                  | 3,0                                     | 47                    |                                | 141  |
| Daunkogel Ferner           | 1,47                                    | 35                    | 80                             | 51   |
| Schlatten Kees             | 9,28                                    | 41                    | 105                            | 378  |
| Vermunt Gletscher          | 2,39                                    | 10                    | 17                             | 25   |
| Schmiedinger Kees          | 1,6                                     | 25                    |                                | 41   |
| Großer Guslar Ferner       | 1,7                                     | 28                    |                                | 48   |
| Brandner Ferner            | 2,1                                     | 14                    |                                | 29   |
| Kesselwand Ferner          | 3,9                                     | 67                    |                                | 264  |
| Sulztal Ferner             | 4,6                                     | 48                    |                                | 220  |
| Hintereis Ferner           | 9,0                                     | 49                    |                                | 441  |
| Vernagt Ferner             | 9,3                                     | 61                    |                                | 567  |
| Gurgler Ferner             | 11,2                                    | 36                    |                                | 405  |
| Gepartsch Ferner           | 18,7                                    | 71                    |                                | 1339   |
| Gesamte Pasterze           |   |                       |                                | 1216   |
| Gesamtes Obersulzbach Kees |   |                       |                                | 525  |

kommenden Methoden am universellsten für die gegebene Fragestellung einsetzbar ist und bereits auf Erfahrungen anderer Institute zurückgegriffen werden konnte (1).

Während im Jahre 1966 am Vernagt Ferner noch Versuchsmessungen vorgenommen wurden (3), konnten ab 1967 bis 1978 systematische Untersuchungen, die für die Bestimmung der Eisvolumen ausreichenden Unterlagen liefern, vorgenommen werden. Bis 1972 wurde eine 12-spurige Apparatur benutzt, danach stand ein 24-spuriges Gerät zur Verfügung. Die Einsetzdauer betrug zumeist 4 Wochen im August. Aus den Seismogrammen sind Profilschnitte bestimmt worden, die als Grundlage für die Konstruktion von Karten des Gletscherbettes und der Eismächtigkeit gedient haben.

In der Tabelle 1 sind die Einsatzjahre, die untersuchten Gletscher und die gemessenen Profillängen zusammengestellt.

Da in den seltensten Fällen ein Gletscher zur Gänze seismisch vermessen werden kann und noch weniger auf allen Gletschern Vermessungen durchgeführt werden können, war es notwendig, Verfahren zu entwickeln, die eine Berechnung des Eisvolumens auf Grund von topographischen Angaben ermöglichen (4). Auf Grund der vorliegenden Messungsergebnisse und der Anwendung gletschermechanischer Modelle wurden Methoden zur Inter- und Extrapolation der gemessenen Eisdicken entwickelt, so daß eine Berechnung der Gesamtvolumen der Gletscher möglich wurde (5). Mit diesen Methoden wurden auch zum Teil die Ergebnisse anderer Autoren überarbeitet. Die Tabelle 2 liefert eine Zusammenstellung über das bisher aufgearbeitete Datenmaterial.

#### Publikationen

- 1) STEINHAUSER, P.: Seismische Untersuchungen zur Gletscherforschung in den österreichischen Alpen. 63. – 65. Jahresbericht des Sonnblickvereins für die Jahre 1965–1967, 51–72, Wien 1968.
- 2) STEINHAUSER, P.: Zur Bestimmung der Mächtigkeit der Ostalpenglletscher. – Österreichische Wasserwirtschaft, 22, Heft 11/12, 305–309, 1970

- 3) BRÜCKL, E. & STEINHAUSER, P.: Seismische Eisdickenmessung auf dem Vernagtferner. – Anzeiger der österr. Akad. d. Wiss., Math.-Naturw. Klasse, 266–273, 1967
- 4) BRÜCKL, E.: Eine Methode zur Volumbestimmung von Gletschern auf Grund der Plastizitätstheorie. – Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A, 19, 317–328, 1970.
- 5) BRÜCKL, E.: Zusammenhänge zwischen topographischen, elastischen und plastischen Größen von Gletschern. – Zs. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 8, 107–112, 1973.
- 6) STEINHAUSER, P.: Seismisch bestimmte Eigenschaften des Eises der Dachsteingletscher. – Zs. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, 10, 101–109, 1974.
- 7) BRÜCKL, E., GANGL, G. & STEINHAUSER, P.: Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Dachstein im Jahre 1967. – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn., Heft 4, 1969.
- 8) BRÜCKL, E., GANGL, G. & STEINHAUSER, P.: Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Dachstein im Jahre 1968. – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn., Heft 9, 1971.
- 9) BRÜCKL, E., GANGL, G.: Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Gefrorene Wand Kees im Jahre 1969. – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn., Heft 10, 1972
- 10) BITTMANN, O., BRÜCKL, E., GANGL, G. & WALLNER, F. J.: Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Obersten Pasterzenboden (Glocknergruppe) im Jahre 1970. – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn., Heft 11, 1973.
- 11) BRÜCKL, E. & BITTMANN, O.: Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen im Bereich der Goldberggruppe (Hohe Tauern) in den Jahren 1971 und 1972. – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. und Geodyn., Heft 25, 1977.
- 12) BRÜCKL, E., GANGL, G., SEIBERL, W. & GNAM, Ch.: Seismische Eisdickenmessungen auf dem Ober- und Untersulzbachkees in den Sommern der Jahre 1973 und 1974. – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn., Heft 45, 1980.
- 13) BRÜCKL, E. & ARIC, K.: Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Hornkees in den Zillertaler Alpen im Jahre 1975. – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn., Heft 51, 1981.
- 14) ARIC, K., & BRÜCKL, E.: Ergebnisse der seismischen Eisdickenmessungen im Gebiet der Stubai Alpen (Daunkogel Ferner, 1976), der Venedigergruppe (Schlaten Kees, 1977, und Untersulzbach Kees, 1979) und der Silvretta Gruppe (Vermunt Gletscher, 1978). – Arbeiten aus der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn., im Druck.

## Österreichischer Beitrag zur internationalen „Hydrologischen Monographie der Donau“ 1977–1980

Die „Hydrologische Monographie der Donau“ ist ein Gemeinschaftsprojekt sämtlicher Donauanliegerstaaten im IHP. Es ist die Herausgabe eines zweibändigen Werkes über die Hydrologie und Wasserwirtschaft des Donaueinzugsgebietes vorgesehen. Der erste Band umfaßt folgende Kapitel:

- Allgemeine Charakteristika des Einzugsgebietes
  - Geologie
  - Klima
  - Wasserwirtschaftliche Bedeutung
  - Gewässerschutz
  - Beobachtungen und Messungen.
- Abflußregimecharakteristika
  - Entwicklung und Stand der wasserbaulichen Arbeiten
  - Charakteristische Werte über Wasserstände und Abflüsse
  - Maximale, minimale und mittlere Abflüsse
- Wasserbilanz des Einzugsgebietes
  - Mittlere langjährige Wasserbilanz für den Zeitschnitt 1931–1970, aufgegliedert nach einzelnen Teileinzugsgebieten
  - Nationale Bilanzen
  - Kartendarstellungen von Niederschlag, Abfluß und Verdunstung

Die Bearbeitung des österreichischen Anteils am Donaueinzugsgebiet erfolgt in Zusammenarbeit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik mit

dem Hydrographischen Zentralbüro und dem Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Wien.

Die Veröffentlichung der Ergebnisse der ersten beiden Kapitel erfolgte in Form eines Forschungsberichtes (1) (2). Die Arbeiten zum dritten Kapitel liegen in Form eines Berichtes an die Koordinatoren der Monographie als Unikat vor (3).

Zur Durchführung der Arbeiten waren entsprechende Kontakte mit den zuständigen ausländischen Stellen erforderlich. Es wurden zwei Expertensitzungen mit Teilnahme sämtlicher Donauanliegerstaaten abgehalten (Belgrad 1978 und Bratislava 1980) sowie bilaterale Kontakte mit den Nachbarländern zur Abstimmung der Bearbeitung an den Staatsgrenzen durchgeführt.

#### Literatur

- 1) BEHR, O., & REITINGER, J.: Charakteristika des Einzugsgebietes der Donau in Österreich. – Forschungsbericht Nr. 2 des Institutes für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien, 1978.
- 2) NEUWIRTH, F.: Klimatische Charakteristik des Einzugsgebietes der Donau in Österreich. – In den Kapiteln I und II der Hydrologischen Monographie der Donau. Wien 1978.
- 3) BEHR, O., & REITINGER, J.: Langjährige Wasserbilanz des österreichischen Einzugsgebietes der Donau. – Österreichischer Beitrag zum Kapitel III der Hydrologischen Monographie der Donau. Wien 1979.

## Arbeiten des Institutes für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Wien im IHP 1975–1980

### 1. Projekt: Grundwasserhaushaltsmodelle

#### Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Einleitung  | 30 |
| 2. Zielsetzung des Projekts  | 30 |
| 3. Arbeiten im Südlichen Wiener Becken   | 31 |
| 3.1. Beobachtung und Auswertung hydrologischer Elemente                            | 31 |
| 3.1.1. Beobachtungen in der hydrologischen Forschungsstation Mitterndorf/Fischa    | 31 |
| 3.1.2. Grundwasserbeobachtungen  | 31 |
| 3.1.3. Niederschlagsbeobachtungen  | 31 |
| 3.1.4. Durchführung von Abflußmessungen  | 31 |
| 3.1.5. Durchführung von Tritiummessungen   | 31 |
| 3.1.6. Durchführung von Bodenfeuchtemessungen                                      | 32 |
| 3.2. Erstellung des Wasserhaushaltsmodells   | 32 |
| 3.2.1. Datenspeicherung und Datenorganisation                                      | 32 |
| 3.2.2. Methoden zur rechnerischen Behandlung von Grundwasserleitern                | 32 |
| 4. Arbeiten im Marchfeld   | 34 |
| 4.1. Durchführung hydrologischer Beobachtungen sowie Ausbau des Beobachtungsnetzes | 34 |
| 4.2. Sammlung und Auswertung von Daten   | 34 |
| Literatur  | 34 |

### 1. Einleitung

In den letzten Jahren ergeben sich zunehmend Schwierigkeiten in den Grundwassergebieten im Umfeld von Ballungsräumen. Dies gilt in Österreich in besonderem Maße für das südliche Wiener Becken und für das Marchfeld. Die großen Probleme in den genannten Grundwassergebieten beruhen u.a. auf den vielfältigen Nutzungen für Industrie, Landwirtschaft und kommunale Wasserversorgung. Weitere quantitative Einbußen entstehen durch die Verringerung von Versickerungen aus den Flüssen und Bächen in der Folge von Regulierungsmaßnahmen, durch Umleitungen der Gewässer sowie durch Verschlechterung der Wassergüte dieser Gewässer.

Als Folge all dieser Maßnahmen zeigt sich in den letzten Jahren ein stets deutlicher werdendes Absinken des Grundwasserspiegels in Teilen des Südlichen Wiener Beckens und im Marchfeld. Wenn sich keine Trendumkehr dieses Vorgangs erzielen läßt, muß es früher oder später zu einer bedrohlichen Situation in der Beckenlandschaft um Wien kommen. Überdies ist durch die zahlreichen Ablagerungen von Abfällen neben der quantitativen auch eine qualitative Bedrohung der Grundwasservorkommen gegeben.

### 2. Zielsetzung des Projekts

Die Zielsetzung des Projekts liegt in der Untersuchung des langjährigen Grundwasserhaushalts in aus-

gedehnten Grundwassergebieten. Auf Grund des Einblicks in das Grundwassergeschehen sollen Möglichkeiten der Sanierung, geregelten Verbesserung und Bewirtschaftung untersucht werden.

Konkret besteht das Ziel des Projekts darin, praktisch anwendbare quantitative Grundwassermodelle für die Grundwassergebiete

- Südliches Wiener Becken (Flächenausdehnung ca. 1000 km<sup>2</sup>)
- Marchfeld (Flächenausdehnung ca. 1100 km<sup>2</sup> und später auch für das
- Tullner Feld (Flächenausdehnung ca. 500 km<sup>2</sup> zu erstellen.

Die Aufgabe dieser Modelle besteht in der Beschreibung der natürlichen Einflüsse (Flußversickerungen, Zutritt aus dem Grundwasser zu den Oberflächengewässern, Niederschlag) und künstlichen Einflüsse (z.B. Grundwasserentnahmen) auf den Grundwasserhaushalt. Des weiteren sollen diese Modelle die Möglichkeiten geben, in den genannten, wasserwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten konkrete Aussagen über die quantitativen Auswirkungen von Maßnahmen, die in den Wasserhaushalt eingreifen, vornehmen zu können.

Die Arbeiten umfassen sowohl die Erstellung der theoretischen Grundlagen und ihre rechentechnische Implementierung, als auch ihre praktische Anwendung. Hinsichtlich der benötigten Daten werden in erster Linie die vom Hydrographischen Dienst auf Datenträgern zur Verfügung gestellten Beobachtungsergebnisse verwen-

det. Teilweise erfolgen jedoch auch eigene ergänzende Beobachtungen und Auswertungen.

### 3. Arbeiten im Südlichen Wiener Becken

Die Arbeiten wurden bereits während der IHD begonnen und im Rahmen des IHP fortgesetzt.

#### 3.1. Beobachtung und Auswertung hydrologischer Elemente

##### 3.1.1. Beobachtungen in der hydrologischen Forschungsstation Mitterndorf/Fischa

In der Forschungsstation werden laufend 17 Beobachtungselemente erfaßt, die der Erkundung des Zusammenhanges Niederschlag – Grundwassererneuerung – Verdunstung dienen.

Im einzelnen sind dies nachstehende Beobachtungselemente:

- Lufttemperatur in 2,0 m über Gelände
- Luftfeuchte in 2,0 m über Gelände
- Bodentemperatur in 0,1 m unter Gelände
- Bodentemperatur in 0,2 m unter Gelände
- Niederschlagshöhe in 1,2 m über Gelände
- Grundwasserstand

Diese sechs Elemente werden schreibend aufgezeichnet, während die Erhebung aller übrigen nachstehend angeführten Größen einmal wöchentlich erfolgt:

- Niederschlag (2 Meßgeräte in 0,2 m bzw. 1 Meßgerät in 1,2 m über Gelände)
- Boden- bzw. Grundwassertemperaturen in den Tiefen 0,5 m – 1,0 m – 2,0 m – 8,0 m – 20,0 m – 38,0 m – 59,0 m – 110,0 m und 128,0 m

Außerdem sind in dieser Station spezielle, in den Boden gerammte Rohre vorhanden, die der Feuchtemessung dienen.

Bezüglich des Niederschlagschreibergerätes ist anzumerken, daß seit Juli 1981 ein neues Gerät als Ersatz für den alten Schreiber in der Station aufgestellt ist. Dieses Gerät beruht auf dem Prinzip der Wippe und die bisher gemachten Erfahrungen sind sehr zufriedenstellend. Der wesentliche Teil der in der Forschungsstation erhobenen Daten sind in (6) veröffentlicht. Für einen Teil der Meßwerte erfolgte eine rechnerische Auswertung. Diese Bearbeitung zeigte sehr deutlich auf, wie komplex der Zusammenhang zwischen der Niederschlagsverteilung auf der einen Seite und der Grundwasserstandsänderung auf der anderen Seite ist.

##### 3.1.2. Grundwasserbeobachtungen

Mehrere mit Schreibgeräten ausgestattete Grundwassermeßstellen wurden betreut und die Beobachtungen laufend ausgewertet. Mit Hilfe dieser Stationen ist eine Kontrolle über die Grundwasseranreicherung im Hauptnährgebiet des Südlichen Wiener Beckens möglich. Der Hauptzweck der in diesen Meßstellen erhobenen Daten liegt aber insbesondere in der ständigen Erarbeitung des großräumigen und langzeitlichen Ganges des Grundwasserstandes. Dadurch können Veränderungen

verhältnismäßig rasch erfaßt und für die wasserwirtschaftlichen Belange im Südlichen Wiener Becken kurzfristig herangezogen werden.

Selbstverständlich werden die gewonnenen Daten auch dem Hydrologischen Dienst von Österreich laufend übermittelt.

Eine Spezialaufgabe erfüllt das bei Eggendorf nahe der Fischa-Dagnitz-Quelle abgeteufte Grundwassersondenpaar: während die mit einem Kiesmantel umgebene Sonde für die genaue Messung des Grundwasserspiegels dient, ist die zweite knapp daneben liegende Sonde speziell für die Messung der Bodenfeuchte ausgebaut.

##### 3.1.3. Niederschlagsbeobachtungen

In Zusammenarbeit mit der geophysikalischen Kommission und dem Hydrographischen Dienst konnten zwei neue Niederschlagsschreibstationen im Südlichen Wiener Becken eingerichtet werden, wodurch die Erfassung der Niederschlagsverteilung verbessert werden konnte. Die Betreuung dieser Stationen erfolgt durch den Hydrographischen Dienst.

##### 3.1.4. Durchführung von Abflußmessungen

An insgesamt acht Meßstellen im System der Warmen Fischa werden seit einigen Jahren jährlich einige Abflußmessungen durchgeführt und ausgewertet. Dieses Gewässersystem spielt eine wesentliche Rolle im hydrologischen Geschehen des Südlichen Wiener Beckens. Zum Teil charakterisieren diese Fließgewässer die Zuströmung von Oberflächenwasser aus dem Südwesten in die Beckenlandschaft, zum Teil zeigen sie die Grundwasseraustritte aus der Mitterndorfer Senke auf. Insbesondere letztere Größe ist ein ganz wesentliches Merkmal für das Grundwasservorkommen Mitterndorfer Senke.

Ferner wurde eine Meßserie von simultanen Abflußmessungen im Gewässersystem der Piesting durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen ständige Flußversickerungen in der Größenordnung von etwa 1 m<sup>3</sup>/s. Dies stellt einen beträchtlichen Anteil am gesamten unterirdischen Durchfluß der Mitterndorfer Senke dar. Damit konnte der Nachweis erbracht werden, daß die Piesting ein wesentliches Element für das Grundwasservorkommen Mitterndorfer Senke darstellt und somit etwaige flußbauliche Maßnahmen an der Piesting nur mit äußerster Vorsicht vorgenommen werden dürfen. In einem konkreten Fall wurde auf diese Erkenntnis bereits Rücksicht genommen.

##### 3.1.5. Durchführung von Tritiummessungen

Die Erhebung von Tritiumdaten wurde nach Vorliegen einer etwa 10-jährigen Beobachtungsreihe bereits abgeschlossen. Die Ergebnisse brachten zusätzliche Information über die Grundwasserdynamik im Südlichen Wiener Becken. Insbesondere bewiesen jedoch diese Messungen erneut die äußerst gute Eignung der Messung des Tritiumgehalts für spezielle hydrologisch-wasserwirtschaftliche Untersuchungen. Leider zeigten die Untersuchungen aber auch, daß nur durch ein längerandauerndes umfangreiches Meßprogramm verlässliche Aussagen zu erzielen sind. Dadurch stellt die Kostenfrage einen begrenzenden Faktor für den Einsatz von Tritiumuntersuchungen bei solchen Aufgaben dar.



### 3.1.6. Durchführung von Bodenfeuchtemessungen

Die Bedeutung der ungesättigten Bodenzone für den gesamten Wasserhaushalt und insbesondere ihre Schutzfunktion für die Grundwasservorkommen ließen schon vor längerer Zeit die unbedingte Notwendigkeit der Erforschung der Wasserbewegung und des Stofftransportes unter ungesättigten Bedingungen erkennen.

Angesichts der grundsätzlichen Schwierigkeiten der praktisch nicht unmittelbar beobachtbaren Vorgänge im Boden entschloß sich das Institut bereits vor etlichen Jahren, eine Neutronentiefensonde anzuschaffen.

Durch den Einsatz der Neutronentiefensonde besteht die Möglichkeit, die Wasserbewegung in Böden unter den natürlichen Lagerungsverhältnissen selbst bis in größere Tiefen zu beobachten und dadurch an Ort und Stelle Aussagen über den Bodenwasserhaushalt zu erhalten.

Die bisher mit der Neutronentiefensonde vorwiegend im Südlichen Wiener Becken vorgenommenen Untersuchungen lassen sich in zwei Abschnitte teilen.

Im ersten Abschnitt ging es um den prinzipiellen Nachweis der Einsatzmöglichkeiten einer solchen Sonde und um die Erarbeitung der erforderlichen Eichverfahren. Dieser erste Arbeitsabschnitt fand seinen Abschluß in einer zugehörigen Veröffentlichung (3).

Im zweiten Abschnitt des Einsatzes der Sonde stand bereits die Erzielung konkreter Ergebnisse über den Wasserhaushalt in der ungesättigten Bodenzone im Vordergrund. Die verschiedenen Feldmessungen, Feldexperimente und theoretische Untersuchungen führten schließlich zu der Arbeit (12).

Die zugehörigen Felduntersuchungen wurden an zwei Meßstellen im Bereich der Mitterndorfer Senke (Südliches Wiener Becken) durchgeführt. Die Flurabstände in den genannten Meßstellen betragen acht bzw. vierzehn Meter.

Die Meßergebnisse unter den natürlichen Bedingungen zeigten den konkreten Einfluß des Niederschlages bzw. der Verdunstung auf den Gang des Bodenwassergehaltes. Mit Ausnahme von sehr niederschlagsreichen Abschnitten im Winterhalbjahr war der Einfluß der Niederschläge erwartungsgemäß nur im obersten Bodenbereich beobachtbar.

Bedingt durch die nahezu semiariden klimatischen Verhältnisse ist die jährliche niederschlagsbedingte Grundwasserneubildung eher gering und weist – wie auch andere Wasserhaushaltsuntersuchungen ergaben – eine Größe bis nur 100 mm auf.

Durch die Untersuchungen des Versickerungsvorganges unter künstlichen Niederschlagsbedingungen (Beregnungsversuche) konnten für ein geschichtetes Bodenprofil Aussagen über die Abhängigkeit der Versickerungstiefe von der Beregnungshöhe und von der Zeit ab Beregnungsbeginn gemacht werden. Weiters erbrachten die Versuchsergebnisse – ausgewertet in Form von Bodenwassergehaltsprofilen und Bodenwassergehaltsganglinien in ausgewählten Tiefen – Aufschluß über den zeitlichen Verlauf des Versickerungsvorganges bei verschiedenen Beregnungshöhen.

## 3.2. Erstellung des Wasserhaushaltmodells

### 3.2.1. Datenspeicherung und Datenorganisation

Die Erstellung und Handhabung eines Wasserwirtschaftsmodells setzt die Verwendung großer Daten-

mengen voraus. Es war daher unbedingt notwendig, ein Konzept für elektronische Datenspeicherung von Niederschlags-, Abfluß- und Grundwasserdaten zu erarbeiten und schließlich zu realisieren. Im Rahmen dieser benutzerorientierten Datenbank können die Daten des Hydrographischen Dienstes direkt auf einem elektronischen Datenträger übernommen und weiterverarbeitet werden, sodaß die zeit- und arbeitsaufwendige Erhebung dieser Daten entfällt. Es soll hier ausdrücklich betont werden, daß die Bereitstellung hydrologischer Daten auf Datenträgern seitens des Hydrographischen Dienstes eine wesentliche Erleichterung für die Gesamtbearbeitung bedeutet.

Im einzelnen wurden folgende Dateien erstellt:

- Grundwasserdatei  
Diese Datei umfaßt die Grundwasserbeobachtungen des Hydrographischen Dienstes der Jahre 1966 – 1979. Ein Großteil der Daten wurde direkt vom Hydrographischen Dienst übernommen, ein kleinerer Teil mußte erst abgelocht, kontrolliert und schließlich dem elektronischen Datenbestand einverleibt werden.
- Niederschlagsdatei  
Die Daten umfassen tägliche Niederschlagshöhen, Schneehöhen und Neuschneehöhen der Jahre 1971 – 1976. Auch diese Daten wurden direkt vom Hydrographischen Dienst übernommen.
- Programmbibliothek  
Alle bisher im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade bzw. des Internationalen Hydrologischen Programms entwickelten Computerprogramme wurden in einer einheitlichen, direkt abrufbaren Programmbibliothek zusammengefaßt. Neben gewissen Standardaufgaben der quantitativen Hydrologie können insbesondere folgende Aufgaben gelöst werden:
  - + Interpolation von Grundwasserganglinien
  - + Berechnung gespeicherter Grundwasservolumina und Gefälle aus Sondenmeßwerten.
  - + Eichung linearer großräumiger Grundwassermodelle und Prognose künftiger Grundwasserverhältnisse mittels dieser Modelle.
  - + Eichung und Prognose von Grundwasserverhältnissen im Rahmen detaillierter Finite-Elemente-Modelle.Die Programme sind ausführlich getestet und dokumentiert und stehen auf Magnetband gespeichert zur Verfügung.

### 3.2.2. Methoden zur rechnerischen Behandlung von Grundwasserleitern

Die bereits in IHD begonnene Arbeit „Methoden zur rechnerischen Behandlung von Grundwasserleitern“ wurde fertiggestellt und veröffentlicht (1). Diese ca. 160 Seiten umfassende Publikation behandelt die Methodik zur Berechnung von Grundwasserproblemen im Rahmen von Finite-Elemente-Modellen und gliedert sich in zwei Teile.

Die Arbeiten des ersten, vornehmlich den Grundlagen gewidmeten Abschnittes waren vorerst auf die Frage ausgerichtet, ob sich aus Grundwasserspiegelmessungen allein die wesentlichen Parameter von Grundwasserfeldern ableiten lassen. Es zeigte sich jedoch bald, daß dies zwar theoretisch möglich, praktisch aber kaum erfolgversprechend ist. Die Fragestellung konzentrierte

sich daraufhin auf Verfahren, die eine rechnerische Verbesserung näherungsweise bekannter Grundwasserparameter zum Ziele haben. Dazu wurden entsprechende Verfahren entwickelt und in EDV-Programmen der praktischen Anwendung zugänglich gemacht.

Im einzelnen erbrachte der 1. Teil die nachstehenden Ergebnisse:

- 1) Erstellung eines EDV-Programmes, das im Wege der Interpolation oder Ausgleichung aus einzelnen Sondermeßwerten die Ganglinie für die betreffenden Sonden ermittelt und numerisch und graphisch aus gibt.
- 2) Entwicklung eines Verfahrens, daß die Ermittlung einer genäherten Spiegellage in den Punkten eines Quadratgitters auf Grund von Sondenmessungen erlaubt.  
Das zugehörige EDV-Programm liefert diese Spiegellage nicht nur numerisch sondern auch graphisch in Form eines Schichtenplanes. Erarbeitung eines EDV-Programmes, mit dessen Hilfe bei bekannten Eigenschaften des Grundwasserleiters (Stauerlage, Durchlässigkeit) Spiegellagen aus vorgegebenen Randwerten berechnet werden können.
- 3) Angabe eines Verfahrens, daß es bei bekannter Spiegellage gestattet, eine Nährungsverteilung des Transportvermögens zu verbessern. Ein EDV-Programm für diesen Zweck wurde erstellt.

Im zweiten Abschnitt sind die mit den entwickelten Rechenmethoden gewonnenen Erfahrungen dargestellt. Auf Grund der Ergebnisse des ersten Abschnittes sowie im Zuge der praktischen Anwendung ergaben sich mehrere neue Fragestellungen, die entsprechende Berücksichtigung fanden. Damit waren auch in diesem Abschnitt gewisse theoretische Überlegungen bzw. die Darstellung weiterer Verfahren erforderlich.

Aufbauend auf den 1. Teil konnten folgende praktische Aufgaben, z.T. an Hand konkreter Beispiele, behandelt werden:

- Rechnerische Ermittlung von Grundwasserspiegellagen aus Sondenbeobachtungen: Dabei erfolgte die Diskussion einer Reihe von Aufgaben, deren Lösung mit Hilfe des automatischen Spiegelausgleichs auf Grund der praktischen Erfahrungen sinnvoll erscheint.
- Prognose von Grundwasserverhältnissen: Es ließen sich ergänzende Aussagen über die Genauigkeit von Grundwasserspiegelprognosen ableiten. Eine Methode zur Prognose von Grundwasserstromlinien wurde entwickelt und ebenfalls an einem praktischen Beispiel demonstriert. Zum Vergleich unterschiedlicher Prognoseverfahren erfolgte die Testung eines aus der Literatur übernommenen Prognosenprogramms.
- Bestimmung von Transportvermögen und Durchlässigkeit aus dem Spiegellagenverlauf: Es wurde die Frage untersucht, inwieweit sich das Transportvermögen bei näherungsweise bekannter Grundwassermächtigkeit aus dem Spiegelverlauf gewinnen läßt. Es zeigte sich dabei, daß bei der Behandlung als Ausgleichsproblem diese Berechnungsart nicht nur im theoretischen Fall, sondern auch bei praktischen Anwendungen einen einigermaßen befriedigenden Erfolg bringt.
- Methoden der Eichung von Grundwassermodellen: Die Vor- und Nachteile der Methode der iterativen Verbesserung von Nährungsverteilungen

des Transportvermögens konnten auf Grund praktischer Erfahrungen abgeschätzt werden. Es erfolgte eine zusammenfassende Darstellung weiterer Möglichkeiten zur Parameteridentifikation.

- Finite-Elemente-Modell für den Neunkirchner Schotterkegel: Auf Grundlage der Ergebnisse eines summarisch-quantitativen Grundwassermodells erfolgte die Eichung eines Finite-Elemente-Modells. Dabei gelangten verschiedene Methoden zur Anwendung. Mit einer rekursiven Eichprozedur, die von bekannten Randdurchflüssen ausgeht, ließen sich Verteilungen von Transportvermögen und Durchlässigkeit ermitteln, welche genau zu der vorgegebenen Spiegellage passen und die gemessenen bzw. geschätzten Randdurchflüsse in befriedigender Weise nachbilden.
- Erstellung von Grundwasserspeichermodellen: Für das Gebiet zwischen Wr. Neustadt und Neunkirchen („Neunkirchner Schotterkegel“) wurde parallel zu den oben angeführten Arbeiten ein quantitatives Grundwasserspeichermodell erstellt (2). Dieses Modell erlaubt die Simulation des hydrologischen Geschehens auf Basis von Monatsabschnitten, wobei die Modellvorstellung darin besteht, ein geeignet abgegrenztes Grundwassergebiet als Speicher zu betrachten. Dieser kann in völliger Analogie zu einem Oberflächenspeicher gesehen werden. Der Zufluß zum Speicher kann ein unterirdischer Zufluß, Versickerung aus Oberflächengewässern oder Einsickerung des Niederschlags sein. Das Speichervolumen ist das für die Grundwasserdurchströmung zur Verfügung stehende Porenvolumen des Bodens. Der Abfluß aus dem Speicher kann ein unterirdischer Abfluß, ein Grundwasseraustritt in Oberflächengewässer, ein durch Evapotranspiration bedingter Wasserentzug oder eine überörtliche Entnahme aus dem Grundwasser sein. Das erstellte Grundwasserspeichermodell erlaubt es, aus dem Verlauf der Zuflüsse zum Speicher den Verlauf des Speicherinhalts und der Abflüsse aus dem Speicher näherungsweise zu ermitteln. Das Modell besitzt einen relativ einfachen mathematischen Aufbau. Die Modellerstellung und Eichung setzt lediglich gewisse Grundkenntnisse der Regressionsrechnung und der Zeitreihenanalyse voraus. Der Umfang der Berechnungen – insbesondere bei der Ermittlung der Speicherinhalte und der Grundwasserspiegelgefällswerte aus Grundwassersondenmessungen – ist jedoch sehr erheblich und ohne Zuhilfenahme elektronischer Rechenanlagen praktisch nicht zu bewältigen. Die Möglichkeiten, die durch das Speichermodell eröffnet werden, bestehen vor allem darin, daß den Grundwasserhaushalt verändernde Maßnahmen simuliert und deren Auswirkungen studiert werden können. Somit ist die Möglichkeit gegeben, Grundlagen für eine planvolle Bewirtschaftung von Grundwasservorkommen zu erarbeiten.
- Rechenalgorithmen für ein umfassendes quantitatives Grundwassermodell: Um ein ganzes Südliches Wiener Becken umfassendes Grundwassermodell erstellen zu können, müssen die in Teilbereichen erfolgten Einzelbearbeitungen mittels einer entsprechenden „Rechenvorschrift“ zu einem komplexen Ganzen zusammengefügt werden. Dafür wurde ein Rechenprogramm erstellt (11).

Mit Hilfe des genannten Rechenprogramms kann unter Zugrundelegung verschiedener Annahmen über die maßgebenden Randbedingungen (wie z.B. Niederschlag, Grundwasserentnahmen, Versickerungsfähigkeit der Oberflächengewässer) das Grundwassergeschehen quantitativ simuliert werden. Damit ist es möglich, die voraussichtliche längerfristige Entwicklung des Grundwassergeschehens auf Grund von Eingriffen in die natürlichen Kreisläufe zu prognostizieren.

- Modell für die Grundwasserneubildung aus dem örtlichen Niederschlag: Die Grundwasserneubildung aus dem örtlichen Niederschlag ist eine wichtige Eingangsgröße in das Wasserwirtschaftsmodell für das Südliche Wiener Becken. Für diesen Fragenkomplex wurde eine Modellvorstellung entwickelt, die in einem allgemein anwendbaren Computerprogramm niedergelegt wurde. Unter Zugrundelegung eines Rasternetzes wird dabei die Grundwasserneubildung für jedes Rasterelement ermittelt und anschließend summiert. Die Berechnung erfolgt jeweils für Monatsabschnitte. Das Gesamtmodell besteht aus zwei Teilmodellen. Das erste Teilmodell hat die Ermittlung der monatlichen Infiltration in den Boden zum Inhalt. Eingangsgröße ist der Niederschlag, Parameterwerte sind Temperatur und Bewuchs der Bodenoberfläche. Das zweite Teilmodell dient zur Nachbildung des Bewegungsablaufs in der ungesättigten Bodenzone und damit der Bestimmung der von der ungesättigten Bodenzone in das Grundwasser abgegebenen Wassermenge. Für das erste Teilmodell wurde eine Eichung des Zusammenhanges zwischen Niederschlag, Temperatur und Verdunstung vorgenommen. Für das zweite Teilmodell konnte ein für bindige Böden gültiger empirischer Ansatz für die Sickergeschwindigkeit im Boden auf seine Anwendbarkeit auf die im Untersuchungsgebiet anstehenden Schotterböden untersucht werden. Experimentelle Laboruntersuchungen erwiesen die Gültigkeit des Ansatzes auch für Schotterböden.

#### 4. Arbeiten im Marchfeld

Die Arbeiten betreffend das Marchfeld wurden im Jahre 1978 begonnen. Sie konzentrierten sich bisher auf Erhebung und Sammlung grundlegender Daten sowie auf die Untersuchung des Trendverhaltens des Grundwasserspiegels.

##### 4.1. Durchführung hydrologischer Beobachtungen sowie Ausbau des Beobachtungsnetzes

- Durchführung von Abflußmessungen: An den Gewässern Rußbach, Stempfelbach und Weidenbach wurden simultane Abflußmessungen durchgeführt. Die bisherigen ersten Meßergebnisse zeigen Grundwasseraustritte, die für die Erfassung des hydrologischen Geschehens von Wichtigkeit sind.
- Konzept für Grundwasserbeobachtungen: Die bisherigen Bearbeitungen zeigen deutlich, daß das vorhandene Grundwasserbeobachtungsnetz für

eingehende hydrologische Bearbeitungen nicht ausreichend ist. Es wurde daher ein Konzept für die Intensivierung des Grundwasserbeobachtungsnetzes ausgearbeitet.

#### 4.2. Sammlung und Auswertung von Daten

- Klassifikation der Grundwasserstände: Als Vorarbeit für die Untersuchung des Trendverhaltens des Grundwasserspiegels wurden die jährlichen mittleren, minimalen und maximalen Grundwasserstände einer etwa 10-jährigen Reihe in allen Beobachtungsstationen untersucht. Die relative Klassifikation der Grundwasserstände in der Jahresreihe zeigt eine beträchtliche Tendenz zum Absinken des Grundwasserspiegels auf.
- Bearbeitung der Geologie: Die für Grundwasserbearbeitungen maßgebende Lage der undurchlässigen Schicht des Untergrund (Grundwasserstauer) wurde aus vorhandenen Unterlagen neu bearbeitet und die Stauerhöhe in einem Rechnernetz herausgelesen.
- Erstellung charakteristischer Grundwasserschichtenpläne: Nach Fertigstellung eines Lageplanes sämtlicher Grundwasserbeobachtungsstellen erfolgte die Erstellung von Grundwasserschichtenplänen für zwei charakteristische Zeitpunkte. Anschließend daran wurde mit Hilfe der Stauerhöhen ein Lageplan der Grundwassermächtigkeit erstellt.
- Untersuchung der landwirtschaftlichen Bewässerung: Die Größe der landwirtschaftlichen Bewässerung wurde auf Grund von örtlichen Erhebungen und der Abschätzung des Wasserbedarfes der im Marchfeld gebauten Kulturarten für die letzten Jahre näherungsweise ermittelt (4).

#### Literatur

- 1) BARON, W., HEINDL, W., BEHR, O. & REITINGER, J.: Methoden zur rechnerischen Behandlung von Grundwasserleitern. – Wr. Mitteilungen, **23**, Wien 1977.
- 2) BEHR, O.: Grundwassermodelle und ihre Anwendung am Beispiel des Neunkirchner Schotterkegels. – GWF, **117**(1976), H. 3.
- 3) BEHR, O., MÜLLER, W. & REITINGER, J.: Praktische Aspekte und Ergebnisse der Bodenfeuchtemessung mittels Neutronen-sonde. – ÖWW, **28**(1976), H. 7/8.
- 4) BEHR, O., REITINGER, J. et al.: Die landwirtschaftliche Bewässerung im Marchfeld. – Forschungsbericht Nr. 5 des Instituts für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien 1984.
- 5) BEHR, O.: Experimentelle Untersuchung und rechnerische Simulation des Sickervorgangs in nichtbindigen Böden. – Wiener Mitteilungen, **30**, Wien 1979.
- 6) HAIDINGER, G. & REITINGER, J.: Hydrologische Forschungsstation Mitterndorf an der Fische, Zusammenstellung der Beobachtungsdaten. – Forschungsbericht Nr. 3 des Instituts für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien, 1978.
- 7) HAIDINGER, G.: Bericht über die Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen in der Hydrologischen Forschungsstation Mitterndorf a. d. Fische. – Wr. Mitteilungen, **30**, Wien 1979.
- 8) KRESSER, W. & REITINGER, J.: Erforschung des Wasserhaushaltes. – ÖHZ, **28**(1976), H. 6.

- 9) KRESSER, W. & REITINGER, J.: Grundwasserhaushalt des Südlichen Wiener Beckens. – Almanach der österreichischen Forschung, Wien (Verband der wissenschaftlichen Gesellschaften Österreichs) 1978.
- 10) KRAUTSCHNEIDER, H.: Umfassende wasserwirtschaftliche Datenbibliothek. – Arbeitsbericht, 1977.

- 11) KRAUTSCHNEIDER, H.: FORTRAN-Rechenalgorithmen für Prognoserechnungen in einem umfassenden linearen Grundwasserhaushaltsmodell. – Arbeitsbericht, 1976.
- 12) PRAMBERGER, F.: Felduntersuchungen zur Wasserbewegung in der ungesättigten Zone nichtbindiger Böden mit einer Neutronen-Tiefensonde. – Dissertation Universität für Bodenkultur, 1981.

## 2. Projekt: Wasserhaushalt von Österreich

### Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Einleitung  | 35 |
| 2. Zielsetzung des Projekts  | 36 |
| 3. Methodik der Durchführung   | 36 |
| 4. Erfassung der benötigten Daten  | 36 |
| 4.1. Erfassung festbleibender Gebietsinformationen   | 36 |
| 4.1.1. Digitales Geländemodell von Österreich  | 36 |
| 4.1.2. Digitales Modell der Bodennutzung von Österreich  | 37 |
| 4.1.3. Modell der Flußeinzugsgebietsgrenzen von Österreich                                       | 37 |
| 4.1.4. Modell der potentiellen Sonnenscheindauer   | 37 |
| 4.1.5. Modell der Fließgewässer  | 37 |
| 4.2. Erfassung von Beobachtungsdaten   | 37 |
| 4.2.1. Niederschlagsdaten  | 38 |
| 4.2.2. Abflüsse  | 38 |
| 4.2.3. Schneedichtewerte   | 38 |
| 4.2.4. Tageswerte ausgewählter Klimaelemente der Klimastationen                                  | 38 |
| 4.2.5. Monatswerte ausgewählter Klimaelemente  | 38 |
| 4.2.6. Erfassung der Speicherung in den Talsperren   | 38 |
| 5. Bearbeitung des mittleren langjährigen Wasserhaushaltes von Österreich                        | 38 |
| 5.1. Charakterisierung des Abflußregimes   | 38 |
| 5.2. Die Flächenverteilung der Wasserhaushaltskomponenten  | 39 |
| 5.3. Die automatische Ermittlung der Flächenverteilung von Wasserhaushaltskomponenten            | 39 |
| 5.4. Die mittlere langjährige Wasserbilanz   | 39 |
| 6. Bearbeitung des monatlichen Wasserhaushalts von Österreich                                    | 40 |
| 6.1. Rechensystem für gebietsbezogene Monatsbilanzen   | 40 |
| 6.2. Bisherige Ergebnisse  | 40 |
| 6.2.1. Auswertung festbleibender Gebietsparameter  | 40 |
| 6.2.2. Auswertung monatlicher Wasserhaushaltskomponenten   | 40 |
| 7. Weitere Auswertungen im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt                                   | 41 |
| 7.1. Rechnerische Ermittlung der tatsächlichen Niederschläge aus den beobachteten Niederschlägen | 41 |
| 7.2. Untersuchungen des Langfristverhaltens der Niederschläge                                    | 42 |
| 7.3. Prognose von Monatsniederschlägen   | 42 |
| 8. Zusammenfassung und Ausblick  | 42 |
| Literatur  | 42 |

### 1. Einleitung

Die Notwendigkeit von umfassenden, nationalen Wasserhaushaltsuntersuchungen kann heute als unbestritten gelten. Wesentliche Aufgabenstellungen der Wasserwirtschaft setzen solche Untersuchungen voraus:

- Bei steigendem Bedarf wird selbst unter der Voraussetzung gleichbleibenden Dargebots an Wasser eine Situation erreicht, in der Einzelmaßnahmen nicht mehr für sich allein betrachtet werden können, sondern in der Gesamtsituation und in ihren gegenseitigen Wechselwirkungen gesehen werden müssen.

- Möglicherweise vorhandene langfristige negative Tendenzen müssen rechtzeitig erkannt werden, damit die Möglichkeit von Gegenmaßnahmen offen bleibt. Eine längerfristige Prognose von Wasserhaushaltskomponenten ist nicht nur für die Energie-wirtschaft, sondern für viele Belange der Wasserwirtschaft von wachsender Bedeutung.
- Die historisch gewachsenen Wasserrechte haben heute oft schon ein Ausmaß erreicht, welches das Dargebot, zumindest in seiner zeitlichen Verteilung, beträchtlich übersteigt. Für die Schaffung klarer rechtlicher Verhältnisse sind umfassende quantitative Aufschlüsse über den Wasserhaushalt unabdingbare Voraussetzung.

Die Erstellung des Österreichischen Beitrags zur Internationalen „Hydrologischen Monographie der Donau“, in welchem die langjährige mittlere Wasserbilanz des österreichischen Anteils am Einzugsgebiet der Donau enthalten ist, bildete die Grundlage und gab auch den Anlaß, eine auf die Erfordernisse des Landes ausgerichtete, umfassende, ausreichend detaillierte Untersuchung des Wasserhaushalts von Österreich in Angriff zu nehmen.

Da die Lösung einer solchen Aufgabe heute die Beherrschung einer ganzen Reihe von Spezialdisziplinen erforderlich macht, erwies sich die Zusammenarbeit mit der Zentralanstalt für Meteorologie sowie mit dem Hydrographischen Dienst als wertvolle Grundlage für die Durchführung des Projekts. Weitere wesentliche Unterstützung erhielt das Projekt durch das Institut für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien sowie durch das Interuniversitäre Rechenzentrum.

## 2. Zielsetzung des Projekts

Das Ziel einer umfassenden Wasserhaushaltsuntersuchung kann es heute nicht mehr allein sein, den Zustand eines gewissen Zeitabschnitts zu dokumentieren. Zumindest ebenso wichtig ist es geworden, eine laufende Kontrolle über die Entwicklung des Wasserhaushalts zu erlangen, um die Entwicklung – in den unseren Möglichkeiten entsprechenden Grenzen – steuerbar oder zumindest vorhersehbar zu machen.

Die heute gegebenen Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung eröffnen erstmals die Möglichkeit, umfassende und einigermaßen detaillierte Untersuchungen zum Wasserhaushalt durchzuführen. Das Projekt hat daher zum Ziel, ein Rechensystem zu schaffen, mit welchem auf der Grundlage der vorhandenen Daten rasch und verarbeitungstechnisch sichere Wasserbilanzen erstellt und nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet werden können. Eine weitere Zielsetzung liegt in der Ermöglichung von längerfristigen Prognosen.

Gleichzeitig steht jedoch auch die Frage im Vordergrund, inwiefern das vorhandene Material an Meß- und Beobachtungsdaten in Umfang und Inhalt ausreicht, um die verschiedenen Aufgabenstellungen in ausreichender Weise zu lösen.

## 3. Methodik der Durchführung

Die flächenmäßig detaillierte Bearbeitung des langjährigen Wasserhaushalts wird im Rahmen eines Rechennetzes von 1 km Maschenweite durchgeführt. Für das gesamte Bundesgebiet, einschließlich ausländischer Randgebiete, ergeben sich damit etwa 100.000 Rastereinheiten.

Aufbauend auf den langjährigen Mittelwerten werden zeitlich detaillierte (monatliche) Wasserbilanzen für die einzelnen Einzugsgebiete ermittelt.

Die voll automatisierte Durchführung der Bilanzrechnung erfordert es, daß sowohl die praktisch festbleibende Gebietsbeschreibung (Flußeinzugsgebietsgrenzen,

Gewässernetz und Geländekonfiguration) sowie die Lage der Beobachtungs- und Meßstellen in einem einheitlichen Koordinatensystem erfaßt werden. Dafür wurde die Lambert'sche konforme Kegelprojektion mit 2 Bezugsparallelen herangezogen. Dies erforderte die Umrechnung von Informationen, die in Gauß-Krüger Koordinaten oder in geographischen Koordinaten vorliegen.

Für die Ausgabe der Ergebnisse ist sowohl Listenform, als auch graphische Ausgabe sowie elektronische Abspeicherung der Ergebnisse für die weitere Bearbeitung vorgesehen.

## 4. Erfassung der benötigten Daten

Die Durchführung umfassender Wasserhaushaltsuntersuchungen setzt eine Vielzahl von Beobachtungsdaten und auch von festbleibender oder wenig veränderlicher Gebietsinformation voraus. Bezüglich der Beobachtungsdaten standen datenorganisatorische Probleme im Vordergrund, während bei der Erfassung von Gebietsinformation sowohl das Organisationskonzept entwickelt, wie auch die Datenaufnahme selbst durchgeführt werden mußten.

### 4.1. Erfassung festbleibender Gebietsinformation

Die zugrundegelegte Methodik der Wasserhaushaltsuntersuchung macht es erforderlich, die Gebietsinformation in Form von Modellen so zu erfassen, daß die Auswertung sowohl für vorgegebene Einzugsgebiete, als auch für die Elemente eines regelmäßigen Rasters möglich ist.

#### 4.1.1. Digitales Geländemodell von Österreich

Für die Erfassung der Geländebeziehungen von Österreich wurde ein Rastermodell gewählt, in welchem die Geländehöhen in 1-km Abstand erfaßt sind. Für das gesamte Bundesgebiet, einschließlich ausländischer Randgebiete, ergeben sich damit etwa 100.000 Einzelpunkte, an denen die Geländehöhen zu ermitteln sind. Zur Erarbeitung dieser Werte wurde der folgende Weg eingeschlagen:

- Auf der Basis einer Vergrößerung der Österreichkarte im Maßstab 1 : 500.000 wurden die Geländeschichtenlinien (Schichtenlinienabstand 200 m bzw. in flachen Gebieten 100 m) durch graphische Datenaufnahme (Digitalisierung) in Form von koordinativ und höhenmäßig gegebenen Einzelpunkten erfaßt. Auf diese Weise wurden mehrere Millionen Einzelpunkte erzeugt.
- In Gebieten mit nicht ausreichender Flächendichte der Schichtenlinien wurde zusätzliche Information aus Kartenblättern im Maßstab 1 : 200.000 aufgenommen.

Die genannten Einzelpunkte („Massenpunkte“) wurden anschließend mittels eines Interpolationsverfahrens auf die Gitterpunkte eines 1 km-Netzes umgerechnet.

Das beschriebene Verfahren bietet den Vorteil, daß das Modell durch Einspeicherung weiterer Information beliebig verbessert werden kann. Ferner besteht die Möglichkeit, das Modell durch Verfeinerung der Ma-

schensweite weiter zu detaillieren. So ist es vorgesehen, in weiterer Folge ein Modell mit 500 m Maschenweite zu erstellen.

Bei der Aufnahme einer derartigen Menge von Einzelinformationen sind Fehler auch bei sorgfältiger Arbeit praktisch unvermeidbar. Die deshalb erforderliche Kontrolle der Daten erfolgte in 2 Schritten.

- Plausibilitätskontrolle der Daten  
Bevor Genauigkeitsuntersuchungen angestellt werden konnten, mußten die Daten im Hinblick auf Datenaufnahmefehler untersucht werden. Zu diesem Zweck wurde ein Rechenprogramm zur graphischen Ausgabe der aus dem Raster interpolierten Schichtenlinien entwickelt. Mit Hilfe dieses Programms wurde eine vollständige Computerkarte der Geländeschichtenlinien von Österreich erzeugt. Durch Vergleich dieser Karte mit der Kartengrundlage konnten die erkennbaren Datenfehler verhältnismäßig rasch gefunden und beseitigt werden.

Das genannte Computerprogramm, welches Schichtenliniendarstellungen in beliebiger Schichtenlinienabstufung und beliebigem Maßstab gestattet, ist selbstverständlich auch für die Darstellung von Isolinen verschiedener Wasserhaushaltskomponenten geeignet.

- Genauigkeitsuntersuchungen  
Um Aufschlüsse über die Genauigkeit des vorliegenden Modells zu erhalten, wurden an etwa 1000 über das gesamte Bundesgebiet verteilten Einzelpunkten die Geländehöhen aus dem Modell ermittelt und mit den vorgegebenen Höhen verglichen. Es ergibt sich eine mittlere Abweichung in der Größe von etwa 40 m. Durch Verfeinerung der Maschenweite und Aufnahme weiterer Geländeinformation läßt sich die Genauigkeit noch entsprechend steigern.

#### 4.1.2. Digitales Modell der Bodennutzung von Österreich

Dieses Modell erfaßt die vorherrschende Bodennutzung des Bundesgebiets in einem 1-km Raster. Die Rastereinteilung ist mit jener des Geländemodells voll kompatibel.

Die Grundlage ist die Karte „Vorherrschende Landnutzung“ aus dem Österreichatlas, welche folgende Klassifizierungen unterscheidet:

- Ackerbaugelände mit besonders hohem Ackeranteil
- Ackergebiete und Acker-Weinbaugelände
- Acker- Grünlandgebiete
- Grünlandgebiete
- Reine Grünlandwirtschaftsgebiete
- Waldgebiete
- Feuchtwiesen
- Weinbaugelände
- Verbaute Flächen
- Reines Felsland
- Gewässer
- Gletscher

Zur weiteren Detaillierung des Modells ist eine Unterteilung der Gebietsspezifikationen grundsätzlich möglich.

#### 4.1.3. Modell der Flußeinzugsgebietsgrenzen von Österreich

Für die systematische Untersuchung des Wasserhaushalts ist die Erfassung der Flußeinzugsgebiets-

grenzen notwendig. Auf der Basis der längerfristig vorhandenen Abflußmeßstellen ergeben sich für das gesamte Bundesgebiet etwa 270 Flußeinzugsgebiete. Da die Einzugsgebietsgrenzen nur teilweise mit der Staatsgrenze identisch sind, ergeben sich überdies etwa 50 Restgebiete innerhalb bzw. außerhalb von Österreich, welche für die Erstellung von auf das Staatsgebiet bezogenen Bilanzen ebenfalls erfaßt werden müssen.

Die Aufnahme der Einzugsgebietsgrenzen erfolgte durch Approximation der Gebietsgrenzen durch polygonale Linienzüge, deren Eckpunkte koordinativ erfaßt wurden. Als Kartengrundlage diente das Verzeichnis der Einzugsgebietsgrenzen des Hydrographischen Dienstes.

Die erfaßten Koordinaten mußten in einem weiteren Schritt zunächst auf die für die Wasserhaushaltsuntersuchungen einheitlich verwendete Kartenprojektion der Kegelkoordinaten umgerechnet werden.

Zur Kontrolle der erarbeiteten Daten erfolgte die graphische Ausgabe der Gebietsgrenzen am Plotter. Damit konnten die vorhandenen Unstimmigkeiten rasch erkannt und beseitigt werden. Eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit ergab sich durch automatische Ermittlung der Gebietsflächen und Vergleich mit den entsprechenden Angaben des Hydrographischen Dienstes. Die gespeicherten Daten können nunmehr als mit den Unterlagen des Hydrographischen Dienstes voll kompatibel angesehen werden.

#### 4.1.4. Modell der potentiellen Sonnenscheindauer

Da für Arbeiten im Zusammenhang mit der Verdunstungsermittlung der Energiehaushalt der Einzugsgebiete von großer Bedeutung ist, wäre eine modellmäßige Erfassung des Energiehaushalts der Einzugsgebiete erstrebenswert. Da dieses Ziel jedoch den Rahmen dieses Projekts bei weitem sprengen würde, erschien es zweckmäßig, zunächst ein Modell der größten möglichen („potentiellen“) Sonnenscheindauer anzustreben, um zumindest gewisse Vergleichswerte für den Energiehaushalt der verschiedenen Gebiete zu erhalten. Die Rechenalgorithmen, um aus dem Geländemodell die rein geometrisch bzw. astronomisch bestimmte größte mögliche Sonnenscheindauer für jeden Rasterpunkt des Modells zu ermitteln, liegen bereits vor. Die Durchführung und Auswertung für die Flußeinzugsgebiete steht noch aus.

#### 4.1.5. Modell der Fließgewässer

Es wurden Testuntersuchungen zur Aufnahme und elektronischen Abspeicherung des lage- und höhenmäßigen Verlaufs der Fließgewässer durchgeführt. Die bisherigen Ergebnisse lassen es zweckmäßig erscheinen, die Datenaufnahme zunächst für ein kleineres Teilgebiet von Österreich durchzuführen und die notwendige Genauigkeit der Datenaufnahme im Hinblick auf hydrologische und wasserwirtschaftliche Auswertungen einer weiteren Prüfung zu unterziehen.

## 4.2. Erfassung von Beobachtungsdaten

Sämtliche erforderliche Daten werden in einer elektronischen Datenbank organisiert, wobei auf eine übersichtliche und benutzerfreundliche Struktur großer Wert

gelegt wird. Im einzelnen werden folgende Daten erfaßt:

#### 4.2.1. Niederschlagsdaten

Es erfolgte die Erstellung einer Datei der Monatssummen des Niederschlags von Österreich. Dieser Datensatz enthält sämtliche beobachtete Monatssummen des Niederschlags aus dem Zeitabschnitt 1881–1970. Bei der Erstellung der Datei konnte teilweise auf vorhandene Bestände auf Datenträger zurückgegriffen werden, die jedoch vollständig kontrolliert und neu organisiert werden mußten. Ferner wurden noch ausländische Stationen entlang der Staatsgrenze aufgenommen. Der Bestand beträgt derzeit etwa 1000 Stationen mit insgesamt ungefähr 500 000 Einzeldaten.

Für jede Beobachtungsstation wird überdies eine Anzahl von Evidenzdaten mit erfaßt, u.a. die lagemäßige Fixierung mittels geographischer Koordinaten und Kegelkoordinaten. Zur Kontrolle der Lage wurde ein Lageplan der Stationen am Plotter ausgegeben. Zur vollständigen Ausschöpfung der in den Daten enthaltenen Information ist die Ergänzung der vorhandenen Datenlücken erforderlich. Zur Durchführung dieser Aufgabe wurde ein Rechenprogramm entwickelt, welches bei Vorgabe von Vergleichsstationen die Datenergänzung durchgeführt und die Ergebnisse an die zugehörigen Stellen des Datensatzes mit einer entsprechenden Kennzeichnung selbsttätig zurückschreibt, sodaß keine Datenmanipulationsfehler entstehen können. Als letzter Schritt der vollständigen Automatisierung der Datenergänzung wäre noch eine selbsttätige Auswahl der günstigen Vergleichsstation wünschenswert. Dies könnte die Resultate noch etwas verbessern.

Das Studium der Ergebnisse verschiedener Methoden der Datenergänzung zeigte, daß derzeit einfache Regressionen, nach Kalendermonaten getrennt, die besten Ergebnisse liefern. Es ergab sich dabei, daß durchschnittliche Fehler von etwa 18 mm in den Monatssummen zu erwarten sind. Insgesamt wurden etwa 30.000 Monatssummen an ungefähr 100 Beobachtungsstationen durch Relationen ergänzt.

#### 4.2.2. Abflüsse

Tägliche Werte der Abflüsse in Österreich für den Zeitabschnitt 1951–1970 konnten vom Hydrographischen Dienst auf Magnetband übernommen werden. Aus diesem Datensatz wurde eine Datei der Monatsmittelwerte erstellt. Außerdem wurden ausländische Abflußwerte entlang der Staatsgrenze aufgenommen.

Die Ergänzung der vorhandenen Datenlücken kann derzeit noch nicht befriedigend gelöst werden. Es zeigte sich, daß mit Relationen auf der Basis von Monatswerten keine für Monatsbilanzen brauchbaren Ergebnisse erzielt werden können. Um Abhilfe zu schaffen, müßte bei der Ergänzung der Datenlücken auf Tageswerte oder Wochenwerte übergegangen werden.

#### 4.2.3. Schneedichtewerte

Die auf Datenträger vorliegenden Meßwerte von Schneewasserwert und Schneedichte konnten in einer neuen, übersichtlichen Struktur auf Magnetband gespeichert werden. Eine ausführliche Plausibilitätskontrolle führte zur Ausschaltung bzw. Korrektur von fehlerhaften Werten.

#### 4.2.4. Tageswerte ausgewählter Klimaelemente der Klimastationen

Seitens der Zentralanstalt für Meteorologie wurden dem Projekt Tageswerte der Beobachtungen an den Klimastationen zur Verfügung gestellt. Die Daten werden für die Abschätzung der im Schnee gespeicherten Wassermenge verwendet. Ferner dienen sie der Abschätzung der tatsächlichen Niederschläge aus den beobachteten Niederschlägen. Die für diese Untersuchungen relevanten Daten (Niederschlagshöhe, Schneehöhe, Lufttemperatur, Dampfdruck, Windgeschwindigkeit) wurden extrahiert und in einer Direktaufrufdatei neu organisiert. Für die Niederschlagshöhen wurde eine Plausibilitätskontrolle anhand der Monatssummen durchgeführt.

#### 4.2.5. Monatswerte ausgewählter Klimaelemente

Durch Entgegenkommen der Zentralanstalt für Meteorologie können von dem Projekt ferner Monatswerte der Beobachtungen von Klimaelementen (Lufttemperatur, Dampfdruck, relative Feuchte, Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit) von etwa 300 Beobachtungsstationen auf Datenträger verwendet werden.

Um diese Daten für die Zwecke der Erstellung eines Verdunstungsmodells einsetzen zu können, war eine umfangreiche Neuorganisation des Datensatzes erforderlich, die großteils bereits durchgeführt ist.

#### 4.2.6. Erfassung der Speicherung in den Talsperren

Mit der systematischen Erfassung der monatlichen Wasserspeicherung in den größeren Talsperren von Österreich wurde begonnen. Derzeit liegen die Evidenzdaten der Talsperren sowie monatliche Speicherdaten aus der Jahresreihe 1961–1970 auf Datenträger vor.

### 5. Bearbeitung des mittleren langjährigen Wasserhaushalts von Österreich

#### 5.1. Charakterisierung des Abflußregimes

In dem Forschungsbericht (1) ist neben einer allgemeinen Beschreibung des Gebietes und einem Überblick über die Entwicklung und den derzeitigen Stand der hydrologischen Beobachtungen eine ausführliche Charakterisierung des Abflußregimes enthalten, welche folgende Punkte umfaßt:

- Entwicklung und derzeitiger Stand der wasserbaulichen Arbeiten
- Charakteristische Werte über Wasserstände und Abflüsse (minimale, mittlere und maximale Abflüsse, Eintrittswahrscheinlichkeiten)

#### 5.2. Die Flächenverteilung der Wasserhaushaltskomponenten

Die für den österreichischen Beitrag zur „Hydrologischen Monographie der Donau“ erforderliche Bearbeitung des langjährigen Wasserhaushalts des österreichischen Anteils am Donaeinzugsgebiet wurde gleichzeitig auch für österreichische Belange auf das gesamte Bundesgebiet ausgedehnt. Die Arbeit umfaßt im wesentlichen die folgenden Punkte (2).

- Kartendarstellung der Niederschlagshöhe  
Es wurde eine Karte mit Isolinien der mittleren jährlichen Niederschläge für die Jahresreihe 1931–1970 erstellt. Für die Entwicklung der Kartendarstellung standen etwa 500 Niederschlagsstationen mit entsprechend langen Beobachtungsreihen zur Verfügung. Überdies war es möglich, durch Vergleich mit der Zeitspanne 1951–1970, in der ein wesentlich dichteres Beobachtungsnetz vorliegt, gewisse Korrekturen vorzunehmen. Beim Entwurf der Karte war der wesentlichste Parameter die Seehöhenabhängigkeit des Niederschlags.
- Kartendarstellung der Verdunstungshöhe  
Die aktuelle Verdunstung eines größeren Gebiets kann nicht experimentell ermittelt werden. Mit Hilfe der Wasserbilanzgleichung eröffnet sich jedoch die Möglichkeit, Gebietsverdunstungen abzuschätzen. Diese Abschätzung der mittleren langjährigen Gebietsverdunstung wurde für etwa 200 Flußeinzugsgebiete von Österreich durchgeführt. Dazu war es notwendig, aus der Niederschlagskarte die Gebietsniederschläge der Flußeinzugsgebiete auszuwerten, sowie aus den vorhandenen Abflußmessungen die Gebietsabflüsse zu ermitteln. Da die Verdunstung, wie bereits seit langem bekannt ist, einen gewissen Zusammenhang mit der Seehöhe aufweist, ergibt sich die Möglichkeit, auf Grund der Topographie zu einer Flächenverteilung der Verdunstung zu gelangen. Die Untersuchung der Seehöhenabhängigkeit der aus der Wasserbilanz gewonnenen Gebietsverdunstung ergab ein einigermaßen befriedigendes Ergebnis. Überdies konnten die Verdunstungswerte durch Anwendung von Verdunstungsformeln einigermaßen bestätigt werden. Dies führte schließlich zur Entwicklung einer Kartendarstellung der mittleren langjährigen Verdunstung für das österreichische Bundesgebiet.
- Kartendarstellung der Abflußhöhe  
Die Kartendarstellung der Abflußhöhe ergab sich durch graphische Überlagerung von Niederschlags- und Verdunstungshöhe. Dabei läßt es sich natürlich nicht vermeiden, daß zufolge unvermeidbarer Ungenauigkeiten in der Bearbeitung die Abflußbilanz der Einzugsgebiete nur näherungsweise erfüllt ist.

Die genannten Kartendarstellungen wurden schließlich mit den Nachbarländern abgestimmt. Dadurch konnten gewisse Unsicherheiten im Verlauf der Wasserhaushaltskomponenten entlang der Staatsgrenze beseitigt werden. Die Karten sind in dem Bericht (2) enthalten.

#### 5.3. Die automatische Ermittlung der Flächenverteilung von Wasserhaushaltskomponenten

Mit Hilfe des Geländemodells von Österreich eröffnet

sich die Möglichkeit, eine automatische Ermittlung von Wasserhaushaltskomponenten in Angriff zu nehmen. Das Ziel ist es, den im vorhergehenden Kapitel beschriebenen, äußerst arbeitsintensiven Auswertevorgang zu vereinfachen, sowie die Auswertung zu objektivieren und mögliche Fehlerquellen auszuschließen.

Zur Durchführung dieser Arbeit ist es zunächst notwendig, die mittlere langjährige Niederschlagsverteilung für ein Rechnetz zu ermitteln. Dazu wurde die folgende Vorgangsweise eingeschlagen:

- Zuerst wurde unter Verwendung sämtlicher Niederschlagsstationen eine Regression mit der Seehöhe ermittelt.
- Für die Abweichung von der Regression, d.h. die nicht seehöhenabhängigen Anteile der Niederschläge, wurde anschließend ein Flächenausgleich durchgeführt.

Die für jeden Netzknoten des Gitters (etwa 100.000 Netzknoten) berechnete Niederschlagshöhe setzt somit aus 2 Anteilen zusammen, einem aus der Geländehöhe des Netzknotens mittels Regression bestimmten Seehöhenanteil, und einem Restanteil, der durch Flächenausgleich aus den Abweichungen von der Regression ermittelt wird.

Um die Güte des Verfahrens beurteilen zu können, wurde der Flächenausgleich testweise für die Orte der Niederschlagsstationen durchgeführt, d.h. es wurde der Versuch unternommen, die Niederschlagswerte der Stationen jeweils aus den benachbarten Stationen rückzurechnen. Es zeigte sich, daß ein mittlerer Fehler von etwa 8 % des gemessenen Niederschlags zu erwarten ist. Beim tatsächlichen Flächenausgleich an den Rasterpunkten unter Heranziehung sämtlicher Stationen ist die Stationsdichte allerdings größer, sodaß man annehmen kann, daß sich schließlich eine Genauigkeit von etwa 5 % erreichen läßt. Damit ist es möglich, praktisch die Güte der subjektiven händischen Auswertung zu erzielen.

Die Rechenprogramme, die es ermöglichen, aus dem Raster Gebietsniederschläge zu ermitteln sowie die Niederschlagsverteilung graphisch am Plotter darzustellen, sind bereits vorhanden. Obwohl die Ergebnisse im Mittel durchaus brauchbar sind, ergeben sich regional noch gewisse Schwierigkeiten, die weitere Bearbeitungen nötig machen. Jedenfalls ist jedoch mit den bisherigen Arbeiten bereits ein wesentlicher Schritt in Richtung der Automatisierung der Auswertung von Niederschlagsverteilungen getan.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen erscheint nun auch die rechnerische Ermittlung der Verdunstungsverteilung und Abflußverteilung möglich.

#### 5.4. Die mittlere langjährige Wasserbilanz

In dem Bericht (2) ist die langjährige mittlere Wasserbilanz des österreichischen Donaeinzugsgebietes (mehr als 90 % des Bundesgebietes) dargestellt. Darin sind Werte von Niederschlags-, Abfluß- und Verdunstungshöhe, aufgegliedert nach Flußgebieten, sowie die Bilanz der Oberflächengewässer für das Gesamtgebiet enthalten.

## 6. Bearbeitung des monatlichen Wasserhaushalts von Österreich

### 6.1. Rechensystem für gebietsbezogene Monatsbilanzen

Die Zielsetzung bei der Erstellung des Rechensystems war es, Wasserhaushaltsuntersuchungen für beliebige großräumige Gebiete durchführen zu können. Das bedeutet, daß das Rechensystem ganz allgemein sein muß und keine gebietsspezifischen Definitionen enthalten darf. Außerdem war zu fordern, daß das System auch langfristig ohne Änderungen betrieben werden und die jeweils neu anfallenden Daten verarbeiten kann, sowie die bereits vorliegenden Ergebnisse gemeinsam mit den neuen Ergebnissen zur Verfügung stellt.

Die genannten Forderungen führten zur Entwicklung des Konzepts der „Wasserhaushaltsdatei“. Es ist dies ein elektronisch gespeicherter Datensatz, der nach Flußeinzugsgebieten geordnet die ausgewerteten monatlichen Wasserhaushaltskomponenten sowie die Auswertungen der festbleibenden Gebietsparameter enthält. Zu diesen Gebietsparametern gehört auch die Definition der Verknüpfung der Gebiete untereinander.

Der genannte Datensatz kann schrittweise entwickelt werden, wobei die Einzelschritte entsprechend kontrolliert, modifiziert oder auch wiederholt werden können, ohne die gesamte Auswertung nochmals durchführen zu müssen. Auf diese Weise wird es überhaupt erst möglich, die Vielzahl der oft komplexen Rechenoperationen durchzuführen und den Aufwand in erträglichen Grenzen zu halten. Erst in einem weiteren Schritt werden die vorliegenden Ergebnisse selektiv nach verschiedenen Gesichtspunkten numerisch oder graphisch ausgegeben, weiter analysiert oder zu Modellen verarbeitet.

Für jedes Flußeinzugsgebiet sind die Zu- und Abflußstationen der Oberflächengewässer sowie die Verknüpfung der Einzugsgebiete in der Datei festgehalten. Dies erlaubt eine große Flexibilität in der Analyse der Ergebnisse. Über die Auswertung von einzelnen Einzugsgebieten hinaus ist die voll automatische Analyse von Einzugsgebietsketten in oder gegen die Fließrichtung der Oberflächengewässer möglich. Durch Erfassung der Resteinzugsgebiete bis zur Staatsgrenze können außerdem einigermaßen zutreffende Schätzwerte für die nationale Bilanz angegeben werden, wobei die Verknüpfung mit den einzelnen Nachbarländern mit erfaßt ist.

## 6.2. Bisherige Ergebnisse

### 6.2.1. Auswertung festbleibender Gebietsparameter

- **Gebietsfläche:** Neben der üblicherweise angegebenen Flächenprojektion konnte mit Hilfe des digitalen Geländemodells die tatsächliche Gebietsoberfläche der Einzugsgebiete ermittelt werden. Damit gibt es erstmals Schätzwerte dieser Größe für das gesamte Bundesgebiet. Dies erlaubt es, die großräumige Verdunstungsermittlung erstmals auf eine realistische Basis zu stellen, da ja für die Verdunstung die tatsächliche Gebietsoberfläche maßgebend ist.

- **Charakteristische Geländegrößen:** Zu den für jedes Flußeinzugsgebiet ermittelten charakteristischen Geländegrößen gehören:
  - **Mittlere Geländeneigung:** Zuzufolge der derzeitigen 1 km-Rasterung der Geländemodells kommt es zu einer gewissen Unterschätzung der tatsächlichen Neigungsverhältnisse. Durch Übergang auf einen 500 m-Raster sind hier noch gewisse Verbesserungen zu erwarten.
  - **Zusammenhang zwischen Geländehöhe und Gebietsfläche.** Der Zusammenhang zwischen Geländehöhe und zugehörigen Flächenanteilen wurde in 50 m – Höhenstufen für sämtliche Flußeinzugsgebiete ausgewertet.
- **Bodennutzungen:** Entsprechend der im Modell der Bodennutzungen enthaltenen Klasseneinteilung der Nutzungen erfolgte deren Auswertung für die Flußeinzugsgebiete, wobei gleichzeitig die mittlere Seehöhe der Nutzungen errechnet wurde.

### 6.2.2. Auswertung monatlicher Wasserhaushaltskomponenten

- **Gebietsniederschläge:** Wesentliche Vorarbeiten zur Ermittlung von monatlichen Gebietsniederschlägen sind bereits geleistet, indem die mittleren langjährigen Gebietsniederschläge der Flußeinzugsgebiete vorliegen. Da insgesamt etwa 12.000 Gebietsniederschläge für Einzelmonate und Einzugsgebiete ermittelt werden müssen, kann kein allzu rechenintensives Verfahren verwendet werden. Es ist vorgesehen, die Gebietsniederschläge der Einzelmonate aus den mittleren monatlichen Gebietsniederschlägen unter Verwendung von charakteristischen Niederschlagsstationen abzuleiten.
- **Abflüsse:** Für die Jahresreihe 1951–1970 sind die monatlichen Abflußhöhen bereits ausgewertet. Allerdings liegen für jene Einzugsgebiete, die von Flußüberleitungen betroffen sind, derzeit noch keine Werte vor. Ferner bedürfen jene Abflußhöhen, die Datenergänzungen beinhalten, noch einer Überarbeitung.
- **Wasseräquivalent der Schneespeicherung:** Es wurde erstmals der Versuch unternommen, auf der Basis von Monatsabschnitten die im Schnee gespeicherte Wassermenge für sämtliche Flußeinzugsgebiete von Österreich für eine längere Jahresreihe zu ermitteln. Dazu waren zunächst die folgenden Vorarbeiten nötig:
  - **Auswertung der Schneedichtebeobachtungen**  
Es erfolgte die Einteilung des Bundesgebiets in Klimazonen. Für jede Klimazone wurde nach Kalendermonaten getrennt die Höhenabhängigkeit der Schneedichte ausgewertet. Dies führte zur Erstellung von Diagrammen des mittleren Jahresverlaufs der Schneedichte in Abhängigkeit von der Seehöhe für jede Klimazone. Der Untersuchung liegen etwa 25.000 Meßwerte der Schneedichte zugrunde.
  - **Auswertung der Höhenabhängigkeit der Schneehöhe**  
Ebenfalls für jede Klimazone erfolgte die Untersuchung der Seehöhenabhängigkeit der Schneehöhe. Dieser Zusammenhang wurde als linearer

angenommen und mittels Regressionen modelliert. Die Auswertung erfolgte für Zeitpunkte im Monatsabstand getrennt.

Nachdem jedes Flußgebiet einer Klimazone zugeordnet war, ergibt sich die Möglichkeit, mittels der beiden genannten Zusammenhänge unter Verwendung des ebenfalls bereits ermittelten Zusammenhangs zwischen Seehöhe und Gebietsfläche für jeden Monat der Jahresreihe die Zu- bzw. Abnahme der im Schnee gespeicherten Wassermenge zu ermitteln. Die Berechnung wurde für das gesamte Bundesgebiet für die Jahresreihe 1951–1970 durchgeführt. Es ist allerdings zu bemerken, daß für die Berechnungen der Seehöhenabhängigkeit der Schneehöhe nur etwa ein Drittel der Beobachtungsstationen herangezogen werden konnte, weil die übrigen Werte noch nicht auf Datenträger vorhanden sind.

Die berechneten monatlichen Mengen des im Schnee gespeicherten Wassers geben einen gewissen Gesamteindruck über die Schneespeichervorgänge und ihre wasserwirtschaftliche Bedeutung, vor allem für das Abflußgeschehen. Es muß jedoch betont werden, daß diese Frage noch eingehender bearbeitet werden sollte. Neben der bereits erwähnten nur teilweisen Verwendung der Schneehöhenbeobachtungen hat dies hauptsächlich die folgenden Ursachen:

- Die langjährige mittlere Schneedichte der Kalendermonate kann die Verhältnisse des Einzelmonats nur unvollkommen wiedergeben. Hier ist insbesondere zu berücksichtigen, daß die Schneedichte zu den gesuchten Zeitpunkten von dem jeweiligen Neuschneeanteil beeinflusst wird und daher die Vorgeschichte berücksichtigt werden müßte.
- Die Abhängigkeit der Schneehöhe von der Geländehöhe gilt für ein Gebiet nicht einheitlich. Besonders in der zweiten Hälfte des Winters müßte die Orientierung des Geländes zu den Himmelsrichtungen in die Betrachtung eingehen. Wesentliche Informationen zu dieser Frage kann die Analyse der Satellitenbilder hinsichtlich der Schneegrenze liefern.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß berechtigte Hoffnungen bestehen, das Wasseräquivalent der Schneebedeckung in einer für Wasserhaushaltsuntersuchungen brauchbaren Form abzuschätzen.

- **Verdunstung:** Monatswerte der Gebietsverdunstung können aus Wasserbilanzüberlegungen nicht gewonnen werden. Dies wäre nur dann möglich, wenn sämtliche Glieder des ober- und unterirdischen Wasserrückhalts mit ausreichender Genauigkeit bekannt wären. Hingegen ist es sehr wohl möglich, langjährige Mittelwerte der Gebietsverdunstung anzugeben, da ja bei der langjährigen Betrachtungsweise die Retentionsglieder nicht ins Gewicht fallen. Es liegt daher nahe, den Versuch zu unternehmen, die mittlere langjährige Verdunstung auf Grund der maßgebenden physikalischen Faktoren in Verdunstungswerte der Einzelmonate aufzugliedern, wobei die Gesamtsumme erhalten bleiben muß. Dadurch ist es möglich, über die Anwendung von Verdunstungsansätzen hinaus die Kompatibilität der Ergebnisse mit der Wasserhaushaltsbedingung einigermaßen sicherzustellen. Die diesbezüglichen Arbeiten sind im Gange.

## 7. Weitere Auswertungen im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt

### 7.1. Rechnerische Ermittlung der tatsächlichen Niederschläge aus den beobachteten Niederschlägen

Es ist bereits seit langem bekannt, daß bei der Messung des Niederschlags beträchtliche systematische Fehler auftreten, die zu einer Unterschätzung des tatsächlich gefallenen Niederschlags führen. Dies ist für Wasserhaushaltsuntersuchungen besonders unangenehm, da die bilanzmäßige Erfassung der Verdunstung dadurch praktisch unmöglich ist, oder zumindest sehr beeinträchtigt wird. Die Fehlbeiträge sind im wesentlichen auf drei Ursachen zurückzuführen:

- Windbedingte Verluste
- Benetzungsverluste
- Verdunstungsverluste

Da die Fehlbeiträge von der Art des Meßgeräts und den Modalitäten der Aufstellung abhängen, sind für die Abschätzung des Fehlbeiträge experimentelle Untersuchungen unerlässlich. In Österreich werden derartige systematische Untersuchungen jedoch nicht durchgeführt. Es besteht daher lediglich die Möglichkeit, ausländische Untersuchungen heranzuziehen, die allerdings nur sehr bedingt auf österreichische Verhältnisse übertragbar sind. Um der Frage für Österreich zumindest etwas näher zu kommen, wurde ein Rechenprogramm erstellt, mit Hilfe dessen rechnerische Korrekturen der täglichen Niederschlagsbeobachtungen vorgenommen werden können. Dieses Modell verwendet als physikalische Parameter Werte von Lufttemperatur, Dampfdruck und Windgeschwindigkeit, sowie empirische Parameter, die ausländischen Untersuchungen entnommen sind.

Die Ermittlung der rechnerischen Fehlbeiträge wurde für die täglichen Werte von etwa 100 Beobachtungsstationen für die Jahresreihe 1951–1970 durchgeführt. Im Mittel über die Jahresreihe und die Beobachtungsstationen ergibt sich ein Fehlbeitrag von etwa 250 mm Niederschlag. Dieser Betrag ist sicherlich zu groß und zeigt, das ausländische Untersuchungen nicht ohne weiters übernommen werden können. Eine genauere Analyse ergibt, daß der Fehlbeitrag für die Monate April bis Oktober (also näherungsweise die Monate mit flüssigem Niederschlag) etwa 90 mm und jener für die übrigen Monate 160 mm beträgt. Der erste genannte Wert entspricht etwa 8–15 Prozent des in diesen Monaten gefallenen Niederschlags und steht näherungsweise mit den Erfahrungen in Österreich im Einklang, während der Wert für den festen Niederschlag offenbar nicht den österreichischen Verhältnissen entspricht. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, experimentelle Untersuchungen vor allem für die Erfassung des festen Niederschlags durchzuführen. Ganz grob läßt sich sagen, daß die erforderliche Korrektur des mittleren Gebietsniederschlags wohl kaum unter 150 mm anzusetzen ist. Dies bringt die Notwendigkeit mit sich, auch die bisher verwendeten Werte der Gebietsverdunstung entsprechend zu korrigieren. Dazu ist allerdings zu vermerken, daß die Gebietsverdunstung derzeit üblicherweise auf die Projektionsfläche bezogen ist. Verwendet man als Bezug die tatsächliche Gebietsoberfläche, so wird keine allzu wesentliche Änderung des auf die Fläche bezogenen Verdunstungswerts zu erwarten sein.

## 7.2. Untersuchung des Langfristverhaltens der Niederschläge

Der elektronisch gespeicherte Datensatz der Monatsniederschläge von Österreich ab 1881 gestattet es, umfassende Untersuchungen zum Langfristverhalten des Niederschlagsgeschehens anzustellen. Speziell für diesen Zweck erstellte Rechenprogramme gestatten die folgenden Auswertungen, einschließlich der graphischen Darstellung der Ergebnisse in Lageplänen und Diagrammen:

- Vergleich von langjährigen Mittelwerten der Monats- und Jahressummen.
- Berechnung von Autokorrelationskoeffizienten, getrennt nach Kalendermonaten, für die Jahressummen, oder für die gesamte Reihe.
- Seehöhenabhängigkeit des Niederschlags für die Einzelmonate, für Monatsgruppen oder für die Jahresreihe.

Die verschiedenen durchgeführten Auswertungen zeigen, daß das Niederschlagsgeschehen längerfristig keineswegs stabil ist. Beispielsweise zeigte der Vergleich der Jahresreihen 1931–1950 und 1951–1970, daß einer Zunahme der Niederschläge in Westösterreich eine nicht unbedeutende Abnahme in Ostösterreich gegenübersteht.

## 7.3. Prognose von Monatsniederschlägen

In Voruntersuchungen wurde die Möglichkeit einer längerfristigen Prognose monatlicher Niederschläge behandelt.

Die zunächst durchgeführte Untersuchung der Prognose der Niederschläge aus den Werten der unmittelbar vorhergehenden Monate brachte ein negatives Ergebnis.

Wesentlich besser sind jedoch die Resultate, wenn die Niederschläge eines Monats mit den Niederschlägen der gleichen Monate vorhergehender Jahre in Zusammenhang gebracht werden. Es zeigte sich, daß im Mittel etwa 10–30 Prozent der Abweichungen der einzelnen Monate von ihrem langjährigen Mittelwert vorhergesagt werden können. Praktisch keine oder nur eine sehr dürftige Prognose kann dabei allerdings für die Wintermonate, besonders für die Monate Dezember und Jänner, gegeben werden.

Die Ergebnisse lassen es erfolgversprechend erscheinen, die bisher nur stichprobenartig durchgeführte Untersuchung auf das gesamte vorliegende Datenmaterial auszudehnen, sowie zu versuchen, die Prognosemethoden zu verbessern.

## 8. Zusammenfassung und Ausblick

War noch vor einiger Zeit die Untersuchung des Wasserhaushalts eines Landes lediglich Gegenstand des wissenschaftlichen Interesses Einzelner, so wird diese Frage heute zunehmend zu einer vitalen Frage von grundsätzlicher und weitreichender Bedeutung für jedes Land.

Zur Erfassung des Wasserhaushalts ist es zunächst nötig, die grundsätzlichen Zusammenhänge und Mechanismen verstehen zu lernen. Neben der Erfassung und Dokumentation des vergangenen Zustands gewinnt jedoch die laufende Erfassung und Überwachung des Wasserhaushalts immer größere Bedeutung. Dabei ist es entscheidend, rasch und verarbeitungstechnisch einwandfrei die jeweils aktuelle Situation zu erfassen und auch – in gewissen Grenzen – Simulationen und Prognosen durchführen zu können. Nur so wird es möglich sein, das heute so notwendig gewordene großräumige Denken und Planen auch in der Praxis durchzusetzen.

An einer zusammenfassenden Darstellung des langjährigen und monatlichen Wasserhaushalts von Österreich wird derzeit gearbeitet. Zuzufolge der Fülle des Materials wird es lediglich möglich sein, die Methodik, gewisse Gesamtergebnisse, sowie Ergebnisse an Einzelbeispielen zu publizieren. Die ausführliche Bearbeitung wird als Unikat vorliegen.

### Literatur

- 1) BEHR, O., REITINGER, J. et al.: Charakteristika des Einzugsgebietes der Donau in Österreich. – Forschungsbericht Nr. 2 des Instituts für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, TU Wien, 1978.
- 2) BEHR, O., REITINGER, J. et al.: Langjährige Wasserbilanz des Österreichischen Einzugsgebietes der Donau. – Österreichischer Beitrag zum Kapitel III der Hydrologischen Monographie der Donau, Wien, 1979.

## Arbeiten des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck im IHP 1975–1980

### Eis-, Wasser- und Wärmehaushalt des Hintereisferners im Rofental bei Vent in Tirol während der Jahre 1975–1980

Mit 10 Abbildungen und 8 Tabellen

#### Inhalt

|   |    |
|---|----|
| 1. Aufgabenstellung   | 43 |
| 2. Massenhaushalt   | 43 |
| 2.1. Die Lage des Arbeitsgebietes                               | 43 |
| 2.2. Ablationspegel   | 45 |
| 2.3. Pegelbewegung  | 46 |
| 2.4. Schneeschächte   | 47 |
| 2.5. Massenbilanz und Gleichgewichtslinie                       | 48 |
| 2.6. Flächenverhältnisse  | 49 |
| 2.7. TS-Kurven  | 49 |
| 2.8. Klimadaten   | 51 |
| 3. Wärmehaushalt  | 51 |
| 4.1. Messungen von Eis- und Firntemperaturen am Hintereisferner | 52 |
| 4.2. Oberflächen-Temperaturen                                   | 52 |
| 4.3. Der Spektralverlauf der Albedo                             | 53 |
| 4.4. Verdunstung  | 54 |
| Literatur   | 54 |

### 1. Aufgabenstellung

Die Glieder der hydrologischen Bilanz (Niederschlag = Abfluß + Verdunstung + Speicherung) sollen für das Einzugsgebiet des Hintereisbachs bestimmt und mit dem Verhalten der Atmosphäre vom lokalen bis zum synoptischen Maßstab in Verbindung gesetzt werden.

Wegen der ungünstigen Beschaffenheit des Bachbettes vor der abschmelzenden Gletscherzunge konnten in der Periode 1975–1980 keine Abflußmessungen am Hintereisbach selber vorgenommen werden. Pegelmessungen sind erst von der Rofen- und Venterache vorhanden.

Die Arbeiten konzentrierten sich daher auf die direkte Bestimmung der Speicherung oder des Massenhaushalts des Hintereisferners, ferner auf die Bestimmung des Gebietsniederschlags und seit 1979 auch auf direkte Verdunstungsmessungen. Der klimatologische Teil des Projekts wird mit fortlaufenden Registrierungen an Stationen im Bereich des Gletschers und in Vent fundiert, und wird durch kurzfristige Wärmehaushaltsmessungen ergänzt.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen aus der Zeit des IHP 1975–1980 sind im folgenden zusammengefaßt. Für ausführliche Darstellungen wird auf die Veröffentlichungen verwiesen, die am Ende des Berichts angeführt sind.

### 2. Massenhaushalt

#### 2.1. Die Lage des Arbeitsgebietes

Auf der Übersichtskarte des Rofen- und Niedertals (Abb. 1) sind die Abflußpegel und ihre Einzugsgebiete eingetragen. Das Einzugsgebiet der Rofenache ist 98 km<sup>2</sup> groß und war 1970 zu etwa 70 % vergletschert. Für die Pegelmeßstelle unterhalb des Zusammenflusses von Rofen- und Niedertalerache sind die entsprechenden Werte 165 km<sup>2</sup> und 40 %, für die Meßstelle unterhalb des Hochjochospizes lauten die Werte 26,6 km<sup>2</sup> und 58 % (1959). Von den 13 eingetragenen Totalisatoren sind heute 10 in Betrieb, Nr. 8, 11 und 12 sind eingestellt.

Im Gebiet des Hintereisferners sind zwei Klimastationen in Betrieb (Zunge 2440 m und Station Hintereis 3030 m). Zeitweise Registrierungen liegen vom Hochjochospiz und von 2800 m und 2960 m Höhe am Hintereisferner vor, wo während der Hauptablationsperiode 1971 eine Wärmehaushaltsstation in Betrieb war. Eine automatische Kamera zur Beobachtung der temporären Schneegrenze steht zwischen den beiden Gletschern am Rofenberg in der Nähe des Totalisators Nr. 3.

Die Station Hintereis wird von Vent in 5–6 Stunden über das Hochjochospiz erreicht oder in ca. 2 Stunden

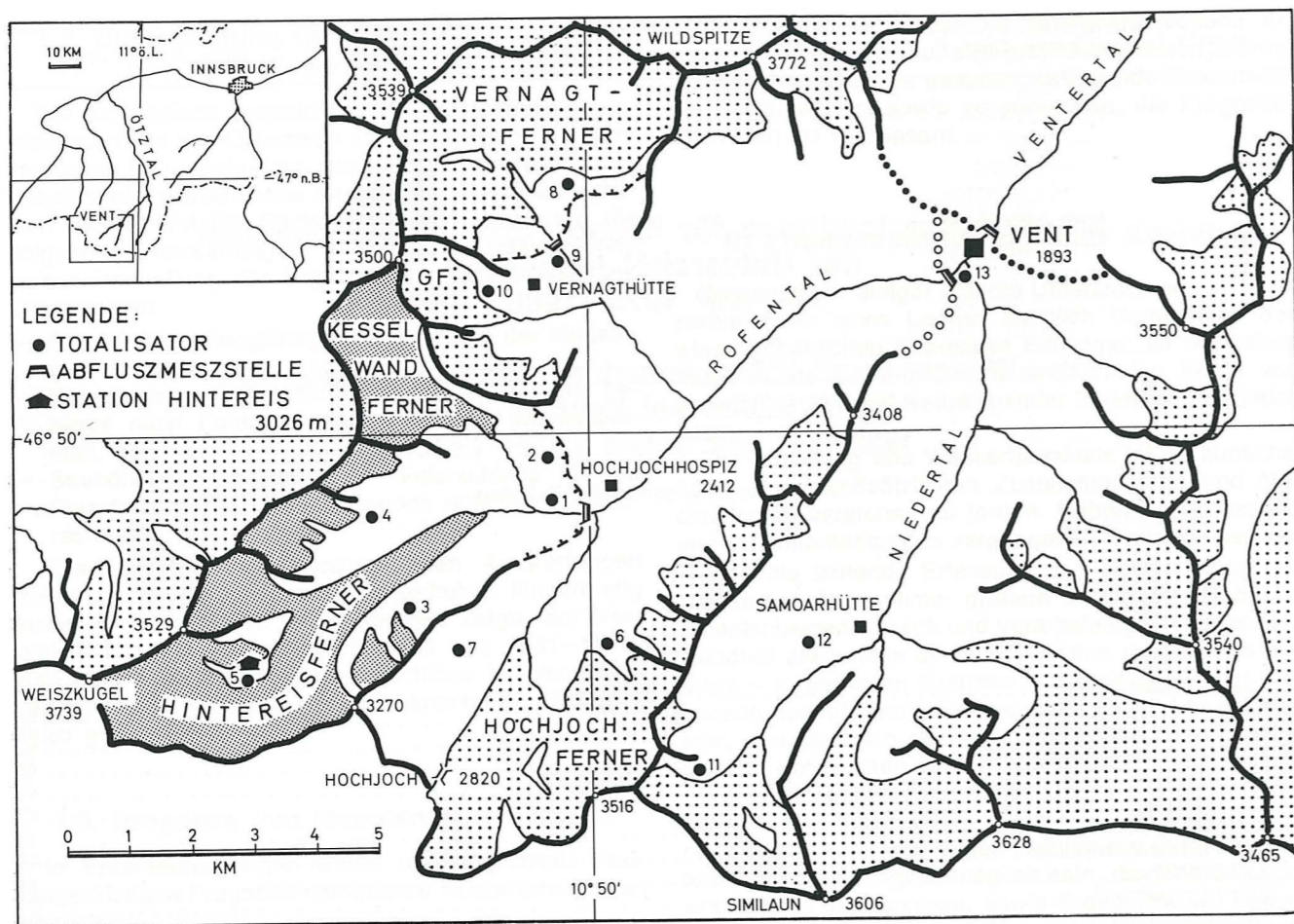


Abb. 1: Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Schreibpegel Vent-Venterache (165 km<sup>2</sup>), Vent-Rofenache (98 km<sup>2</sup>) und Steg-Hospiz (26,6 km<sup>2</sup>); Gletscherflächen eng gerastert.

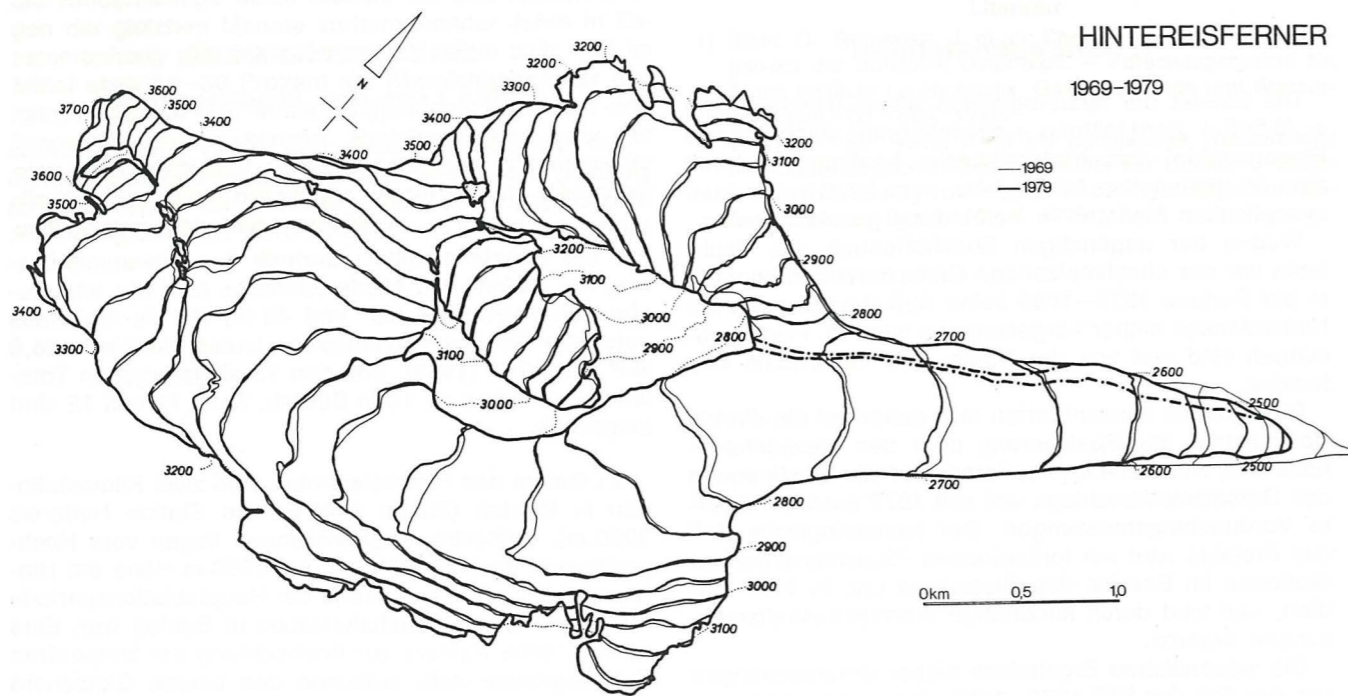


Abb. 2: Oberflächenvergleich des Hintereisfernens des Jahres 1969 mit 1979.

von der Bergstation der Schnalstaler Gletscherbahn (Südtirol).

Am 14. August 1979 wurde vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen ein Bildflug über den Hintereisferner und die Zunge des Kesselwandfernens durchgeführt. Aus dem Bildmaterial wurde in der Abteilung für Photogrammetrie des Amtes der Tiroler Landesregierung eine Karte im Maßstab 1 : 10.000 hergestellt. Aus dem Schichtlinienplan wurde ein digitales Geländemodell gewonnen, das die Berechnung von Energie- und Massenhaushalt in einem Netz von 20, 50 oder 100 m Maschenweite ermöglichen soll.

Die neue Karte ermöglicht auch den Volumsvergleich zum Jahr 1969, der in der Abbildung 2 wiedergegeben ist.

## 2.2. Ablationspegel

1974 standen auf der Zunge des Hintereisfernens 101 Ablationspegel unter Beobachtung. Im Jahre 1975 waren es 89, 1976 – 84, 1977 – 75, 1978 – 78, 1979 – 98, 1980 – 85 Pegel. Bedingt durch die positiven Massenbilanzen der Haushaltsjahre 1976/77 und 1977/78

Tabelle 1  
Nettoablation am Hintereisferner [cm Wasseräquivalent im hydrologischen Jahr].

| Pegel         | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | Pegel         | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 |
|---------------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|
| 81 (1)        | 493  | 432  | 334  | 437  | 436  | 25 (44)       | 201  |      | 85   | 304  | 182  |
| 72 (2)        | 572  | 478  | 383  | 447  | 428  | 26 (35)       | 207  | 107  | 107  | 255  | 237  |
| 9 (3)         | 462  | 399  | 368  | 467  | 461  | 27 (36)       | 204  | 92   | 88   | 217  | 175  |
| <b>2500 m</b> |      |      |      |      |      | 28 (37)       | 199  | 94   | 98   | 210  | 158  |
| 75 (4)        | 456  | 379  | 299  | 389  | 392  | 92 (38)       | 155  | 67   | 68   | 198  | 160  |
| 10 (5)        | 380  | 278  | 190  | 298  | 279  | 30 (45)       | 152  | 20   | 27   | 147  | 92   |
| 11 (6)        | 393  | 341  | 344  | 374  | 356  | 29 (42)       | 119  | 10   | 11   | 145  | 70   |
| 76 (7)        | 464  | 420  | 374  | 488  | 513  | 93 (48)       | 197  | 31   | 19   | 138  | 95   |
| 12 (8)        | 325  | 270  | 228  | 333  | 251  | D3 (46)       | 105  | 33   | -6   | 132  | 67   |
| 77 (9)        | 417  | 318  | 292  | 387  | 364  | 31 (39)       | 158  | 56   | 63   | 166  | 140  |
| 13 (11)       | 383  | 269  | 290  | 328  | 319  | 33 (41)       | 239  | 83   | 56   | 176  | 118  |
| 14 (10)       | 351  | 282  | 251  | 309  | 303  | 34 (40)       | 179  | 66   | 60   | 194  | 134  |
| <b>2600 m</b> |      |      |      |      |      | 112 (47)      | 130  | 42   | 17   | 136  | 97   |
| 80 (12)       | 286  | 245  | 212  | 308  | 244  | 40 (50)       | 132  | -11  | 81   | 165  | 109  |
| 78 (13)       | 320  | 258  | 214  | 293  | 335  | 41 (49)       | 107  | 22   | 14   | 131  | 88   |
| 116 (14)      | 323  | 262  | 229  | 266  | 214  | 42 (52)       | 113  | 32   | 13   | 149  | 85   |
| 79 (15)       | 283  | 224  | 206  | 296  | 238  | 39 (53)       | 111  | -4   | 60   | 157  | 61   |
| 16 (16)       | 293  | 231  | 217  | 268  | 298  | 94 (58)       | 90   | Akk. | Akk. | 88   |      |
| 17 (17)       | 300  | 258  | 210  | 299  | 267  | 46 (54)       | 91   | Akk. | Akk. | 117  | 58   |
| 73 (18)       | 285  | 207  | 167  | 286  | 273  | <b>2800 m</b> |      |      |      |      |      |
| 74 (19)       | 289  | 185  | 187  | 292  | 296  | 47 (55)       | 102  | -8   | -13  | 127  | 106  |
| 18 (20)       | 288  | 260  | 162  | 306  | 300  | 38 (61)       | 118  | 84   | 40   | -18  | 96   |
| 86 (21)       | 259  | 164  | 160  | 260  | 213  | 48 (60)       | 109  | -5   | Akk. | 36   | 24   |
| 22 (22)       | 279  | 225  | 189  | 264  | 264  | 49 (59)       | 71   | -20  | -56  | 93   | 28   |
| 82 (27)       | 234  | 186  | 136  | 259  | 237  | 50 (57)       | 91   |      | 5    | 98   | 55   |
| 85 (23)       | 318  | 164  | 66   | 170  | 233  | 52 (62)       | 31   | 22   | 1    | 11   | 74   |
| 20 (24)       | 245  | 160  | 115  | 212  | 162  |               |      |      |      |      |      |
| 21 (26)       | 229  | 158  | 139  | 240  | 224  |               |      |      |      |      |      |
| 87 (25)       | 205  | 147  | 105  | 237  | 207  |               |      |      |      |      |      |
| 88 (28)       | 242  | 133  | 122  | 0    | 117  |               |      |      |      |      |      |
| <b>2700 m</b> |      |      |      |      |      |               |      |      |      |      |      |
| 23 (29)       | 210  | 143  | 134  | 218  | 197  |               |      |      |      |      |      |
| B5 (30)       | 185  | 114  | 107  | 212  | 174  |               |      |      |      |      |      |
| B8 (34)       | 218  | 132  | 117  | 206  | 129  |               |      |      |      |      |      |
| 90 (31)       | 214  | 133  | 111  | 230  | 148  |               |      |      |      |      |      |
| 89 (33)       | 187  | 115  | 93   | 225  | 178  |               |      |      |      |      |      |
| 24 (32)       | 208  | 88   | 78   | 189  | 130  |               |      |      |      |      |      |

Tabelle 2  
Schneeschnähte am Hintereisferner.

|  | 1975/76 | 1976/77 | 1977/78 | 1978/79 | 1979/80 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Meßstelle IA, ca. 2450 m (unter Langtauferer Spitze) |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 88      | 351     | 209     | 220     | 78      |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,410   | 0,504   | 0,459   | 0,479   | 0,464   |
| Wasserwert [cm]                                      | 36      | 177     | 96      | 106     | 36      |
| Meßstelle SJ, ca. 3270 m (Steinschlagjoch)           |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 250     | 297     | 260     | 138     | 146     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,416   | 0,504   | 0,482   | 0,434   | 0,521   |
| Wasserwert [cm]                                      | 104     | 150     | 125     | 60      | 76      |
| Meßstelle HJ, ca. 3315 m (Hintereisjoch)             |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 311     | 616     | 429     | 318     | 304     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,433   | 0,534   | 0,473   | 0,516   | 0,536   |
| Wasserwert [cm]                                      | 135     | 329     | 203     | 164     | 163     |
| Meßstelle ST, ca. 3250 m (Schimppstollen)            |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 288     | 525     | 391     | 269     | 329     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,477   | 0,530   | 0,518   | 0,505   | 0,574   |
| Wasserwert [cm]                                      | 137     | 278     | 203     | 136     | 189     |
| Meßstelle WJ, ca. 3170 m (Weißkugeljoch)             |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 250     | 460     | 429     | 294     | 345     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,472   | 0,529   | 0,541   | 0,495   | 0,571   |
| Wasserwert [cm]                                      | 118     | 243     | 232     | 145     | 196     |
| Meßstelle BE, ca. 3145 m (Badeeis)                   |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 250     | 460     | 344     | 261     | 239     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,477   | 0,533   | 0,487   | 0,474   | 0,579   |
| Wasserwert [cm]                                      | 119     | 245     | 167     | 124     | 138     |
| Meßstelle TE, ca. 3070 m (Teufelsegg)                |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 195     | 390     | 196     | 181     | 179     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,469   | 0,538   | 0,462   | 0,453   | 0,549   |
| Wasserwert [cm]                                      | 91      | 210     | 90      | 82      | 98      |
| Meßstelle LJ, ca. 3110 m (Langtaufererjoch)          |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 161     | 382     | 281     | 188     | 204     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,447   | 0,520   | 0,493   | 0,471   | 0,558   |
| Wasserwert [cm]                                      | 72      | 199     | 139     | 88      | 114     |
| Meßstelle LS, ca. 3180 m (Stationsgletscher)         |         |         |         |         |         |
| Tiefe [cm]   | 220     | 430     | 237     | 160     | 233     |
| Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]                          | 0,499   | 0,530   | 0,458   | 0,460   | 0,585   |
| Wasserwert [cm]                                      | 110     | 228     | 108     | 73      | 136     |

sind einige dieser Pegel temporär in den unteren Bereich des Nährgebiets gelangt und konnten erst im Sommer 1979 zu einem Teil wieder gefunden werden. 10 Pegel wurden im Höhenbereich zwischen 2800 m und 3500 m auf Grund der Ausaperung des Gletschers im Sommer 1979 neu gesetzt. 1978 wurde die alte Nummerierung der Ablationspegel aus Übersichtsgründen geändert und eine neue, durchlaufende Nummerierung von 1–70 vom Zungenende bis zum Nährgebiet eingeführt. In der Tabelle 1 stehen die neuen Nummern in Klammer, die alte Nummerierung an erster Stelle.

Jeweils im Herbst wurden alle vorhandenen Ablationspegel vermessen, so daß die Fließgeschwindigkei-

ten an der Oberfläche des Gletschers an vielen Punkten im Ablationsgebiet bekannt sind.

### 2.3. Pegelbewegung

Die Höhe und Koordinaten der Pegel am Hintereisferner werden jährlich eingemessen. Die Pegel des Längsprofils werden dabei jährlich an einem fixen Punkt neu eingemessen. Abbildung 3 zeigt die Bewegung der Längspegel L5, L6, L7 im Lauf von neun Jahren: die Jahreszahlen bei den Längspegeln geben jeweils den Sommer

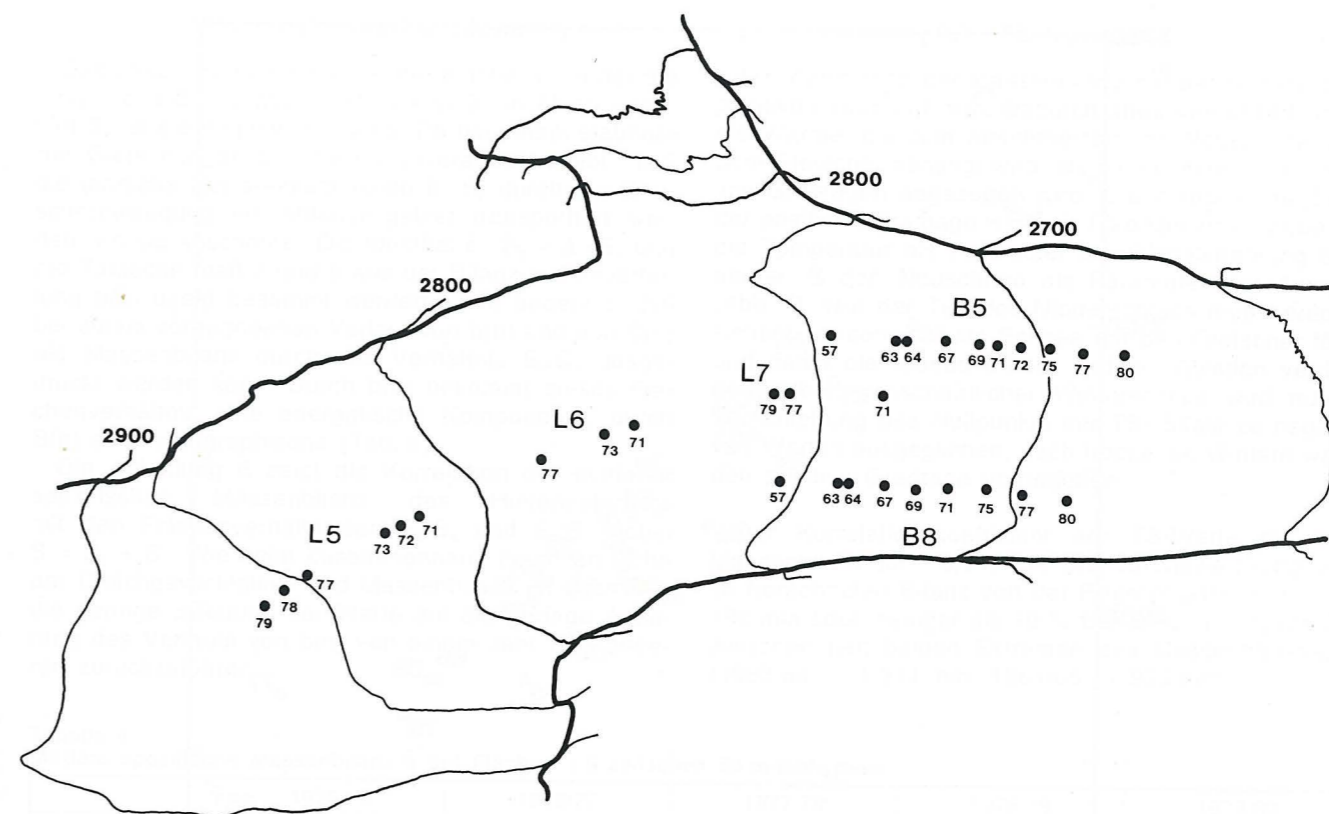


Abb. 3: Bewegung der Pegel von 1957–1980.

an, in dem dieser Pegel in der Ausgangsposition (79) eingesetzt wurde.

Die beiden Ablationspegel B5 und B8 wurden dagegen nie versetzt. Sie sind mit dem Gletscher mitgewandert und haben dabei von 1957 bis 1980 die angegebenen Positionen erreicht.

### 2.4. Schneeschnähte

Die Netto-Akkumulation wird in Schneeschnähten gemessen (Tab. 2), wobei die Schichtung, Korngröße, Härte und Dichte in senkrechtem Abstieg an der Schachtwand bis zu einem Leithorizont bestimmt wird.

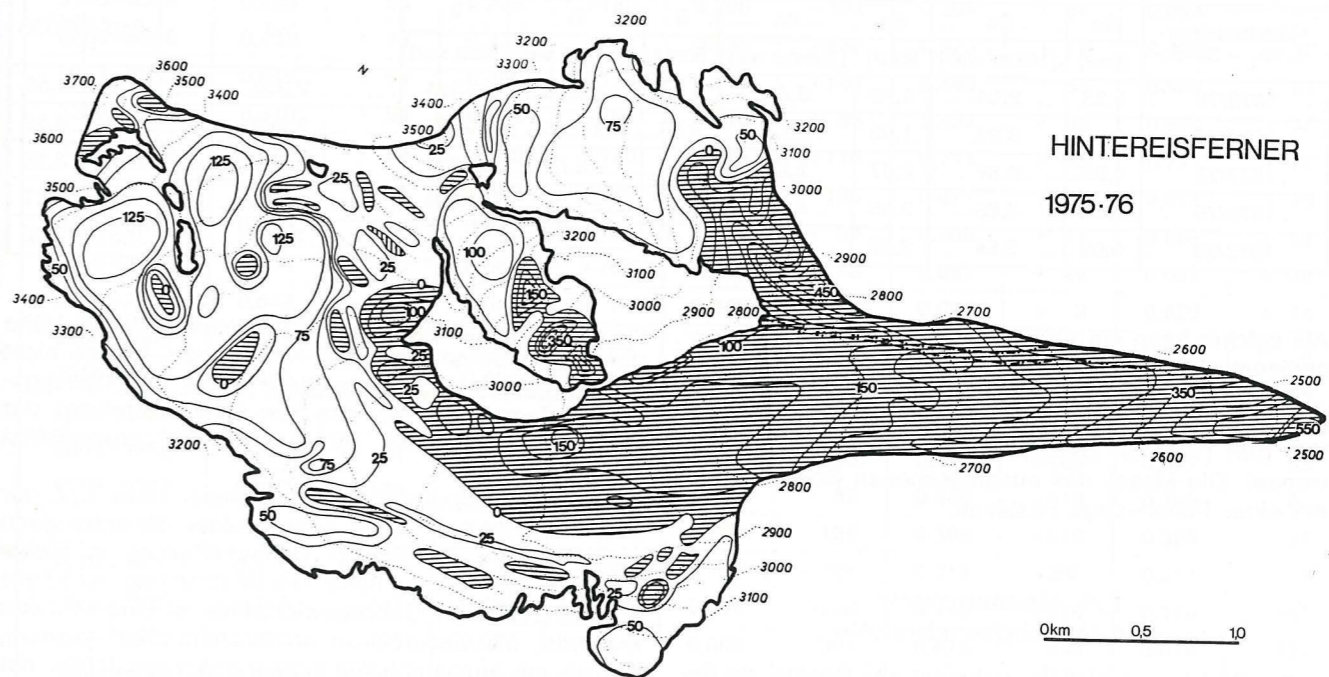


Abb. 4: Massenbilanz-Analysenkarte für das Haushaltsjahr 1975/1976.



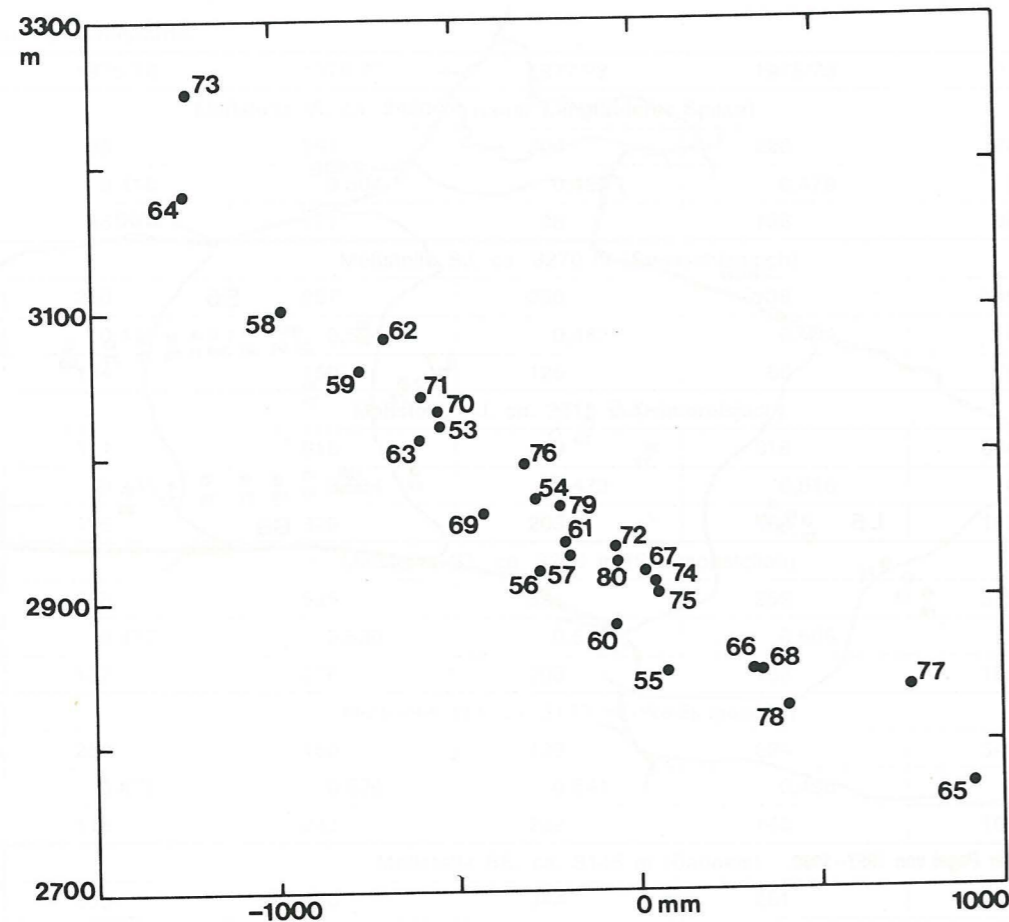


Abb. 5: Hintereisferner: Höhe der Gleichgewichtslinie – spezifische Massenbilanz.

Tabelle 3  
Massenbilanz Hintereisferner 1975/76 bis 1979/80.

| Haushaltsjahr<br>1. 10. – 30. 9. | Netto-<br>akkumulation   |   | Netto-<br>ablation       |   | Massenbilanz            |  |                      | mittlere Höhe der<br>Gleichgewichtslinie<br>[m] | Flächen-<br>verhältnisse |       |
|----------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|-------------------------|--|----------------------|---|--------------------------|-------|
|                                  | Sc<br>[km <sup>2</sup> ] | Bc<br>[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ww] | Sa<br>[km <sup>2</sup> ] | Ba<br>[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ww] | S<br>[km <sup>2</sup> ] | B<br>[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ww] | $\bar{b}$<br>[mm ww] |   | Sc/S                     | Sc/Sa |
| 1975/76                          | 5,23                     | 2,64                                      | 3,73                     | 5,45                                      | 8,96                    | -2,81                                    | -314                 | 2.995   | 0,58                     | 1,40  |
| 1976/77                          | 6,95                     | 9,24                                      | 1,93                     | 2,48                                      | 8,88                    | +6,76                                    | +760                 | 2.840   | 0,78                     | 3,59  |
| 1977/78                          | 6,81                     | 5,87                                      | 2,07                     | 2,22                                      | 8,88                    | +3,65                                    | +411                 | 2.825   | 0,77                     | 3,29  |
| 1978/79                          | 5,22                     | 2,85                                      | 3,55                     | 4,84                                      | 9,08                    | -1,99                                    | -219                 | 2.970   | 0,58                     | 1,47  |
| 1979/80                          | 6,06                     | 3,54                                      | 2,96                     | 3,99                                      | 9,08                    | -0,45                                    | - 50                 | 2.930   | 0,67                     | 2,05  |

Als solcher kann ein natürlicher Schmutzhorizont einer spätsommerlichen Schönwetterperiode dienen.

Zur Bestimmung der Schneedichte wird ein Ausstechrohr aus Aluminium (Pesola) mit einem Inhalt von 500 cm<sup>3</sup> (19,6 cm Länge, 25,5 cm<sup>2</sup> Grundfläche) verwendet. Die Masse des ausgestochenen Schnees wird mit einer Federwaage bestimmt.

### 2.5. Massenbilanz und Gleichgewichtslinie

Die Gleichgewichtslinie verbindet alle Punkte, an denen die spezifische Massenbilanz Null ist. Da diese Bedingung auch um unzusammenhängende, apere Eisflä-

chen erfüllt ist, ist die Bestimmung einer mittleren Höhe der Gleichgewichtslinie aus Karten oder Photos nicht immer zielführend. Die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie wird daher aus der Höhenverteilung der Massenbilanz als die Höhe mit  $\bar{b} = 0$  ausgewertet (Abb. 4).

Der Zusammenhang zwischen dieser Höhe und der Massenbilanz ist in Abb. 5 abgebildet. Er wäre dann perfekt, wenn die Bilanz-Höhenverteilung in jedem Jahr die gleiche Form hätte. Die Bestimmung der Bilanz aus der Höhe der Gleichgewichtslinie ist eine indirekte Methode, die dadurch an praktischem Wert gewinnt, daß sie mit Ausnahme von extrem negativen Jahren nur einen Besuch oder ein Photo des Gletschers am Ende des Haushaltsjahres voraussetzt (Tab. 3).

### 2.6. Flächenverhältnisse

Das Akkumulationsgebiet ist die Fläche  $S_c$ , in der die spezifische Bilanz positiv ist,  $b = c > 0$ , im Ablationsgebiet  $S_a$  ist sie negativ,  $b = a < 0$ . Da bei einem stationären Gletscher die Oberfläche unverändert bleibt, muß die jährliche Netto-Akkumulation  $\bar{c} \cdot S_c$  durch die Gletscherbewegung ins Ablationsgebiet transportiert werden, wo sie abschmilzt. Die Identität  $\bar{c} \cdot S_c = \bar{a} \cdot S_a$  und die Tatsache, daß  $\bar{c}$  und  $\bar{a}$  aus der Bilanz-Höhenverteilung  $b(h)$  direkt bestimmt werden kann, bedeutet, daß bei einem vorgegebenen Verlauf von  $b(h)$  und von  $S(h)$  die Massenbilanz durch das Verhältnis  $S_c/S_a$  ausgedrückt werden kann. Durch  $b(h)$  bekommt dieses Flächenverhältnis eine energetische Komponente, durch  $S(h)$  eine topographische (Tab. 4).

Die Abbildung 6 zeigt die Korrelation der mittleren spezifischen Massenbilanz des Hintereisferners mit den Flächenverhältnissen  $S_c/S_a$  und  $S_c/S$ , wobei  $S = S_a + S_c$ . Wie beim Zusammenhang zwischen Höhe der Gleichgewichtslinie und Massenbilanz ist auch hier die geringe Streuung der Werte auf die geringe Änderung des Verlaufs von  $b(h)$  von einem Jahr zum anderen zurückzuführen.

### 2.7. TS-Kurven

Die Korrelation der Massenbilanz mit der Summe der positiven Gradtage wird dadurch stark verbessert, daß die Wärme, die zum Abschmelzen von Neuschnee auf dem Gletscher benötigt wird, als eine bestimmte Anzahl von Gradtagen abgezogen wird. Diese reduzierte Zahl der positiven Gradtage wird mit TS bezeichnet, wobei T die Temperatur als Parameter der Globalstrahlung bedeutet, S den Neuschnee als Parameter der Albedo (Abb. 7). Nur der Teil des Niederschlags muß berücksichtigt werden, der als Schnee auf den Gletscher fällt und damit die Albedo erhöht und die Ablation verringert. Überdurchschnittlicher Winterschnee wird durch Verschiebung des Nullpunkts der TS-Skala zu negativen Werten ausgeglichen, nach trockenen Wintern werden positive Gradtage vorgegeben.

Der Korrelationskoeffizient der TS-Werte mit der Massenbilanz ist  $-0,94$ . Die Standardabweichung der so berechneten Bilanz von der Regressionsgeraden ist 190 mm oder weniger als 10 % der Schwankungsbreite zwischen den beiden Extremen des Massenhaushalts (1963/64:  $-1.244$  mm, 1964/65:  $+925$  mm).

Tabelle 4  
Mittlere spezifische Massenbilanz  $\bar{b}$  auf Flächen  $\Delta S$  zwischen 50 m-Isopynen.

| Höhenstufe<br>[m] | 1975/76                                |                      | 1976/77                                |                      | 1977/78                                |                      | 1978/79                                |                      | 1979/80                                |                      |
|-------------------|--|----------------------|--|----------------------|--|----------------------|--|----------------------|--|----------------------|
|                   | Fläche $\bar{b}$<br>[km <sup>2</sup> ] | [g/cm <sup>2</sup> ] | Fläche $\bar{b}$<br>[km <sup>2</sup> ] | [g/cm <sup>2</sup> ] | Fläche $\bar{b}$<br>[km <sup>2</sup> ] | [g/cm <sup>2</sup> ] | Fläche $\bar{b}$<br>[km <sup>2</sup> ] | [g/cm <sup>2</sup> ] | Fläche $\bar{b}$<br>[km <sup>2</sup> ] | [g/cm <sup>2</sup> ] |
| 3750–3700         | 0,002                                  | + 12                 | 0,002                                  | + 37                 | 0,002                                  | + 12                 | 0,004                                  | + 13                 | 0,004                                  | + 0                  |
| 3700–3650         | 0,024                                  | + 11                 | 0,024                                  | + 55                 | 0,024                                  | + 12                 | 0,023                                  | + 4                  | 0,023                                  | + 3                  |
| 3650–3600         | 0,031                                  | - 2                  | 0,031                                  | + 74                 | 0,031                                  | + 15                 | 0,032                                  | + 7                  | 0,032                                  | + 15                 |
| 3600–3550         | 0,023                                  | + 5                  | 0,023                                  | +114                 | 0,023                                  | + 38                 | 0,023                                  | + 17                 | 0,023                                  | + 13                 |
| 3550–3500         | 0,026                                  | + 9                  | 0,026                                  | +126                 | 0,026                                  | + 42                 | 0,026                                  | + 14                 | 0,026                                  | + 19                 |
| 3500–3450         | 0,085                                  | + 34                 | 0,085                                  | +166                 | 0,085                                  | + 64                 | 0,086                                  | + 38                 | 0,086                                  | + 22                 |
| 3450–3400         | 0,157                                  | + 44                 | 0,157                                  | +166                 | 0,157                                  | + 80                 | 0,165                                  | + 47                 | 0,165                                  | + 31                 |
| 3400–3350         | 0,296                                  | + 50                 | 0,296                                  | +186                 | 0,296                                  | +104                 | 0,294                                  | + 54                 | 0,294                                  | + 48                 |
| 3350–3300         | 0,433                                  | + 78                 | 0,433                                  | +221                 | 0,433                                  | +132                 | 0,423                                  | + 72                 | 0,423                                  | + 72                 |
| 3300–3250         | 0,449                                  | + 59                 | 0,449                                  | +176                 | 0,449                                  | +104                 | 0,469                                  | + 53                 | 0,469                                  | + 61                 |
| 3250–3200         | 0,510                                  | + 56                 | 0,510                                  | +161                 | 0,510                                  | + 98                 | 0,524                                  | + 46                 | 0,524                                  | + 48                 |
| 3200–3150         | 0,675                                  | + 58                 | 0,675                                  | +170                 | 0,675                                  | +114                 | 0,711                                  | + 55                 | 0,711                                  | + 68                 |
| 3150–3100         | 0,840                                  | + 46                 | 0,840                                  | +172                 | 0,840                                  | +105                 | 0,871                                  | + 54                 | 0,871                                  | + 73                 |
| 3100–3050         | 0,796                                  | + 38                 | 0,796                                  | +151                 | 0,796                                  | + 94                 | 0,809                                  | + 41                 | 0,809                                  | + 61                 |
| 3050–3000         | 0,639                                  | + 10                 | 0,639                                  | +106                 | 0,639                                  | + 78                 | 0,657                                  | + 26                 | 0,657                                  | + 38                 |
| 3000–2950         | 0,642                                  | - 12                 | 0,642                                  | + 79                 | 0,642                                  | + 55                 | 0,629                                  | + 2                  | 0,629                                  | + 14                 |
| 2950–2900         | 0,587                                  | - 36                 | 0,587                                  | + 53                 | 0,587                                  | + 43                 | 0,618                                  | - 24                 | 0,618                                  | - 3                  |
| 2900–2850         | 0,500                                  | - 60                 | 0,500                                  | + 28                 | 0,500                                  | + 19                 | 0,519                                  | - 54                 | 0,519                                  | - 22                 |
| 2850–2800         | 0,418                                  | - 91                 | 0,418                                  | - 7                  | 0,418                                  | 0                    | 0,400                                  | - 74                 | 0,400                                  | - 46                 |
| 2800–2750         | 0,602                                  | -124                 | 0,602                                  | - 27                 | 0,602                                  | - 33                 | 0,617                                  | -126                 | 0,617                                  | - 83                 |
| 2750–2700         | 0,357                                  | -199                 | 0,357                                  | - 91                 | 0,357                                  | - 86                 | 0,349                                  | -210                 | 0,349                                  | -152                 |
| 2700–2650         | 0,364                                  | -249                 | 0,364                                  | -170                 | 0,364                                  | -129                 | 0,388                                  | -210                 | 0,388                                  | -199                 |
| 2650–2600         | 0,218                                  | -295                 | 0,195                                  | -228                 | 0,195                                  | -205                 | 0,214                                  | -286                 | 0,214                                  | -267                 |
| 2600–2550         | 0,144                                  | -362                 | 0,126                                  | -270                 | 0,126                                  | -248                 | 0,110                                  | -316                 | 0,110                                  | -305                 |
| 2550–2500         | 0,102                                  | -418                 | 0,085                                  | -343                 | 0,085                                  | -301                 | 0,073                                  | -349                 | 0,073                                  | -333                 |
| 2500–2450         | 0,035                                  | -509                 | 0,019                                  | -420                 | 0,019                                  | -341                 | 0,042                                  | -389                 | 0,042                                  | -383                 |
|                   | 8,96                                   | -31,4                | 8,88                                   | +76,1                | 0,88                                   | +41,1                | 9,079                                  | -21,9                | 9,079                                  | -5,0                 |

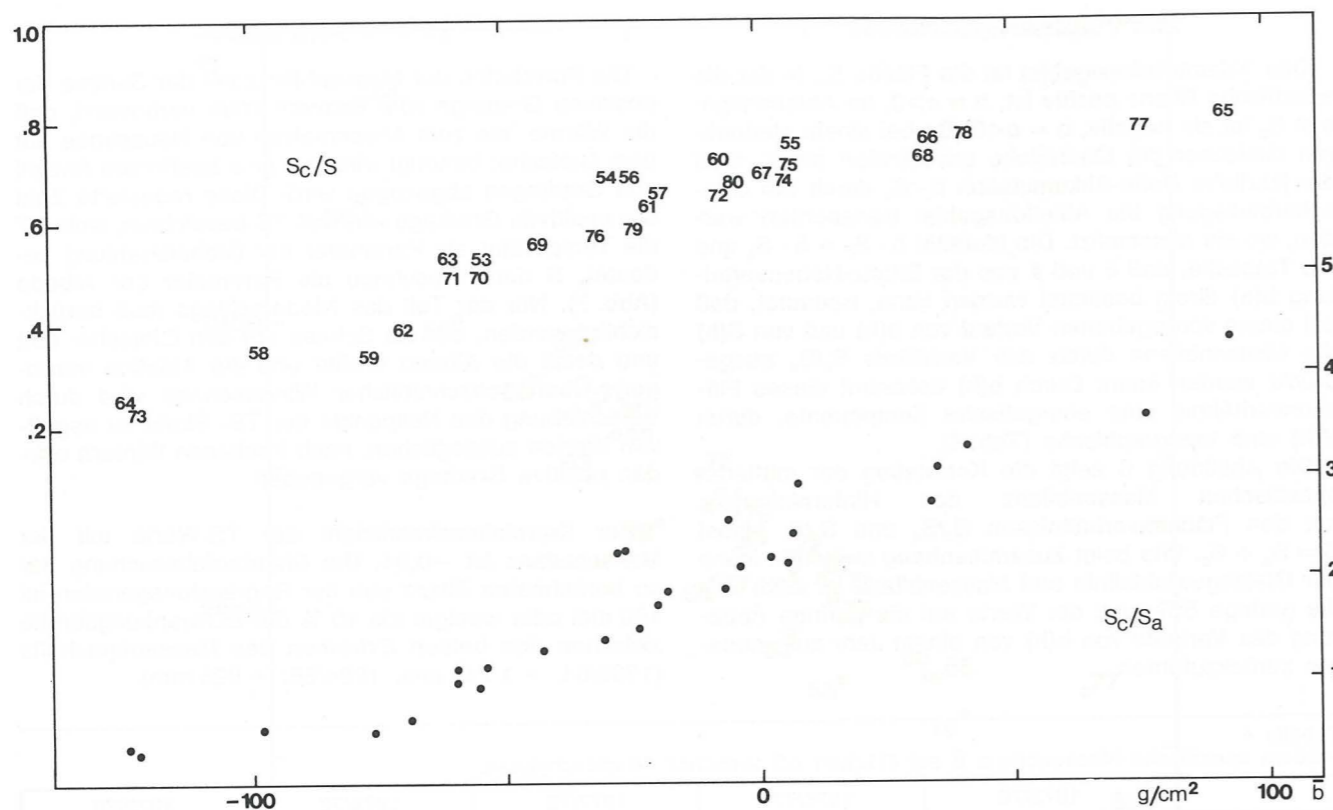


Abb. 6: Hintereisferner: Flächenverhältnisse und mittlere spezifische Massenbilanz.

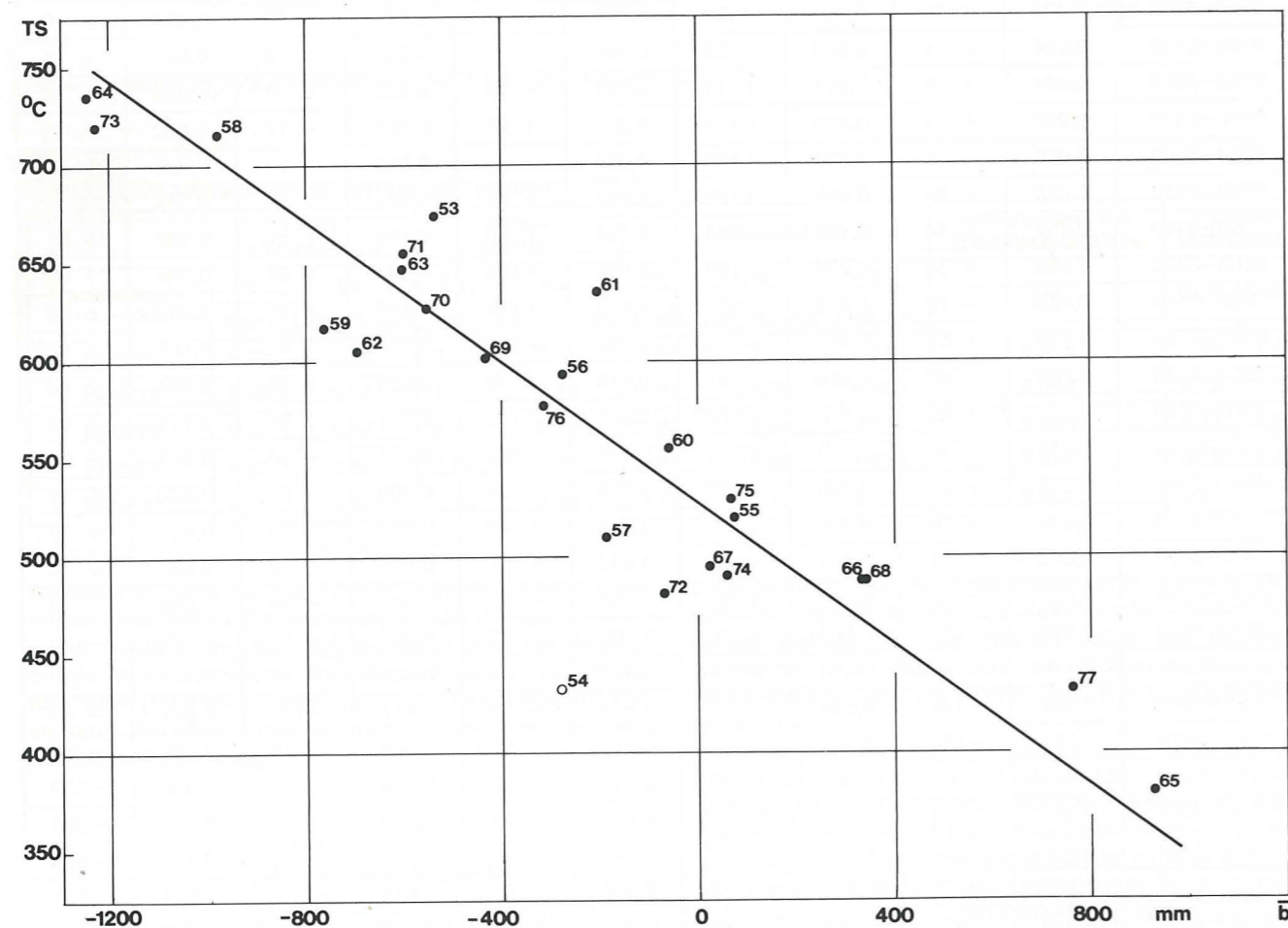


Abb. 7: Hintereisferner: TS-Werte und mittlere spezifische Massenbilanz.

## 2.8. Klimadaten

Während des internationalen hydrologischen Programms wurde die Erfassung von Klimadaten in Vent (1.906 m), vor der Zunge des Hintereisferners (2.442 m) und an der Station Hintereis (3.030 m) fortgesetzt.

In Vent war am 31. 12. 1977 der tägliche Klimadienst aus personellen Gründen eingestellt worden. Dadurch mußte die Registrierung der Sonnenscheindauer, die Beobachtung der Bewölkung und des Witterungsablaufs fallen gelassen werden. Nach wie vor wird aber der Luftdruck, die Temperatur, die relative Feuchte, der Wind und der Niederschlag registriert.

An der Station Hintereisferner-Zunge werden ebenfalls Temperatur, relative Feuchte und Wind (Woelfle) registriert. Der Niederschlag aus Wartungsgründen jedoch nur im Sommer mit einer Niederschlagswaage.

Auf der Station Hintereis wurden bis zum Juni 1977 die Temperatur und die relative Feuchte mit Thermohygrographen registriert, was aber nur während der Ablationsperiode möglich war. Die Datenerfassung wurde dann auf Magnetband (Energieversorgung mit Solarzellen) umgestellt und erlaubt einen ganzjährigen Betrieb (Temperaturjahresmittel 1978:  $-5,0^{\circ}\text{C}$ ). Die relative Feuchtigkeit und der Luftdruck werden nur im Sommer registriert.

Im Sommer werden die Geräte an den Gletscherstationen alle 10 bis 14 Tage, während der Arbeitseinsätze ständig und im Winter monatlich kontrolliert und gewartet. Dadurch wird eine befriedigende Genauigkeit gewährleistet, was sich auch in den erhaltenen mittleren Temperaturgradienten zwischen den Stationen niederschlägt. Darin zeichnet sich nicht nur die mittlere Temperaturschichtung der Atmosphäre, sondern auch ein

„Ausaperungseffekt“ ab. Es zeigt sich eine „Überhitzung“ der tiefer liegenden Stationen im Mai und Juni gegenüber der Station Hintereis, bei der zu dieser Zeit noch winterliche Bedingungen vorherrschen. Die größeren Gradienten in diesen Monaten täuschen auf Grund der unterschiedlichen Bodenbeschaffenheit an den Stationen eine etwas labilere Schichtung der Atmosphäre vor. Sie wird in der freien Atmosphäre etwas abgeschwächt vorhanden sein. Ein interessanter monatlicher Temperaturgradient tritt im November 1978 mit  $-0,1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  zwischen der Station Hintereis und Hintereisferner-Zunge auf. Es gab vom 1. bis zum 26. keinen Niederschlag und die Bewölkung bestand während dieser Zeit, wenn überhaupt, größtenteils aus hohen Wolken. Die Zungenstation hat im November auf Grund ihrer Horizontüberhöhung nur am Nachmittag kurz Sonne, wogegen die Station Hintereis auf dem Grat eines nach Süden geneigten Hanges liegt und in dieser Richtung nur eine geringe Überhöhung des Horizontes aufweist. Auf Grund dieser Gegebenheiten ergibt sich für die Zungenstation eine zu niedrige Monatsmitteltemperatur im Vergleich zur besonnten Umgebung auf selber Höhe.

## 3. Wärmehaushalt

Nach einer Reihe von Voruntersuchungen wurde im Sommer 1971 in 2.960 m Höhe eine Meßstation auf den Hintereisferner errichtet, um die Wärmehaushaltskomponenten und deren Veränderungen im Zusammenhang mit dem Witterungsablauf und den daraus resultierenden Auswirkungen auf den Massenhaushalt während einer Ablationsperiode studieren zu können.

Tabelle 5

Mittelwerte der Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ], berechnet aus  $(7 + 19 + \text{Max.} + \text{Min.})/4$  und Niederschlagssummen [mm] in Vent in den Jahren 1975–1980.

| Jahr | Temperatur   |                       |                                 | Niederschlag |                       |                                 |
|------|--------------|-----------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------|---------------------------------|
|      | Jahresmittel | Sommer 1. 6. – 31. 8. | Ablationsperiode 1. 5. – 30. 9. | Jahressumme  | Sommer 1. 6. – 31. 8. | Ablationsperiode 1. 5. – 30. 9. |
| 1975 | 1.5          | 8.5                   | 7.9                             | 763          | 317                   | 478                             |
| 1976 | 1.1          | 8.8                   | 7.3                             | 642          | 206                   | 374                             |
| 1977 | 1.9          | 8.6                   | 7.1                             | 727          | 298                   | 405                             |
| 1978 | 1.4          | 8.2                   | 6.8                             | 564          | 183                   | 303                             |
| 1979 | 1.0          | (8.5)                 | 7.2                             | 823          | 226                   | 367                             |
| 1980 | 0.8          | (8.8)                 | 7.3                             | 481          | 160                   | 229                             |

Tabelle 6

Mittelwerte der Temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ], berechnet aus  $(7 + 19 + \text{Max.} + \text{Min.})/4$  an der Hintereisferner-Zunge (2442 m) und an der Station Hintereis (3030 m) in den Jahren 1975–1980.

| Jahr | Hintereisferner-Zunge |                             | Station Hintereis     |                             |
|------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|
|      | Sommer 1. 6. – 31. 8. | Abl.-Periode 1. 5. – 30. 9. | Sommer 1. 6. – 31. 8. | Abl.-Periode 1. 5. – 30. 9. |
| 1975 | 5.3                   | 4.6                         | 1.7                   | 0.8                         |
| 1976 | 5.7                   | 4.0                         | 1.6                   | 0.1                         |
| 1977 | 5.3                   | 3.9                         | 1.1                   | -0.1                        |
| 1978 | 5.2                   | 3.9                         | 0.8                   | 0.5                         |
| 1979 | 5.4                   | 4.0                         | 1.5                   | 0.6                         |
| 1980 | 5.5                   |                             | 1.3                   | 0.4                         |

Die Abbildung 8 zeigt den Verlauf der kurzwelligen, der langwelligen und der Gesamtbilanz von Juli bis September 1971 an der Hauptstation Hintereisferner. Die langwellige Bilanz zeigt einen bis ins Detail gehenden konphasen Verlauf mit der Bewölkung. Außerdem fällt der antiphase Verlauf von langwelliger und kurzwelliger Strahlungsbilanz auf. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß bei geringen Albedoschwankungen die kurzwellige Bilanz nur vom Betrag der Globalstrahlung abhängt.

Während die Globalstrahlung mit zunehmender Bewölkung kleiner wird, nimmt die langwellige Bilanz zu. Insgesamt sieht man aber aus den Abbildungen, daß die Gesamtstrahlungsbilanz (B) positiv mit der kurzwelligen Bilanz ( $S + D + R_H - R$ ) korreliert ist, während

Tabelle 7  
Mittlere Temperaturgradienten [ $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ] zwischen der Station Vent (1906 m), Hintereisferner-Zunge (2442 m) und der Station Hintereis (3030 m).

| Jahr | Vent – Station Hintereis |                               | Vent – Hintereisferner-Zunge |                               | Hintereisferner-Zunge – Station Hintereis |                               |
|------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|
|      | Sommer 1.6. – 31.8.      | Ablationsperiode 1.5. – 30.9. | Sommer 1.6. – 31.8.          | Ablationsperiode 1.5. – 30.9. | Sommer 1.6. – 31.8.                       | Ablationsperiode 1.5. – 30.9. |
| 1975 | 0.60                     | 0.63                          | 0.60                         | 0.62                          | 0.61                                      | 0.65                          |
| 1976 | 0.64                     | 0.64                          | 0.58                         | 0.62                          | 0.70                                      | 0.66                          |
| 1977 | 0.67                     | (0.64)                        | 0.62                         | 0.60                          | 0.72                                      | 0.68                          |
| 1978 | 0.66                     | (0.65)                        | 0.56                         | 0.54                          | 0.75                                      | 0.75                          |
| 1979 | (0.62)                   | (0.59)                        | (0.58)                       | (0.60)                        | 0.66                                      | 0.58                          |
| 1980 | (0.65)                   | (0.62)                        | (0.57)                       | (0.55)                        | 0.72                                      | (0.68)                        |

Tabelle 8  
Niederschlagswerte von Totalisatoren im Raum Hintereisferner [in mm] im Zeitraum 1975/76 bis 1979/80.

|         | RM VENT (1900 m)        |                        |                     |                            | HOCHJOCHHOSPITZ (2360 m)      |                        |                     |                            |
|---------|-------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------------|
|         | Akk.-Per. 1.10. – 30.4. | Abl.-Per. 1.5. – 30.9. | Sommer 1.6. – 31.8. | Hydrol. Jahr 1.10. – 30.9. | Akk.-Per. 1.10. – 30.4.       | Abl.-Per. 1.5. – 30.9. | Sommer 1.6. – 31.8. | Hydrol. Jahr 1.10. – 30.9. |
| 1975/76 | 188                     | 402                    | 215                 | 590                        | 233                           | 436                    | 240                 | 669                        |
| 1976/77 | 450                     | 446                    | 324                 | 896                        | 526                           | 514                    | 351                 | 1040                       |
| 1977/78 | 312                     | 360                    | 212                 | 672                        | 374                           | 422                    | 260                 | 796                        |
| 1978/79 | 297                     | 438                    | 263                 | 735                        | 417                           | 481                    | 304                 | 898                        |
| 1979/80 | 361                     | 276                    | 192                 | 637                        | 455                           | 341                    | 238                 | 796                        |
|         | PROVIANTDEPOT (2780 m)  |                        |                     |                            | ROFENBERG (2850 m)            |                        |                     |                            |
| 1975/76 | 249                     | 510                    | 293                 | 759                        | 327                           | 521                    | 282                 | 848                        |
| 1976/77 | 513                     | 547                    | 382                 | 1060                       | 672                           | 551                    | 412                 | 1223                       |
| 1977/78 | 350                     | 468                    | 270                 | 818                        | 472                           | 571                    | 349                 | 1043                       |
| 1978/79 | 390                     | 557                    | 947                 | 947                        | 516                           | 575                    | 347                 | 1091                       |
| 1979/80 | 450                     | 408                    | 858                 | 858                        | 479                           | 415                    | 286                 | 894                        |
|         | HINTEREISALM (2900 m)   |                        |                     |                            | HINTEREISFERNER, neu (2970 m) |                        |                     |                            |
| 1975/76 | 355                     | 591                    | 328                 | 946                        | 319                           | 621                    | 317                 | 940                        |
| 1976/77 |                         |                        |                     | 1319                       | 922                           | 836                    | 515                 | 1758                       |
| 1977/78 | 450                     | 624                    | 370                 | 1074                       | 659                           | 719                    | 390                 | 1378                       |
| 1978/79 | 540                     | 658                    | 427                 | 1198                       | 667                           | 742                    | 468                 | 1409                       |
| 1979/80 | 532                     | 568                    | 394                 | 1100                       | 685                           | 657                    | 458                 | 1342                       |

für die langwellige Bilanz (A – E) keine Korrelation mit (B) feststellbar ist. Die Ursache dafür ist vor allem die im Mittel abnehmende Albedo der Gletscheroberfläche während des Sommers, was höhere Werte der kurzwelligen Bilanz zur Folge hat. Die Beträge der kurzwelligen Bilanz sind über weite Teile des Sommers doppelt so groß wie die der langwelligen Bilanz.

### 3.1. Messungen von Eis- und Firntemperaturen am Hintereisferner

Am Hintereisferner (Ötztal, Tirol) wird seit Sommer 1972 in 2.800 m Seehöhe an einem 15 m tiefen Profil die Temperatur des Gletschereises mit Thermoelementen gemessen. Seit Herbst 1975 erfolgten die Messungen zusätzlich in einem Längsprofil mit 5 Meßstellen zwischen 3.150 und 2.550 m Seehöhe mittels Thermistoren in Tiefen bis zu 16 m. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind gekennzeichnet durch

- das Eindringen der Winterkälte und
- durch die sommerliche Erwärmung in Verbindung mit dem Abschmelzen der Winterschneedecke.

In 10 m Tiefe trifft bei Station 28 die Winterkälte sehr verspätet ein und die Jahresschwankung der Eistemperatur beträgt nur wenige Zehntel Grad Celsius. Insgesamt stieg die 10 m-Temperatur von  $-1,5^{\circ}\text{C}$  (1972) auf  $-0,5^{\circ}\text{C}$  (1976) an. Im Längsprofil zeigt sich 1976 mit Einsetzen der Schneeschmelze die rasche Erwärmung des Firns auf  $0^{\circ}\text{C}$ , während im Ablationsgebiet die Eistemperaturen ab 2 m Tiefe leicht negativ blieben.

### 3.2. Oberflächen-Temperaturen

Die Temperatur einer Oberfläche wird von ihrem Energiehaushalt bestimmt und von der Möglichkeit von Phasenübergängen. Wenn die Summe von Strahlungsbilanz-, Bodenwärmestrom und turbulenten Strömen fühlbarer- und Verdunstungswärme positiv ist, schmilzt

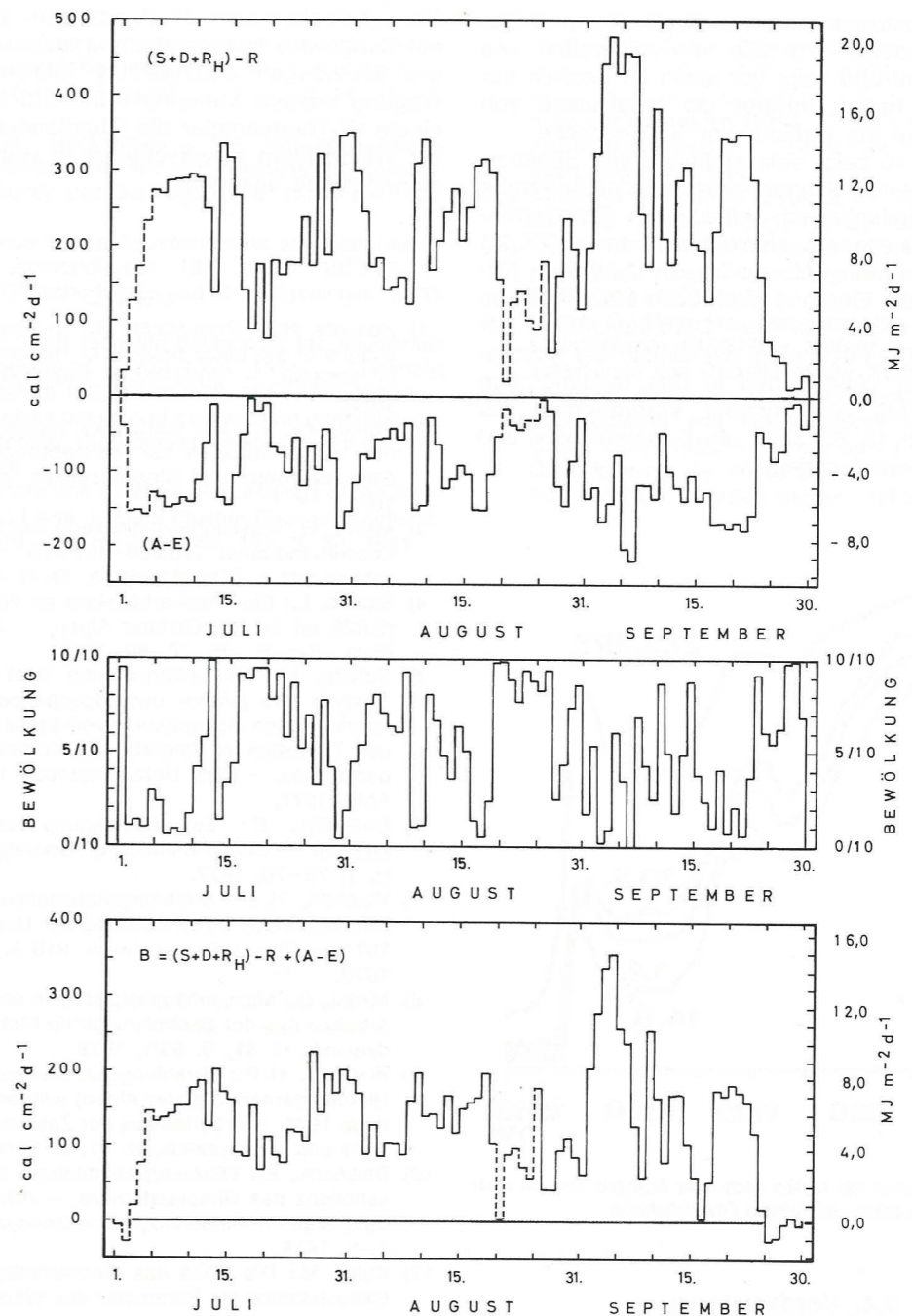


Abb. 8: Verlauf der kurzwelligen  $(S + D + R_H) - R$ , der langwelligen  $(A - E)$  und der Gesamtstrahlungsbilanz  $B$  an der Hauptstation Hintereisferner von Juli bis September und Tagesmittel der Bewölkung ( $6^{\text{h}} - 22^{\text{h}}$ ).

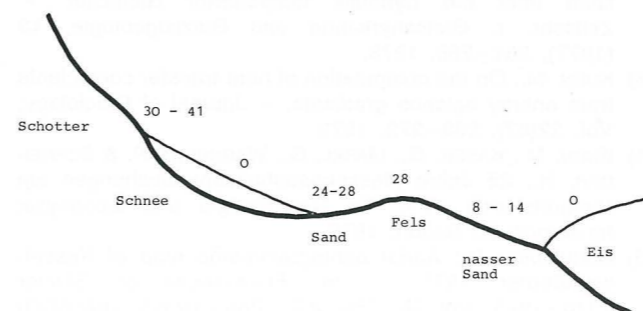


Abb. 9: Strahlungstemperaturen am Rand des Hintereisferners [ $^{\circ}\text{C}$ ]; 2400–2500 m, 29. Mai 1977.

eine Eisfläche und bleibt auf  $0^{\circ}\text{C}$ , während unter den gleichen Bedingungen Steine auf erhebliche positive Temperaturen aufgeheizt werden (Abb. 9). Im Vorfeld des Hintereisferners wurden im Juli mit einem Infrarotthermometer an trockenen Steinen Temperaturen von über  $40^{\circ}\text{C}$  beobachtet, an windausgesetzten Stellen wirkte der turbulente Austausch mit der kälteren Luft abkühlend auf die Steine, im feuchten Sand lagen wegen der Verdunstung die Temperaturen bei  $10^{\circ}$ , während sie bei trockenem Sand ca.  $25^{\circ}\text{C}$  betragen.

### 3.3. Der Spektralverlauf der Albedo

Die von Schnee- und Eisflächen reflektierte Energie dringt zum größten Teil erst in das Medium ein, bevor

sie durch Vielfachstreuung nach oben gelenkt wird. Das Spektrum der Albedo wird also von Absorption und Streuung bestimmt und zeigt vor allem im Bereich der H<sub>2</sub>O-Banden im nahen Infrarot die Möglichkeit von Rückschlüssen auf die Struktur der Schneedecke.

Die Abbildung 10 zeigt eine Meßserie von Spektren der von einer ebenen Schneefläche auf der Seegrube bei Innsbruck hemisphärisch reflektierten Globalstrahlung. Bei frischgefallenem, trockenem Schnee (27. 3.) ist die Single Scattering Albedo wegen der feinen Kristallstruktur nahezu Eins und die Albedo bleibt auch im nahen Infrarot hoch. Mit der Durchfeuchtung der Schneedecke (30. 3.) überwiegt der Einfluß der Absorption an flüssigem Wasser und in den metamorphen Schneekörnern. Mit zunehmender Vergrößerung der Körper (1. 4. und 14. 6.) sinkt die Gesamtalbedo und die H<sub>2</sub>O-Banden werden tiefer.

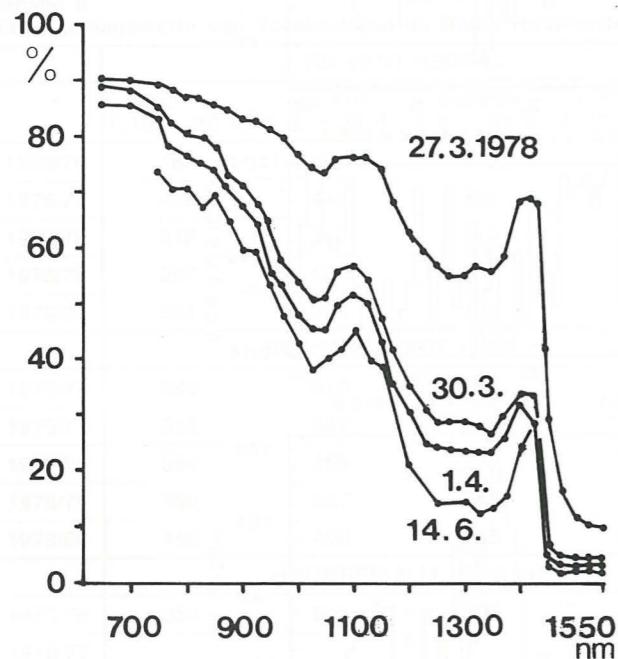


Abb. 10: Spektraler Verlauf der Albedo nach einer Meßserie der von einer ebenen Schneefläche reflektierten Globalstrahlung.

### 3.4. Verdunstung

Am HEF werden seit dem Sommer 1978 Messungen zur Untersuchung der Verdunstung von Schnee und Eis durchgeführt. Dabei dienen 10 Liter-Plexiglasbehälter als Lysimetertöpfe. Es werden jeweils 2 dieser Töpfe ineinander gestellt, der Äußere wird in die Schneedecke eingelassen, der Innere wird mit Schnee gefüllt und in bestimmten Zeitabständen herausgenommen und gewogen. Die Gewichtsunterschiede zwischen den Meßterminen werden auf 0,5 g genau bestimmt. Bei einer Oberfläche von 400 cm<sup>2</sup> entspricht 1 g Gewichtsabnahme einer Verdunstung von 0,025 mm. Dieselbe Meßmethode wird mit etwas mehr Arbeitsaufwand auf dem Gletschereis angewandt.

Im Sommer 1980 konnten mehrere Meßreihen durchgeführt werden. An der Station Hintereis (3.026 m) wurden zwischen dem 23. 7. und dem 3. 8. insgesamt 203 stündliche Messungen gemacht. In Abständen von mehreren Stunden wurden gleichzeitig an der Hauptstation (2.960 m in Gletschermitte) Wägungen durchge-

führt. Zwischen dem 21. 8. und dem 29. 8. wurden an der Zunge des Hintereisferners insgesamt 139 stündliche Messungen durchgeführt. Gleichzeitig mit jeder Wägung wurden Lufttemperatur und Dampfdruck, mit einem IR-Thermometer die Oberflächentemperatur und mit Windzählern in verschiedenen Höhen die Windgeschwindigkeit bestimmt.

### Literatur

- 1) HOINKES, H. & STEINACKER, R.: Hydrometeorological implications of the mass balance of Hintereisferner, 1952-53 to 1968/69. - IAHS-AISH Publ. No. 104, 144-149, 1975.
- 2) SCHNEIDER, H.: Die Karte des Kesselwandferners 1971 und die Grundlagen der Vermessungen. - Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, XI, H. 2, 229-244, 1975.
- 3) MARKL, G.: Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1968/69-1974/75. - Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, XI, H. 2, 271-272, 1975.
- 4) SIOGAS, L.: Die Windverhältnisse an der Station Hintereis (3.026 m) in den Öztaler Alpen. - Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B., 25, 79-89, 1977.
- 5) SIOGAS, L.: Die Luftdruckreihe Vent 1935-1970. Eine Analyse des jahres- und tagesperiodischen sowie des aperiodischen Schwankungsverhaltens an einer inneralpinen Talstation im Vergleich zu anderen Stationen des Alpenraumes. - Diss. Univ. Innsbruck, 150 S., 34 Tab., 25 Abb., 1977.
- 6) DREISEITL, E.: Zur Berechnung der Eisablation. - Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, XII(1976), H. 1, 75-78, 1977.
- 7) WAGNER, H. P.: Strahlungshaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner/Ötztal während der Hauptablationsperiode 1971. - Diss. Univ. Innsbruck, 216 S., 99 Tab., 46 Abb., 1978.
- 8) MARKL, G.: Massenhaushaltsstudien am Hintereisferner. - Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, H. 31, S. 55/1, 1978.
- 9) WAGNER, H. P.: Strahlungshaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner (Ötztaler Alpen) während der Ablationsperiode 1971. - Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, H. 31, S. 56/1, 1978.
- 10) DREISEITL, E.: Witterungsklimatologie von Vent und Massenbilanz des Hintereisferners. - Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, H. 31, S. 57/1-5, 1978.
- 11) KUHN, M.: Die Höhe des Geschwindigkeitsmaximums im Gletscherwind als Parameter des Wärmehaushalts. - Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, H. 31, S. 69/1-8, 1978.
- 12) MARKL, G., WAGNER, H. P.: Messungen von Eis- und Firntemperaturen am Hintereisferner (Ötztaler Alpen). Symposium über die Dynamik temperierter Gletscher. - Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, 13 (1977), 261-265, 1978.
- 13) KUHN, M.: On the computation of heat transfer coefficients from energy balance gradients. - Journal of Glaciology, Vol. 22(87), 263-272, 1979.
- 14) KUHN, M., KASER, G., MARKL, G., WAGNER, H. P. & SCHNEIDER, H.: 25 Jahre Massenhaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner, Inst. für Meteorologie und Geophysik Innsbruck, 80 Seiten, 1979.
- 15) SCHNEIDER, H.: Aerial photogrammetric map of Kesselwandferner 1971. - In: Fluctuations of Glacier 1970-1975, Vol. III, 250-252, Paris (IAHS-UNESCO) 1977.
- 16) WAGNER, H. P.: Strahlungshaushaltsuntersuchungen an einem Ostalpengletscher während der Hauptablationsperiode. Teil 1, Kurzwellige Strahlung. - Arch. Met. Geoph. Bioklimat., Ser. B., Bd. 27, 297-324, 1979.

- 17) WAGNER, H. P.: Strahlungshaushaltsuntersuchungen an einem Ostalpengletscher während der Hauptablationsperiode. Teil 2, Langwellige Strahlung und Strahlungsbilanz. - Arch. Met. Geoph. Bioklimat., Ser. B. Bd. 28, 41-62, 1980.
- 18) STEINACKER, R.: Rückrechnung des Massenhaushaltes des Hintereisferners mit Hilfe von Klimadaten. - Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 15(1), 101-104, 1980.
- 19) MARKL, G.: Neue Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1975/76 - 1977/78. - Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 15(1), 95-99, 1980.
- 20) WAGNER, H. P.: The radiation balance at the equilibrium line of Hintereisferner (Ötztal Alps), 1971. - Materialy Glatsiologicheskikh Issledovaniy, 38, 185-187, 1980.
- 21) DREISEITL, E.: Mass balance of glaciers and general circulation. - Materialy Glatsiologicheskikh Issledovaniy, 38, 187-196, 1980.
- 22) KUHN, M.: Climate and Glaciers. Proceedings of the Symposium on Sea Level, Ice and Climate Change, Canberra, December 1979. - IAHS Publ. No. 131, 3-20, 1981.

- 23) KUHN, M.: Begleitworte zur Karte des Hintereisferners 1979, 1 : 10.000. - Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 16(1), 117-124, 1979.
- 24) KUHN, M., NICKUS, U. & PELLET, F.: Die Niederschlagsverhältnisse im inneren Ötztal. 17. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie. - Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 235-237, 1982.
- 25) KASER, G.: Verdunstung von Schnee und Eis. - Dissertation und Tabellenanhang, 152 S., 1981.
- 26) KASER, G.: Über die Verdunstung auf dem Hintereisferner. - Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 19(2), 149-162, 1982.
- 27) MARKL, G.: Neue Haushaltswerte von Hintereis- und Kesselwandferner 1977/78 - 1980/81. - Zeitschr. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 18(2), 161-167, 1981.
- 28) KUHN, M., KASER, G., MARKL, G., NICKUS, U. & PELLET, F.: Hydrologische und Glaziologische Untersuchungen im Ötztal, 1952-1982. - Bericht über Projekte, die von der Öst. Akademie der Wissenschaften im Rahmen von IHD, IHP und HÖT gefördert wurden, 1985.

Beitrag des Institutes für Geographie  
der Universität Salzburg  
zum IHP 1975–1980

## Projekt:

## Der Massenzuwachs des Stubacher Sonnblick-Keeses (Hohe Tauern)

Mit 4 Abbildungen und 3 Tabellen

Das Stubacher Sonnblickkees und das unmittelbar benachbarte Filleckkees sind seit 1963 Ziel detaillierter Massenbilanzuntersuchungen. Beide Gletscher liegen im Stubachtal in den mittleren Hohen Tauern am Ost- rand der Granatspitzgruppe. Das Sonnblickkees ist ein 1,7 km<sup>2</sup> großer, ostexponierter Hanggletscher und erstreckt sich zwischen 2500 und 3050 m Seehöhe. Das Filleckkees, ein kleiner Gletscher in Südexposition, der gegenwärtig nur eine schmale Firn-Verbindung mit dem Sonnblickkees hat, nimmt nur eine Fläche von 0,16 km<sup>2</sup> ein. Die Massenbilanzmessungen an beiden Gletschern wurden von 1965 bis 1974 im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade und von 1975 bis 1980 im Internationalen Hydrologischen Programm durchgeführt. Gleichzeitig waren die Massenbilanzbestimmungen ein Beitrag zum glaziologischen Projekt „Kombinierte Studien von Eis-, Wasser- und Wärmehaushalt vergletschelter Einzugsgebiete“, das von der Internationalen Kommission für Schnee und Eis der IASH ange-regt worden war. Bis 1980 war das Sonnblickkees eines der ausgewählten Testgebiete, die in einer West-Ost Kette in mittlerer Breite (ca. 45 Grad Nord) liegen; der Gletscher war das Bindeglied zwischen den Testglet-schern in den Alpen und den Gletschern im Kaukasus.

Aus der Notwendigkeit heraus, daß zahlreiche Fra-gen, die sich aus dem Zusammenhang zwischen Klima-schwankungen und Gletscherschwankungen ergeben, erst durch möglichst langjährige Massenbilanzmeßrei-hen an Gletschern einer Lösung nähergebracht werden können, waren die Messungen an den Gletschern im Stubachtal, vor allem am Sonnblick- und Ödenwinkel-kees, nach Ablauf der IHD im IHP fortgesetzt worden. Damit ergab sich nicht nur die Möglichkeit der Verlän-gerung der Meßreihe, sondern vor allem die Gelegen-heit, die Reaktion der Gletscher auf die im vorangegan-genen Jahrzehnt erfolgte Massenänderung zu untersu-chen und zu verfolgen.

Wie schon bisher wurde am Sonnblickkees jährlich der Massenhaushalt mit der direkten glaziologischen Methode aus der Differenz zwischen Netto-Akkumula-tion und Netto-Ablation durch direkte Messung an zahl-reichen Punkten der Gletscheroberfläche bestimmt. Am Sonnblickkees wurde als jährliche Meßperiode jeweils das natürliche Haushaltsjahr vom Beginn der Akkumula-tion bis zum tatsächlichen Ende der Ablation verwen-det und nicht das hydrologische Jahr. (Nähere Angaben

über die bei der Massenbilanzbestimmung verwendeten Methoden sind in (1) enthalten).

Das Sonnblickkees (2,3,4) ebenso wie das Filleck-kees (5) verzeichneten während der IHP-Meßperiode einen deutlichen Massenzuwachs. Alle sechs Haus-haltsjahre endeten mit einer positiven Bilanz. Tab. 1 enthält die Massenbilanzwerte vom Sonnblickkees ein-schließlich Filleckkees zwischen 1975 und 1980 und die Werte für das Filleckkees getrennt. Während das Sonn-blickkees im Jahr 1975/76 mit einer mittleren spezifi-schen Bilanz von 79 kg/m<sup>2</sup> nur einen gering positiven bzw. nahezu ausgeglichenen Haushalt hatte, waren die beiden Jahre 1977/78 und 1979/80 stark positive (833 und 834 kg/m<sup>2</sup>). Das Filleckkees hatte, mit Ausnahme des Jahres 1978/79, in allen Jahren einen etwas stär-keren spezifischen Netto-Massenzuwachs als das Sonnblickkees.

Der gesamte Massengewinn während des IHP betrug beim Sonnblickkees 4,440·10<sup>9</sup> kg (4,4 Mio. m<sup>3</sup> Wasser), das entspricht einer mittleren spezifischen Massenbilanz über den ganzen Gletscher von 2515 kg/m<sup>2</sup> (Tab. 1). Das Filleckkees vergrößerte seine Masse im selben Zeitraum um 0,445·10<sup>9</sup> kg bzw. 2930 kg/m<sup>2</sup> (Tab. 1). Der durchschnittliche spezifische Nettozu-wachs während der sechs Jahre betrug beim Sonnblick-kees 419 kg/m<sup>2</sup> und beim Filleckkees 488 kg/m<sup>2</sup>.

Tabelle 1  
Netto-Massenbilanz B [10<sup>9</sup> kg] und mittlere spezifische Netto-Massenbilanz  $\bar{b}$  [kg/m<sup>2</sup>] vom Stubacher Sonnblickkees (1772 km<sup>2</sup>) und vom Filleckkees (0,160 km<sup>2</sup>) während des IHP 1975–1980.

| Jahr    | Stubacher Sonnblickkees einschließlich Filleckkees |           | Filleckkees |           |
|---------|--|-----------|-------------|-----------|
|         | B  | $\bar{b}$ | B           | $\bar{b}$ |
| 1974/75 | +0,698   | + 397     | 0,083       | + 560     |
| 1975/76 | +0,140   | + 79      | 0,041       | + 280     |
| 1976/77 | +0,261   | + 148     | 0,034       | + 230     |
| 1977/78 | +1,476   | + 833     | 0,140       | + 870     |
| 1978/79 | +0,397   | + 224     | 0,020       | + 130     |
| 1979/80 | +1,468   | + 834     | 0,127       | + 860     |
| Summe   | +4,440   | +2515     | 0,445       | +2930     |
| Mittel  | 0,740/J.   | +419/J.   | 0,074/J.    | +488/J.   |

Wasseräquivalent  
in m

## STUBACHER SONNBLICKKEES

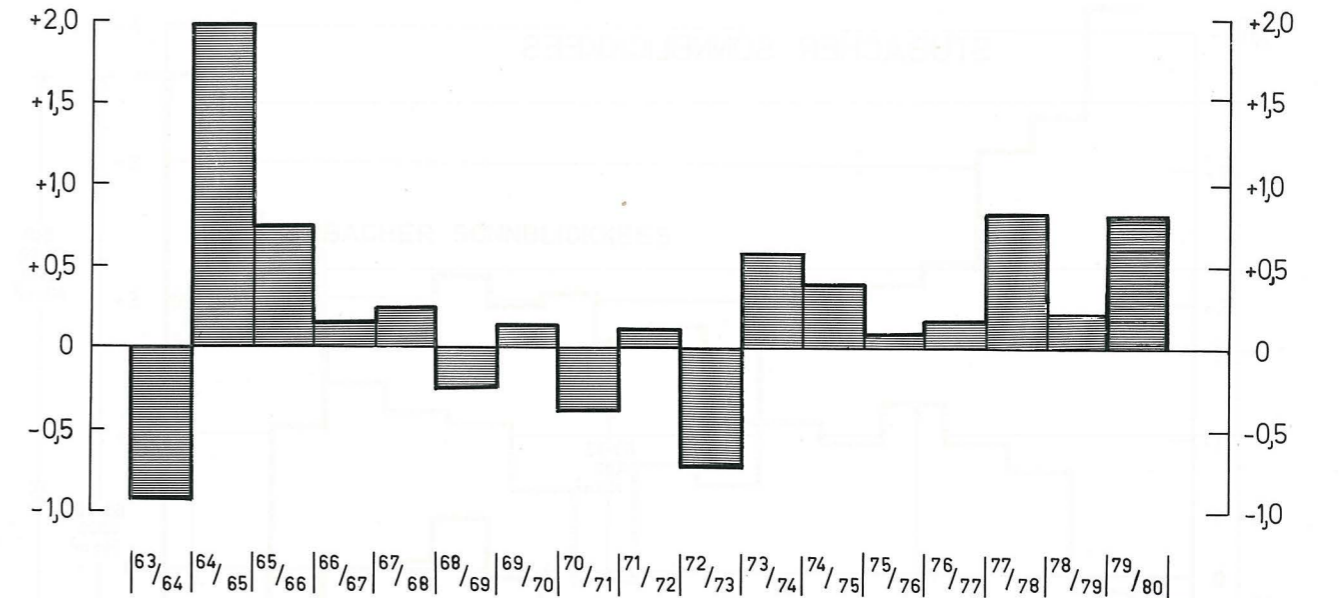


Abb. 1: Jährliche Massenbilanzwerte des Stubacher Sonnblickkeeses in der Meßreihe 1963/64 bis 1979/80.

Ein im September 1980 am Filleckboden in einer Seehöhe von 2751 m und damit im Bereich der Gleichgewichtslinie des stationären Haushaltes gegrabener Tiefschacht durch die Rücklagen der sechs IHP-Jahre ergab eine Gesamtakkumulation von 9,28 m. Die Rücklagemessungen in den einzelnen Jahresschichten ergab folgende Werte (in kg/m<sup>2</sup>; in Klammer im Vergleich dazu die Netto-Bilanz des gesamten Sonnblickkeeses):

|          |            |
|----------|------------|
| 1974/75: | 914 (397)  |
| 1975/76: | 330 (79)   |
| 1976/77: | 1112 (148) |
| 1977/78: | 1266 (833) |
| 1978/79: | 780 (224)  |
| 1979/80: | 1258 (834) |

Die Gesamtbilanz an dieser Stelle während des IHP betrug 5660 kg/m<sup>2</sup> (Sonnblickkees: 2515 kg/m<sup>2</sup>).

Die Meßergebnisse zeigen, daß es nicht ohne weiteres möglich ist, aus nur einer Meßstelle auf die gesamte Gletscherbilanz zu schließen, wie dies aus dem Zusammenhang zwischen der Massenbilanz des Sonn-blickkeeses und der Massenbilanz in der Höhenstufe 2700–2750 m (d.i. der Bereich der Höhenlage der

Gleichgewichtslinie bei ausgeglichenem Haushalt) zu erwarten gewesen wäre. (Vgl. (1), S. 41). Jährliche geodätische Messungen ergaben an der Stelle, wo der Tiefschacht gegraben wurde, eine Aufhöhung der Glet-scheroberfläche von 3,6 m zwischen 1974 und 1980. Da der 1974 er-Horizont in 8,3 m Tiefe angetroffen wurde, bedeutet dies eine Submergenzbewegung (ein-schließlich Setzung des Altschnees bzw. Firns) von 5,7 m zwischen Herbst 1974 und Herbst 1980.

Überblickt man die nun vorliegende Meßreihe, so wa-ren 13 Massenbilanzen positiv und nur mehr 4 negativ, wobei bemerkenswerter Weise die letzten sieben Jahre ununterbrochen positive Bilanzen aufweisen (Abb. 1). Die Jahre 1977/78 und 1979/80 brachten – abgesehen von 1964/65 – die bisher stärksten jährlichen Massengewinne. 1963/64 und 1972/73 waren Jahre mit deut-lichem Massenverlust.

Die Massenänderung beim Sonnblickkees (Abb. 2) betrug für die gesamte Meßperiode +7,593·10<sup>9</sup> kg (Mio. m<sup>3</sup> Wasser), wobei während der sechs IHP-Jahre der Massenzuwachs von 4,440·10<sup>9</sup> kg nahezu ebenso hoch war wie während der zehn IHD-Jahre mit 4,650·10<sup>9</sup> kg (Tab. 2). Sieht man von dem stark negativen Jahr

Tabelle 2

Massenhaushaltswerte vom Sonnblick- und Filleckees für die einzelnen Meßperioden (B in 10<sup>9</sup> kg;  $\bar{b}$  in kg/m<sup>2</sup>).

|   |               | IHD 1965–1974 |           | IHP 1975–1980 |           | Meßreihe 1964–1980 |           |
|---|---------------|---------------|-----------|---------------|-----------|--------------------|-----------|
|   |               | B             | $\bar{b}$ | B             | $\bar{b}$ | B                  | $\bar{b}$ |
| Netto-Massenbilanz B                              | Sonnblickkees | 4,650         | 0,466/J.  | 4,440         | 0,740/J.  | 7,593              | 0,447/J.  |
|   | Filleckees    | 0,430         | 0,043/J.  | 0,445         | 0,074/J.  | 0,737              | 0,043/J.  |
| Mittlere spezifische Netto-Massenbilanz $\bar{b}$ | Sonnblickkees | 2600          | 260/J.    | 2520          | 420/J.    | 4180               | 250/J.    |
|   | Filleckees    | 2610          | 261/J.    | 2930          | 488/J.    | 4280               | 252/J.    |

Tabelle 3

Vergleich der mittleren spezifischen Netto-Massenbilanz  $\bar{b}$  [kg/m<sup>2</sup>] vom Sonnblickkees mit dem Hintereisferner.

|                 | IHD 1965–1974 |         | IHP 1975–1980 |         | Messreihe 1964–1980 |         |
|-----------------|---------------|---------|---------------|---------|---------------------|---------|
| Sonnblickkees   | +2600         | +260/J. | +2520         | +420/J. | +4180               | +250/J. |
| Hintereisferner | –1200         | –120/J. | + 650         | +110/J. | –1790               | –105/J. |

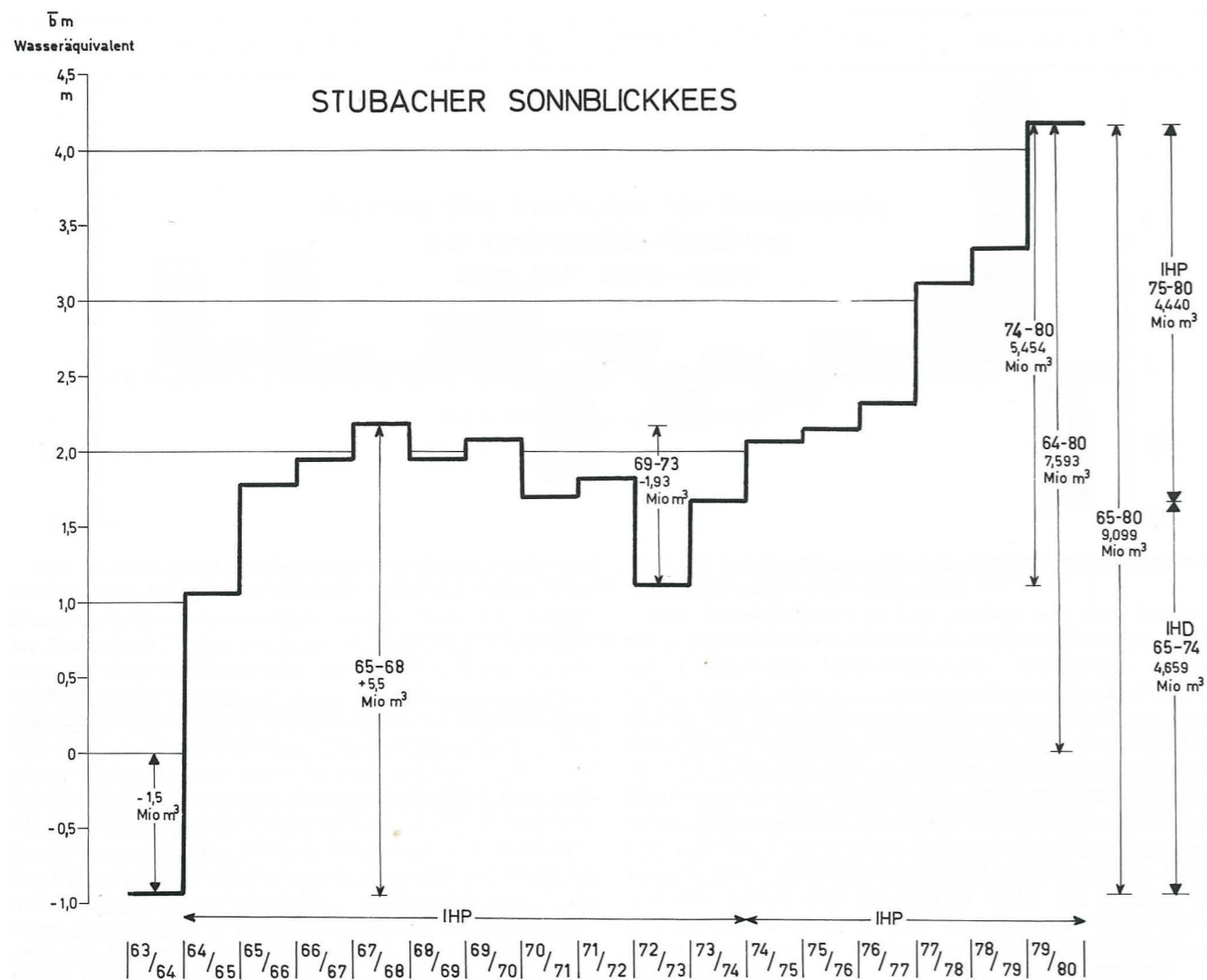


Abb. 2: Die Massenänderung beim Stubacher Sonnblickkees in der Meßreihe 1963/64 bis 1979/80.

1963/64 am Beginn der Meßreihe ab, so hat der Gletscher von 1965 bis 1980  $9,099 \cdot 10^9$  kg als Akkumulation gespeichert. Dies entspricht einem mittleren spezifischen Zuwachs von 5,11 m Wasseräquivalent (bzw. rund 8,5 m Firnzuwachs) über den ganzen Gletscher. Die mittlere spezifische Netto-Massenbilanz  $\bar{b}$  (Tab. 2) war für die gesamte Meßreihe  $4180 \text{ kg/m}^2$ . Der IHP-Wert von  $2520 \text{ kg/m}^2$  war etwa gleich dem IHD-Wert von  $2600 \text{ kg/m}^2$ ; für die IHP-Meßreihe ergibt sich daher ein beträchtlich höherer mittlerer spezifischer Massenzuwachs pro Jahr, nämlich  $420 \text{ kg/m}^2$ , gegenüber der IHD-Reihe mit  $260 \text{ kg/m}^2$ .

Die Zahlenwerte für die Netto-Massenbilanz sind beim Filleckkees wegen der geringen Gletscherfläche entsprechend kleiner (Tab. 2), der Vergleich der spezifischen Bilanzwerte ergibt ähnliche Größenordnungen wie beim gesamten Sonnblickkees.

Die Massenänderung des Stubacher Sonnblickkees zeigt große Unterschiede zu jener des Hintereisferners in den Ötztalern (Abb. 3). (Zahlenwerte aus: (6,7), sowie M. KUHN, pers. Mitt.). Der Massenzuwachs von 1965–68 war beim Hintereisferner weniger stark als beim Sonnblickkees, bis 1973 verlor der Hintereisferner wieder stark an Masse. Seit 1974 nimmt das Sonnblickkees gegenüber dem Hintereisferner deutlich stärker an Masse zu. In den 17 Vergleichsjahren betrug der Mas-

sengewinn des Sonnblickkees  $4180 \text{ kg/m}^2$ , d.i.  $250 \text{ kg/m}^2$  pro Jahr gegenüber einem Massenverlust des Hintereisferners von  $-1790 \text{ kg/m}^2$  oder  $-105 \text{ kg/m}^2$  pro Jahr (Tab. 3). Während der IHP-Meßperiode war die mittlere spezifische Massenbilanz  $\bar{b}$  beim Sonnblickkees fast vier Mal so hoch; die durchschnittliche jährliche spezifische Nettobilanz betrug beim Sonnblickkees  $420 \text{ kg/m}^2$ , beim Hintereisferner nur  $110 \text{ kg/m}^3$ . Während des IHD-Zeitraumes verzeichnete der Hintereisferner einen jährlichen Verlust von  $-120 \text{ kg/m}^2$ , das Sonnblickkees dagegen einen Zuwachs von  $260 \text{ kg/m}^2$  pro Jahr.

Mit Beginn der Massenbilanzmessungen am Sonnblickkees im Jahre 1963/64 war das Ende einer mehrere Jahrzehnte langen Periode des Massenverlustes und Gletscherrückganges erfaßt worden. Besonders in den Sommern 1963 und 1964 schmolz die Gletscherstirn noch stark ab (Abb. 4). Die anschließenden Jahre mit nur geringer Ausaperung des Gletschers führten zunächst zu einem langsamen Vorrücken des Eisrandes auf Grund der reduzierten Eisabschmelzung, die jährlichen Rückzugsbeträge in den Jahren 1969, 1971 und besonders 1973 führten aber noch zu einem Minimalstand der Länge des Sonnblickkeeses im Jahre 1973. Seit diesem Zeitpunkt stieß der Gletscher  $15,1 \text{ m}$  vor. Der Grund liegt darin, daß die im Nährgebiet in den

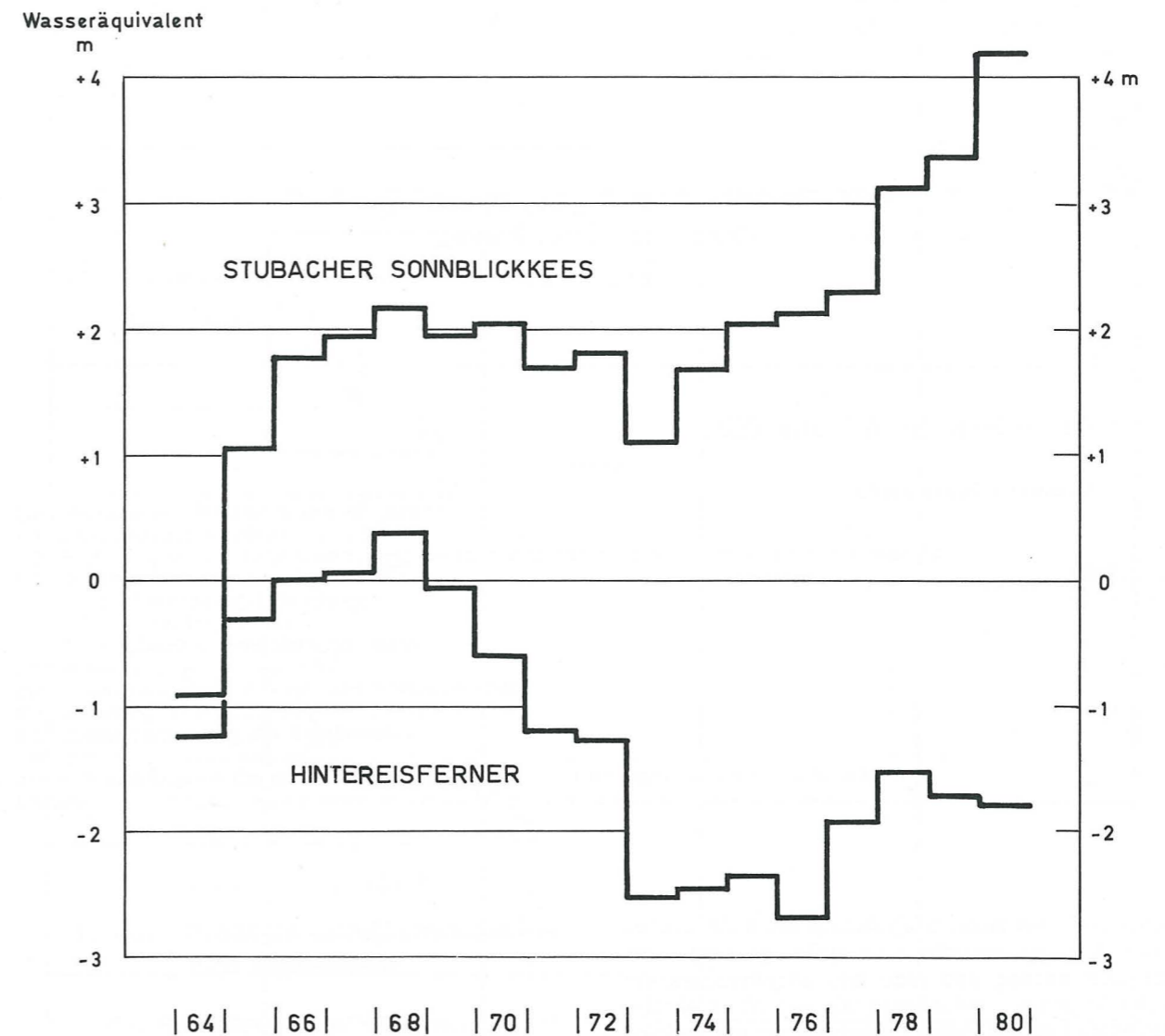


Abb. 3: Vergleich zwischen der Massenänderung des Stubacher Sonnblickkeeses mit der Massenänderung des Hintereisferners in der Meßreihe 1964 bis 1980.

60er-Jahren abgelagerte Masse bereits durch den Gletscher geflossen ist und die Gletscherstirn erreicht hat: Die Fließgeschwindigkeit an der Stirn ist gegenüber 1963/64 verdoppelt bis verdreifacht. Der Pegel 3/64 (orographisch rechts an der Gletscherstirn) zeigte von 1964 bis 1971 noch eine Senkung der Eisoberfläche von  $2 \text{ m}$ , von 1973 bis 1977 hob sich die Oberfläche um  $4 \text{ m}$ , von 1977 bis 1980 setzte der Eisnachschub voll ein und führte zu einer Dickenzunahme um  $7,2 \text{ m}$ .

Während der Hydrologischen Dekade blieb die Zunge des Sonnblickkeeses zwischen 1965 und 1974 mit  $+0,6 \text{ m}$  praktisch stationär, der Vorstoß von  $12,1 \text{ m}$  während des Hydrologischen Programmes war bereits eine Reaktion des Gletschers auf den vorangegangenen Massengewinn. Der Eisnachschub an der Zunge war ab 1973 größer als die Abschmelzung; dem kam die geringe Ausaperung des Gletschers und damit Verringerung der Eisablation während dieser Zeit entgegen.

An der Gletscherstirn schmelzen mehr und mehr größere Felsblöcke aus, vorne schiebt der Gletscher eine ein bis mehrere Meter breite und  $1-2 \text{ m}$  hohe Vorstoßmoräne her. Der Gletscher ist spaltenerzerrissen wie nie

zuvor, die Eisbuckel werden dicker und steiler und führen zu einer Akzentuierung der Oberflächentopographie, eine Felsinsel wird zunehmend überfahren. Alle morphologischen Anzeichen, die Ergebnisse der Bewegungsmessungen und besonders der festgestellte Massenzuwachs der vergangenen sieben Jahre lassen erwarten, daß der eigentliche Vorstoß des Sonnblickkeeses erst bevorsteht; er ist daher mit dem letzten IHP-Meßjahr 1980 noch keineswegs erfaßt worden.

Das Sonnblickkees, das im Einzugsgebiet des Speichers Weißsee der Österreichischen Bundesbahnen liegt, hat von 1965 bis 1980  $9,099 \text{ Mio. m}^3$  Wasser in fester Form zurückgehalten. Zusammen mit dem Weißseekees und den Firn- und Eisflecken im Einzugsgebiet dürften etwa  $12 \text{ Mio. m}^3$  Wasser gespeichert worden sein. Damit ging gerade während des IHD- und IHP-Zeitraumes eine Periode, die eine z.T. beträchtliche Gletscherspende in den hochalpinen Einzugsgebieten gebracht hatte, zu Ende. Nahezu mit Beginn der IHD setzte eine gegenteilige Phase ein, sie konnte beim Sonnblickkees mit den Massenbilanzuntersuchungen bis 1980 messend erfaßt werden. Eine Aussage über die langfristigen Auswirkungen auf den Wasserkreislauf bzw. auf die hydrologische Bilanz in vergletscherten,

## Beiträge der Biologischen Station Lunz zum IHP 1975-1980

Mit 8 Tabellen

### Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Zum Problem der Meromixie von Alpenseen .....   | 61 |
| 1.1 Einleitung und Vergleich .....   | 61 |
| 1.2 Ergänzungen zur Morphometrie und Hydrochemie des extrem meromiktischen Krottensees .....       | 63 |
| 1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse .....   | 63 |
| 1.3.1 Gebirgsseen in Hochlagen .....   | 63 |
| 1.3.2 „Übertiefe“ Seen .....   | 63 |
| 1.3.3 „Seichte meromiktische“ Seen .....   | 64 |
| Literatur .....  | 64 |
| 2. Zum hydrochemischen Problem des Neusiedlersees .....  | 64 |
| 2.1 Einleitung .....   | 64 |
| 2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse .....   | 66 |
| Literatur .....  | 66 |
| 3. Zur hydrochemischen Charakterisierung von Silikat- und Humusgewässern in Niederösterreich ..... | 66 |
| Literatur .....  | 67 |

### 1. Zum Problem der Meromixie von Alpenseen

#### 1.1. Einleitung und Vergleich

Zu Anfang der Dreißigerjahre fanden FINDENEKG (1933) in Kärnten und RUTNER (1937) im Salzkammergut, daß das Tiefenwasser mancher Alpenseen im Vorfrühling und im Spätherbst in die bei Homothermie und Dichtegleichheit mögliche Zirkulation nicht einbezogen wird, sondern viele Jahre undurchmischt verharrt. Dieser Teil der Wassermasse, von FINDENEKG (1) „Monimolimnion“ genannt, zeigt alle Folgen hydrochemischer und biologischer Natur, wie Sauerstoffschwund und anaerobe Zersetzung. Ein solches „Monimolimnion“ ist charakteristisch für die „meromiktischen“ Seen, fehlt aber in anderen derselben Region, den „holomiktischen“ Seen, wo zweimal im Jahr die homotherme Wassermasse durch Wind und Zuflüsse in Zirkulation versetzt, belüftet und erneuert wird. Auf diese Weise bleibt das Tiefenwasser für tierisches Leben, z. B. Fische und deren Nahrungstiere geeignet, was in meromiktischen Seen nicht der Fall ist.

Das Ausbleiben einer Wassermischung in den Zeiten der Homothermie hat seine Ursache in einer noch verbleibenden Dichteschichtung infolge ungleichen Salzgehalts. Einen solchen Konzentrationsgradienten weisen aber auch die holomiktischen Seen auf, nur daß bei diesen die Wasserbewegungen ausreichen, das meist nur geringe Dichtegefälle bis zum Grund zu überwinden. Es lag nahe, anzunehmen, daß die ungleiche Windexposition verschiedener Alpenseen die Zirkula-

tionsverhältnisse grundlegend bestimmt. Eine einwandfreie Messung würde viele Windmesser, dicht über der Wasseroberfläche und über den ganzen See verteilt, erfordern. Wegen der praktischen Unmöglichkeit einer solchen Anlage wurden an jedem der im Folgenden genannten Seen nur einzelne Windwegmesser aufgestellt, um wenigstens relative Werte zu erhalten.

Neben der nur unzureichend erfaßbaren Windexposition gibt es aber noch andere, besser kontrollierbare Faktoren, die die Schichtungerscheinungen in Alpenseen bestimmen (2).

- 1) Die Wasserfracht, die Summe der Zuflüsse während eines Jahres. Im Verhältnis zum Seevolumen ergibt sich das Ausmaß der Durchflutung.
- 2) Die Art der Zuflüsse. Ein in kompaktem Strome mündender Bach bringt eine große, ein diffus durch Uferpflanzen sich verbreiternder Zufluß eine sehr kleine Bewegungsenergie in den See hinein.
- 3) Die Dichte der Zuflüsse. Aus Temperatur und Leitfähigkeit kann der Dichteverlauf im See und die Dichte der Zuflüsse sehr genau bestimmt werden (3). Daraus ergibt sich die Einschichtungstiefe.
- 4) Die Eisbedeckungszeiten, die für den See Luft- und Windabschluß bedeuten.
- 5) Die Überschichtung mit Schmelzwasser, das weniger mineralisiert ist als das Wasser des Sees.
- 6) Die biogene Entkalkung in den oberen, die Kalklösung in den Tiefenschichten wirken im gleichen Sinne auf ein Konzentrationsgefälle hin.
- 7) Das Verhältnis der maximalen Tiefe  $z_m$  zur „reduzierten“ Tiefe  $z_{(red)}$ , die auf die Oberfläche bezogen wird.

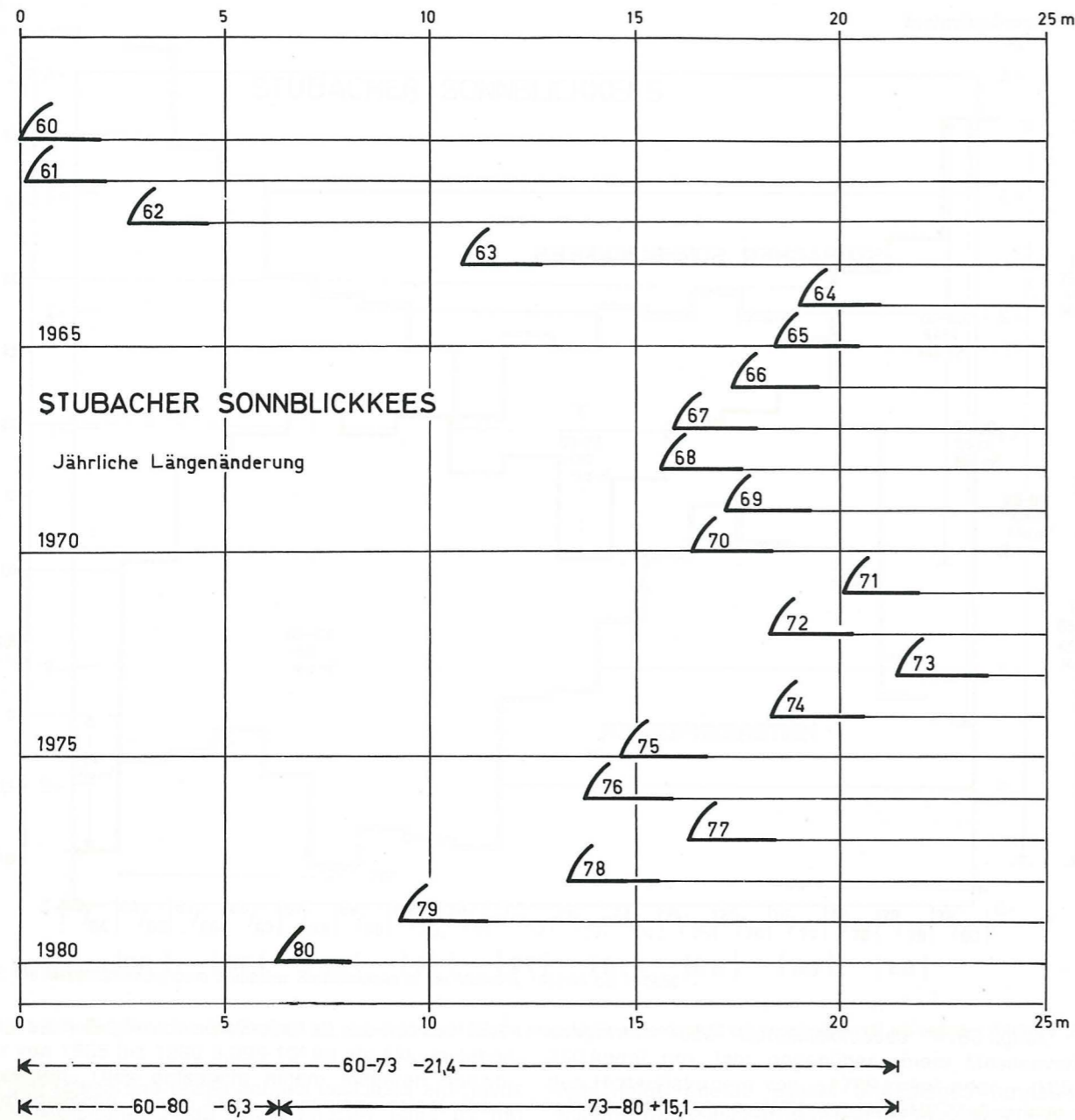


Abb. 4: Jährliche Längenänderung des Stubacher Sonnblickkeeses von 1960 bis 1980.

hochalpinen Einzugsgebieten könnte nur durch eine möglichst lange Fortsetzung der glazialhydrologischen Forschungen erreicht werden.

#### Literatur

- 1) SLUPETZKY, H.: Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines Hannngletschers. – Zs. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, **X**, 11–69, 1974.
- 2) SLUPETZKY, H.: Die Alpengletscher stoßen wieder vor. 16 Jahre Massenbilanzuntersuchungen am Stubacher Sonnblickkees in den Hohen Tauern. – Jahrbuch der Universität Salzburg 1977/79, 118–130, Salzburg 1980.
- 3) SLUPETZKY, H.: Massenhaushaltswerte vom Stubacher Sonnblickkees und Fillekkees für die Jahre 1978/79 und

1979/80. – Zs. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, **XVII**, 223–226, 1981.

- 4) SLUPETZKY, H.: Massenbilanzwerte vom Stubacher Sonnblickkees für die Jahre 1971/72 bis 1977/78. – Zs. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, **XV**, 82–83, 1979.
- 5) SLUPETZKY, H.: Die Massenbilanz des Fillekkees (Hohe Tauern) von 1964 bis 1978. Ein Beitrag zur Charakterisierung des Massenbilanz- und Umsatzverhaltens von sehr kleinen Gletschern. – Mitteilungen Nr. 41, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich. Kasser-Festschrift, 281–299, Zürich 1979.
- 6) HOINKES, H.: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Ergebnisse der Meßreihe Hintereisferner (Ötztaler Alpen) 1953–1968. – Zs. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, **VI**, 37–90, 1970.
- 7) MARKL, G.: Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1968/69–1974/75. – Zs. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, **XI**, 271–272, 1976.

8) Die in der Morphometrie eines Seebeckens begründete Rückwirkung des Schlammes auf die Wasserschichtung in horizontaler Richtung (4,5).

Für die Beobachtungsreihen wurden fünf Alpenseen ausgewählt, von denen es feststand, bzw. zu vermuten war, daß sie in Bezug auf die eben genannten Parameter große und typische Unterschiede aufzuweisen hätten:

- der Lunzer Untersee, holomiktisch, nährstoffarm (oligotroph),
- der Mondsee im Salzkammergut, holomiktisch, eutroph,
- der Lunzer Obersee, meromiktisch im Hauptbecken, oligotroph,
- der Krottensee im Salzkammergut, meromiktisch, oligotroph
- der Längsee in Kärnten, meromiktisch, eutroph.

An jedem See wurden ein Anemometer und ein Pegelschreiber installiert, bzw. die Messungen der hydrographischen Landesämter verwendet, die dankenswerterweise zur Verfügung standen.

Die Messungen zur Feststellung des Schichtungsstandes umfaßten: Temperatur, Leitfähigkeit → Dichte, Sauerstoff und Redoxpotential → Durchmischungsgrenze, Calcium, Magnesium, Alkalinität, pH → biogene Entkalkung, Natrium, Kalium → Ionenbilanz. Ebenso wurden die Zuflüsse analysiert. Als wichtigste Termine galten naturgemäß die Zeiten knapp vor dem Eisschluß und sofort nach dem Wegtauen der Eisdecke.

Aus diesen Daten und aus den mehrjährigen Beobachtungen und hydrochemischen Befunden waren die wesentlichen Faktoren für die Schichtungserscheinungen herauszufinden (Tab. 1).

Die Windexposition – soweit die Meßwerte Vertrauen verdienen – erwies sich für die Zirkulationsver-

hältnisse allein nicht entscheidend. Alpenseen liegen in Gebirgstälern oder in Talkesseln, großräumige Luftströmungen dringen nur gebremst und umgelenkt in die Talrichtung zur Seeoberfläche durch, die Unterschiede von See zu See sind gering. Der holomiktische Lunzer Untersee und der meromiktische Längsee in Kärnten, in Bezug auf Areale (68 und 76 ha), Windwegzahlen (100 und 108) und Eisbedeckung (3 Monate) einander sehr ähnlich, stellen trotzdem gegensätzliche Schichtungsverhältnisse dar.

Auch die übrigen Faktoren wirken nur in bestimmten und individuellen Kombinationen auf die Schichtungsverhältnisse ein. So sind der Lunzer Untersee und der Mondsee holomiktisch, obwohl sie im Einzelnen große Unterschiede aufweisen: Areale 68 und 1421 ha, maximale Tiefe 33.7 und 68 m. Durchflutung 3.2 und 0.46, Volumina 13 und 510 Millionen m<sup>3</sup>, Eisbedeckung 3 Monate, bzw. meist keine. Ähnlichkeit besteht hingegen in der reduzierten Tiefe 1.17 und 1.11, sowie in der Art der Zuflüsse – kompakt mündende Bäche, deren Bewegungsenergie neben dem Wind die Vollzirkulation antreibt.

Die drei meromiktischen Seen dieser ersten Untersuchungen haben so wenig Gemeinsames, daß sie (wie vermutet) als Vertreter dreier Gruppen meromiktischer Seen, der „Alpenseen ohne Vollzirkulation“ gelten können.

Im Lunzer Obersee ermöglicht im Frühjahr eine mächtige Schmelzwasserschicht mit ihrem Dichtegradienten den unmittelbaren Übergang von der inversen Winter- zur direkten Sommerschichtung. Ausgiebiger Schneefall im Spätherbst kann die einsetzende Zirkulation vorzeitig stoppen, die inverse Winterschichtung und der Eisschluß versetzen den See ohne Vollzirkulation in Winterruhe. Die durchweg sehr kleinen

$\Delta V/\Delta A$ -Werte-Werte ergeben eine hohe Schlammrückwirkung mit Sauerstoffschwund. CO<sub>2</sub>-Produktion und Kalklösung steigern den Dichtegradient. Obwohl die reduzierte Tiefe wenig über 1 beträgt, sind die diffus durch Pflanzenbestände dringenden Zuflüsse zu energiereich, um Schichtungen zu zerstören.

Im Krottensee beträgt die reduzierte Tiefe weit über 1 ( $z_{(red)} = 2.7$ ). Erfahrungsgemäß dringen die von der Oberfläche ausgehenden Turbulenzen nur wenig über  $z_{(red)} = 1$  hinunter, das darunter lagernde Tiefenwasser neigt schon bei kleinen Dichteunterschieden zur Dauerstagnation. Der Dichtegradient im Krottensee ist sicher zum Teil biogen bedingt (Kalkfällung im Epilimnion, Kalklösung in der Tiefe), es hat aber auch den Anschein, daß der im Frühjahr wiederholt beobachtete, temporäre Zufluß von der Bergseite her infolge seiner geringeren Dichte den See überschichtet und zeitweise die Stabilität der Schichtung unterstützt. Die Windexposition beträgt wegen der Kessellage nur rund 3/4 von der des nahen, weit offenen Mondsee.

Der Längsee in Kärnten, in ähnlicher Höhenlage (548 m) wie der Krottensee (579 m), ist von einer Hügellandschaft von keineswegs alpinem Charakter umgeben. Seine Oberfläche ist fast 9 mal größer (78 ha) als die des Krottensees, dennoch liegen die Sauerstoffgrenzen in beiden Seen gleich tief, nämlich bei etwa 17 m unter der Oberfläche. Beim Längsee könnte sie, auf das Areal bezogen, bei fast 30 m liegen. Der Windweg ist sogar länger (108 %) als für irgend einen der übrigen 4 Seen, die Wasser-Boden-Relation verläuft wie sonst bei einer muldenförmigen Wanne und es gäbe kein Hindernis für einen regelmäßig volldurchmischten Längsee. Durch die Untersuchungen von FREY (6) ist jedoch erwiesen, daß der meromiktische Zustand – vielleicht mit gelegentlichen Unterbrechungen – sich schon seit 4000 Jahren gehalten hat. Die Ursache liegt bei der Art der Zuflüsse: es sind kleine, zum Teil im Uferpflanzenbewuchs versickernde Rinnsale, die fünf-einhalb Jahre brauchen würden, um das Seebecken zu füllen. Die Analyse hat gezeigt, daß es sich um außerordentlich hoch konzentrierte Calcium-Magnesium-Karbonatwasser handelt, die schon an der Atmosphäre, und erst recht unter dem Einfluß assimilierender Pflanzen einen Teil ihres Calciumkarbonats verlieren müssen. In der Umgebung des Sees befindet sich ein leicht zerreiblicher Dolomit, der von der Atmungskohlensäure der Pflanzendecke auch leicht gelöst wird. Ihrer Dichte entsprechend sinken die Zuflüsse in jeder Jahreszeit bis ins Monimolimnion, unter 15 m ab. Der 21 m tiefe See wird ganz langsam von unten aufgefüllt.

## 2. Ergänzungen zur Morphometrie und Hydrochemie des extrem meromiktischen Krottensees

Am 4. Oktober 1979 wurde der Krottensee im Salzkammergut hydrochemisch noch einmal sehr genau untersucht (7). Das Hauptinteresse galt dabei der Übergangsschicht vom belüfteten, oberen Epilimnion zum anaeroben Monimolimnion und den stöchiometrischen Verhältnissen in der Eisen und Mangan enthaltenden sauerstofffreien Tiefe. Die von REGNAUER (8) 1975 veröffentlichte, 1971 besonders genau hergestellte Tiefenkarte ermöglichte eine verbesserte Darstellung der daraus ableitbaren limnologischen Parameter.

Im Jahre 1962 war der Versuch gemacht worden, den See durch Einblasen von Preßluft in die Tiefe zur Vollzirkulation zu bringen. Der Versuch mußte wegen der weitaus unterschätzten Reduktionskapazität des Tiefenwassers abgebrochen werden (9). Die immerhin tiefgreifende Störung war 8 Jahre später abgeklungen und nun hatte 1979 der See seinen ursprünglichen Zustand, wie er von RUTTNER (10) 1933 beschrieben worden ist, wieder erreicht. Es hat sich aber eine mehrere Meter dicke Zone sehr geringen Sauerstoffgehalts oberhalb des anaeroben Tiefenwassers erhalten, wo früher ein steiler Gradient zu beobachten war. Ähnliche „Dämmerungszonen“ im Sauerstoffgehalt sind aber seit mehreren Jahren auch in anderen meromiktischen Seen aufgetreten. Die chemischen Befunde sind durch den Verlauf des Redoxpotentials bestätigt worden. Es handelt sich um die Mischzone eines nach oben expandierenden Monimolimnions eine Folge der überall wirksamen, schleichenden Eutrophierung.

Die in der Tiefe aus dem Schlamm diffundierenden Eisen- und Manganionen und die stöchiometrischen Relationen zu den Erdalkalien und den Anionen sind ein Anlaß für Analysen des rezenten Tiefenschlammes.

### 1.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Auf Grund von mehrjährigen Beobachtungen an 5 Alpenseen von sehr ausgeprägtem Schichtungstypus (2 holomiktischen, 3 meromiktischen) wurden die Schichtungserscheinungen besonders in der kritischen Zeit vor dem Zufrieren und knapp nach dem Eisbruch mit den hydrologischen, meteorologischen und limnochemischen Faktoren in Verbindung gebracht und auch mit morphometrischen Eigenheiten der Seebecken zu erklären versucht. Es konnten drei Ursachengruppen für die unvollständige Durchmischung (Meromixie) von Alpenseen unterschieden werden:

#### 1.3.1. Gebirgsseen in Hochlagen

Hohe Schneelage, lange Eisbedeckung, große Schmelzwasserzufuhr über kleine Rinnsale mit geringer Bewegungsenergie, hohe Schlammrückwirkung durch eine Beckenform mit kleinen  $\Delta V/\Delta A$ -Werten erzeugen Dichtegradienten im Epilimnion noch vor der thermischen Schichtung, die dann unmittelbar, ohne Mischphase, in die Sommerschichtung überleitet.

Die Herbstzirkulation kann durch plötzlichen Winterbruch mit starken Schneefällen in den noch offenen See ebenfalls übergangen werden. Die reduzierte Tiefe ( $z_{(red)} = z_m A_0^{-0.25}$ ) ist nicht kleiner als 1.

Beispiel: Lunzer Obersee. Klimatisch-morphometrischer Typus.

#### 1.3.2. „Übertiefe“ Seen

Seen mit großer reduzierten Tiefe, 1.5 und mehr. Windbedingte Turbulenzen wirken kaum über  $z_{(red)} = 1$  hinaus. Das Tiefenwasser unter diesem Niveau ist ein potentes Monimolimnion. Kleine Dichtegradienten durch ungleichen Salzgehalt gegenüber in diesem „übertiefen“ Bereich, um Dauerstagnation zu verursachen. Zuflüsse verschiedener Dichte (Schmelzwasser – Karbonatwasser), Kalk- und Eisenlösung aus dem Schlamm erzeugen Stabilitäten, die nur von sehr bewegungsstarken Zuflüssen zu überwinden wären.

Beispiel: Krottensee, einige der großen Kärntner Seen. Morphometrischer Typus.

Tabelle 1  
Übersicht über die in Betracht gezogenen Daten der Seen.

|  | Lunzer Untersee | Mondsee        | Lunzer Obersee Hauptbecken | Krottensee               | Längsee         |
|--|-----------------|----------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|
| Höhenlage [m]  | 608             | 481            | 1113                       | 579                      | 548             |
| Schichtungstyp   | holomiktisch    | holomiktisch   | meromiktisch               | meromiktisch             | meromiktisch    |
| Trophiegrad  | oligotroph      | eutroph        | oligotroph                 | oligotroph               | eutroph         |
| Oberfläche A <sub>0</sub> [ha]   | 68              | 1421           | 3.5                        | 8.5                      | 76              |
| Maximale Tiefe z <sub>m</sub> [m]  | 33.7            | 68.2           | 15.1                       | 46.5                     | 21.0            |
| Volumen V [Mio. m <sup>3</sup> ]   | 13              | 510            | 0.17                       | 2.2                      | 8.5             |
| Wasserfracht [Mio. m <sup>3</sup> ]  | 42              | 233            | 2–3*                       | 4.4                      | 1.5             |
| Wasserfracht/Volumen   | 3.2             | 0.46           | 10–15                      | 2.0                      | 0.18            |
| Art der Zuflüsse   | kompakter Bach  | kompakte Bäche | diffuse Rinnsale           | kompakte Bäche**)        | kleine Rinnsale |
| Eis- und Schnee  | bis 0.5 m       | Eisdecke       | bis 2.5 m                  | bis 0.4 m                | bis 0.3 m       |
| Dauer  | 3 Monate        | selten         | 6 Monate                   | 3 Monate                 | 3 Monate        |
| Beckenform   | einfache Wanne  | lange Wanne    | 5 Teilbecken***)           | steilwandiges Rundbecken | einfache Wanne  |
| Tiefeneinheit A <sub>0</sub> <sup>0.25</sup> [m]                                     | 28.7            | 61.4           | 13.7                       | 17.1                     | 29.5            |
| reduzierte Tiefe z <sub>(red)</sub> = z <sub>m</sub> A <sub>0</sub> <sup>-0.25</sup> | 1.17            | 1.11           | 1.10                       | 2.72                     | 0.71            |
| $\Delta V/\Delta A$ , Verlauf  | bis 28 m        | bis 95 m       | unter 7 m                  | bis 43 m                 | bis 25 m        |
| Wind, Jahresmittel [m/sec]   | 1.38            | 1.33           | 1.03                       | 1.03                     | 1.48            |
| Wind, relativ [%]  | 100             | 96             | 75                         | 75                       | 108             |

\*) Abfluß des Obersees unterirdisch, nicht direkt meßbar.

\*\*\*) Ein ständiger Bach, bei Schneeschmelze ein zweiter auf der Gegenseite mit etwa 150 l/sec.

\*\*\*\*) Teilbecken des Obersees in der Schichtung unabhängig.



### 1.3.3. „Seichte meromiktische“ Seen

Die reduzierte Tiefe ist 1 oder kleiner. Sehr hoher Kalkgehalt in den sehr kleinen Zuflüssen, ausgiebige aerogene und biogene Kalkfällung schaffen eine genügend stabile Dichteschichtung, die vom Wind auch in den Zeiten der Homothermie nicht überwunden werden kann. Die kalkreichen, diffusen Zuflüsse sinken bis ins Monimolimnion ab.

Beispiel: Längsee in Kärnten. Hydrogeologisch-biochemischer Typus.

#### Literatur

- 1) FINDENIG, G.: Alpenseen ohne Vollzirkulation. – Int. Rev. ges. Hydr. u. Hydr., **28**, 295–311, 1933.
- 2) BERGER, F. & LANZENBERGER, E.: Schichtung und Umschichtung in Alpenseen. – Jber. Biol. Stat. Lunz, **1**, 88–95, 1977.
- 3) BERGER, F.: Die Dichte natürlicher Wässer und die Konzentrationsstabilität in Seen. – Arch. Hydrobiol. Suppl., **22**, 286–294, 1955.
- 4) ELSTER, H.-J. & SCHMOLINSKY, F.: Morphometrie, Klimatologie und Hydrographie der Seen des südlichen Schwarzwaldes. – Arch. Hydrobiol. Suppl., **20**, 157–211, 1954.
- 5) BERGER, F.: Zur Morphometrie der Seebecken. – Carinthia II, **31**, 29–39, 1971.
- 6) FREY, H.: Längsee: A History of Meromixis. – Mem. Ist. Ital. Idrobiol., **8**, Suppl., 141–146, 1955.
- 7) BERGER, F.: Der Krotensee im Salzkammergut. Ergänzungen zur Morphometrie und Hydrochemie eines extrem meromiktischen Alpensees. – Jber. Biol. Stat. Lunz, **3**, 163–170, 1979.
- 8) REGNAUER: Untersuchungen zum Verhalten pelagischer Crusta im Seeausfluß. – Diss. Univ. München, 1975.
- 9) DANECKER: Die künstliche Durchmischung des Krotensees. – Carinthia II, **41**–62, 1971.
- 10) RUTTNER, F.: Untersuchungen über die biochemische Schichtung in einigen Seen der Ostalpen. – Geogr. Jahrbuch. Österr., **16**, 73–87, 1933.

## 2. Zum hydrochemischen Problem des Neusiedlersees

### 2.1. Einleitung

Der Neusiedlersee ist der zweitgrößte Flachsee Mitteleuropas. Seine Tiefe beträgt nur 1 bis 2 Meter, seine Oberfläche mißt 283 km<sup>2</sup>, davon entfallen über 120 km<sup>2</sup> auf einen Schilfgürtel, der im Westen und Süden ein bis drei Kilometer breit ist. Bei einem Einzugsgebiet von 444 km<sup>2</sup> und einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 650 mm, wovon 20 % dem See zufließen, ergibt sich ein Zustrom von rund 61 Millionen m<sup>3</sup> im Jahr, ein Teil davon fließt als Grundwasseraustritte in den See. Die hydrogeologischen Verhältnisse sind von GATTINGER (1) 1975 eingehend dargestellt worden.

Die hydrochemischen Eigenschaften des Sees (2,3) sind durch eine Besonderheit ausgezeichnet: Sein Wasser hat eine andere Zusammensetzung als die oberflächlichen Zuflüsse. Während die meisten Seen als natürliche Fließwasser-Staue oder als Quellseen gelten können, deren hydrochemische Komponenten dem umgebenden Gestein und dem des Einzugsgebietes entsprechen, zeigt sich das Wasser des Neusiedlersees in den Ionenrelationen davon völlig verschieden. Nun wirken in jedem See die Verdunstung, die biogene Kalkfällung und alle sonstigen Faktoren des belebten Wassers verändernd ein. Diese Veränderungen sind bekannt und bilden die Grundlage der Limnochemie. Anders im Neusiedlersee: es sind keine limnochemischen Vorgänge denkbar, wodurch das Wasser eines

Zuflusses, etwa der Wulka, in Neusiedlerseewasser umgewandelt werden könnte. Es müssen dem See, diffus oder als Grundwasseraustritte, Lösungen zufließen, deren Komponenten von denen der Oberflächenwässer sehr verschieden sind.

Ein charakteristisches Merkmal natürlicher Wässer ist die Differenz zwischen der Summe der Erdalkalien E und dem Karbonatgehalt, der Alkalinität A, also die Differenz E – A in Millival/Liter ausgedrückt. Ist die Differenz positiv, so scheidet sich beim Eindampfen kein Alkalikarbonat ab, da alle Karbonationen von den im Überschuß vorhandenen Calcium- und Magnesiumionen zur Bildung der fast unlöslichen Karbonate CaCO<sub>3</sub> und MgCO<sub>3</sub> verbraucht werden. Ist die Differenz negativ, A größer als E, dann werden sich die überschüssigen Karbonationen auch mit den Natrium- und Kaliumionen zu den leichter löslichen Karbonaten Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Soda), bzw. K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> beim Eindampfen vereinigen. Und da in den natürlichen Wässern das Natrium in der Regel weitaus überwiegt, kann in erster Annäherung ein negativer (E–A)-Wert (positiv genommen) als „Sodagehalt“ angesprochen werden. Nun sind Soda und verwandte Salze kein Mineralbestandteil von kristallinen Silikat- oder marinen Sedimentgesteinen. Der Sodagehalt natürlicher Wässer entsteht meist sekundär durch hydrothermale Zersetzung von Silikaten, worauf das gelöste Na-Silikat durch Kohlensäure in Soda und freie Kieselsäure umgewandelt wird. Eine andere Art der Sodabildung ist die durch Ionenaustausch an dazu fähigen Tonmineralen.

Eine Eigenheit der „Sodagewässer“ ist es, daß ihre ursprüngliche Besonderheit, nämlich A größer als E, durch Vermischung mit erdalkalihaltigen Wässern, die z.B. Calciumsulfat (Gips) enthalten, verlorengeht, wenn in der Mischung die positiven (E–A)-Werte überwiegen. Dagegen bleibt die Differenz E–A unverändert, wenn Kalk oder Magnesiumkarbonat gelöst oder gefällt wird. Insbesondere hat die „biogene“ Entkalkung keinen Einfluß auf den Zahlenwert von E–A. Wechselt aber das Mischungsverhältnis, so kann das Mischwasser bald sodahaltig, bald sodafrei erscheinen (4). Gerade das ist beim Neusiedlersee der Fall.

Die Oberflächenwässer im Norden, Westen und Süden bringen rund 40 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr in den See, im Mittel mit den in Tab. 2 angeführten hydrochemischen Komponenten:

Tabelle 2  
Hydrochemische Komponenten der in den Neusiedlersee fließenden Oberflächenwässer.

|                        | Wulka | Kroisbach | übrige   |
|------------------------|-------|-----------|----------|
| Mio. m <sup>3</sup> /a | 33    | 4.7       | 2.3      |
| Ionensumme [mval/l]    | 10.64 | 9.77      | ca. 7    |
| E = Ca + Mg            | 8.95  | 8.19      | ca. 6    |
| E – A                  | +2.19 | +0.48     | ca. +1.2 |
| SO <sub>4</sub> + Cl   | 1.69  | 1.58      | ca. 1    |

Diese Wässer aus den Einzugsgebieten Parndorfer Platte, Leithagebirge, Wulkabecken und Ruster Höhenzug gehören alle dem gleichen Typus an, auch in Bezug auf die Ionensumme.

Aus diesen Wässern entsteht durch Verdunstung, Kalkfällung und Vermischung mit den aus dem Seewinkel diffus einsickernden Wässern das Neusiedler Seewasser. Um die Zusammensetzung der Sickerwässer zu ermitteln, wurde folgendes Verfahren in Gedanken

Tabelle 3  
Daten für die Entstehung des Neusiedlerseewässers durch Verdunstung, Kalkfällung und Vermischung mit Sickerwasser (Beispiel vom September 1977).

| Ion                 | Wulka | See   | Wulka nach Einengung | CaCO <sub>3</sub> -Fällung | = | Rest  | + | Sickerwasser | = | See   |
|---------------------|-------|-------|----------------------|----------------------------|---|-------|---|--------------|---|-------|
| Ca                  | 5.40  | 1.52  | 13.61                | -12.09                     | = | 1.52  | + | 0.00         | = | 1.52  |
| Mg                  | 3.55  | 10.06 | 8.94                 | .                          | . | 8.94  | + | 1.12         | = | 10.06 |
| Na                  | 1.40  | 14.38 | 3.53                 | .                          | . | 3.53  | + | 10.85        | = | 14.38 |
| K                   | 0.28  | 0.83  | 0.71                 | .                          | . | 0.71  | + | 0.12         | = | 0.83  |
| CO <sub>3</sub> (A) | 6.76  | 11.50 | 17.04                | -12.09                     | = | 4.95  | + | 6.55         | = | 11.50 |
| SO <sub>4</sub>     | 2.89  | 10.14 | 7.28                 | .                          | . | 7.28  | + | 2.86         | = | 10.14 |
| Cl                  | 0.98  | 5.15  | 2.47                 | .                          | . | 2.47  | + | 2.68         | = | 5.15  |
| Ionensumme          | 10.63 | 26.79 | 26.79                | -12.09                     | = | 14.70 | + | 12.09        | = | 26.79 |
| (E–A)               | +2.19 | +0.08 |                      |                            |   | +5.51 |   | -5.43        | = | +0.08 |

Einengung durch Verdunstung: 26.79/10.63 = 2.52 : 1.

angewendet: Ein Zuflußwasser, z.B. die Wulka, wird durch „Verdunstung“, d.h. proportionale Steigerung der Komponenten auf dieselbe Ionensumme wie im See gebracht.

Nun wird durch „Ausfällung“ von CaCO<sub>3</sub> der Ca-gehalt auf den (niedrigen) Wert im See vermindert, es bleibt ein „Rest“ an Ionen. Diese werden schließlich auf die im See vorhandenen Konzentrationen ergänzt, die Ergänzungslösung entspricht den nicht faßbaren Sickerwässern.

Aus der Tab. 3 (Beispiel vom September 1977) sind konkrete Zahlen zu entnehmen.

2.52 l Wulkawasser werden mit 5.53 mval Soda und einigen anderen Salzen ergänzt und unter Ausfällung von 12.09 mval CaCO<sub>3</sub> in Neusiedler Seewasser verwandelt, zugleich auf 1 Liter eingeeengt. Ferner muß das Wasser der Ergänzungslösung verdunstet werden. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die aus dem Seewinkel kommenden 21 Mio. m<sup>3</sup> Sickerwässer die Ergänzungsalze liefern. Entsprechend der Relation 40 : 21 kommen auf 2.52 Liter Wulkawasser 1.32 Liter Sickerwasser, die zusammen auf 1 Liter eingeeengt werden müssen, d.h. die Verdunstung beträgt 3.84 : 1, ein durchaus plausibler Wert, wobei die auf den See selbst fallenden Niederschläge nicht einbezogen sind.

Aus diesem Beispiel ergeben sich umgerechnet die in Tab. 4 angeführten Salz mengen, die aus Sickerwässern in den See gelangen.

Tabelle 4  
Salzmengen, die aus Sickerwässern in den See gelangen.

|                   | auf 1 m <sup>3</sup> oberirdischer Zuflüsse | auf alle Zuflüsse pro Jahr |
|-------------------|---|----------------------------|
|                   | Gramm                                       | Tonnen                     |
| Soda              | 114   | 4330                       |
| Natriumsulfat     | 81  | 3080                       |
| Natriumchlorid    | 59  | 2240                       |
| Magnesiumkarbonat | 19  | 720                        |
| Kaliumchlorid     | 3.5   | 130                        |
| Kalkfällung       | 240   | 9120                       |

Das Ergebnis der Mischung ist ein sodafreier See mit (E–A) = + 0.08.

20 Jahre vorher, im September 1957, ergab eine Probe an derselben Stelle im See fast genau die gleiche Ionensumme (27.03 statt 26.79), aber einen deutlichen

Sodagehalt von 1.33 mval/l. Die Sickerwässer waren anders zusammengesetzt und reicher an Soda (Tab. 5).

Tabelle 5  
Zusammensetzung der Sickerwässer.

|                | Gramm | Tonnen |
|----------------|-------|--------|
| Soda           | 175   | 6660   |
| Natriumchlorid | 94    | 3580   |
| Natriumsulfat  | 5     | 194    |
| Kalkfällung    | 209   | 7940   |

In der Zwischenzeit, um 1970, war der See stark „verdünnt“ worden, die Ionensumme war auf 16.36 mval/l gesunken und der (E–A)-Wert auf +0.19 gestiegen. Trotzdem ergab die Berechnung für die Sickerwässer einen Gehalt an freier Soda von 0.37 mval/l oder 19.6 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> neben anderen Salzen, um nach der Ausfällung von 204 g Kalk einen Kubikmeter Zuflußse dem damaligen Seewasser anzugleichen.

So zeigt sich der Neusiedlersee als eine riesige flache Mischpfanne, der vom Süden, Westen und Norden „gewöhnliche“ Oberflächenwässer, vom Osten aber sodahaltige Salzwässer zufließen oder zusickern. Das erklärt die unregelmäßigen Schwankungen im hydrochemischen Aspekt vorwiegend durch Änderungen der Menge und der Qualität der „Sickerwässer“, während den sichtbaren Bächen und Rinnsalen eine größere Konstanz zuzuschreiben ist. Nicht erklärt ist der Nachschub an sodahaltigem Grundwasser. Sowohl im Seewinkel wie im Porenwasser des Schlammes unter dem See lagern Salzwässer mit hohem Sodagehalt. Aus den Porenwasseranalysen von SCHRÖLL & KRACHSBERGER (5) ergeben sich hohe negative (E–A)-Werte, bis zu 300 mval/l nur wenige Dezimeter unter der Schlammoberfläche. Ob die vielen tausend Tonnen Soda, die jährlich mit den Sickerwässern in den See gelangen und ihn durch den Abfluß wieder verlassen, aus Tiefenwässern ersetzt werden, ist ungewiß.

Von der Auswertung alter Analysen seien zwei Beispiele erwähnt: SIGMUND und WÜRTZLER (zit. in EMSZT (6)) haben im Jahre 1830 die ersten Analysen des Neusiedlerseewässers durchgeführt. Die etwas umständliche Übersetzung der damals gültigen Apothekergewichte und der Salzkombinationen in heute übliche Einheiten lohnt sich. Je eine Probe aus dem See (die Stellen sind nicht genannt) ergab umgerechnet die in Tab. 6 angegebenen Werte.

Tabelle 6  
Zwei Beispiele der Auswertung von Analysen aus dem Jahre 1830.

|                     | SIGMUND | WÜRTZLER |
|---------------------|---------|----------|
| Ionensumme [mval/l] | 22.38   | 21.35    |
| E = (Ca + Mg)       | 6.83    | 5.27     |
| A (Karbonat)        | 16.05   | 14.01    |
| (E - A) = Soda      | -9.22   | -8.74    |

Der See war damals sehr stark sodahaltig (41 Äquiv.-%) bei einer eher mittleren Gesamtkonzentration.

Im Jahre 1902 weisen die von EMSZT analysierten Proben von verschiedenen Stellen des Sees enorme Konzentrationsunterschiede auf. Wahrscheinlich hat sich der austrocknende See in einzelne Wasseransammlungen getrennt (Tab. 7).

Tabelle 7  
Beispiele der Auswertung von Analysen von Proben aus drei Stellen des Sees aus dem Jahre 1902.

|                     | I     | IV (Rust) | V (Rakos) |
|---------------------|-------|-----------|-----------|
| Ionensumme [mval/l] | 49.40 | 108.4     | 199.0     |
| E = (Ca + Mg)       | 20.58 | 27.18     | 53.46     |
| A (Karbonat)        | 16.88 | 16.09     | 26.90     |
| (E - A) = Soda      | +3.70 | +11.09    | +26.56    |

Die durch Verdunstung verschieden stark angereicherten Wasseransammlungen sind frei von Soda.

## 2.2. Zusammenfassung der Ergebnisse

- Vergleiche zwischen den hydrochemischen Komponenten des Neusiedler Seewassers und jenen seiner oberirdischen Zuflüsse zeigen, daß Verdunstung und Kalkfällung nicht ausreichen, die beobachteten Unterschiede zu erklären. Es müssen Salzwässer besonderer Art unsichtbar in den See einsickern.
- Um die Salze dieser Wässer nach Art und Menge festzustellen, wird (im Gedankenexperiment)
  - a) der Zufluß durch „Verdunstung“ auf die Ionensumme des Sees angereichert,
  - b) durch „Kalkfällung“ = Abzug von Ca und CO<sub>2</sub> der richtige Ca-Wert im See eingestellt,
  - c) die verbleibende Restlösung durch Zusatz der fehlenden Ionen auf die im See beobachteten Konzentrationen „ergänzt“. Diese Ergänzungslösung stellt die Komponenten der nicht erfaßbaren Sickerwässer dar.
- Als wichtigste Komponente erwies sich bei allen Zuflüssen und zu allen Zuständen des Sees die Soda, das Natriumkarbonat Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Der Zusatz von Natrium- und Karbonat-Ion ist auch dann zur Ergänzung notwendig, wenn die Ionenrelationen den See als sodafrei ausweisen, genauer: wenn die Erdalkaliumsumme die Karbonatsumme übersteigt (E-A = positiv).
- Die absoluten Mengen an Soda, in zweiter Linie an Natriumchlorid, sind beachtlich und betragen im Jahr mehrere tausend Tonnen. Unter der Annahme,

die Sickerwässer entsprechen den aus dem Seewinkel zusickernden Niederschlägen, ergeben sich für diese Ergänzungslösungen ähnliche (mval/l)-Summen wie sie im See angetroffen werden.

- Es hängt von der Wasserführung der Zuflüsse wie auch der Sickerwässer ab, ob im See „freie“ Soda auftritt oder nicht, denn sie wird zur Fällung des CaCO<sub>3</sub> verbraucht. Die Umrechnung auch älterer Analysen auf Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> zeigt, daß die in den letzten Jahrzehnten beobachteten Schwankungen früher auch stattgefunden haben.

## Literatur

- 1) GATTINGER, T. E.: Das hydrogeologische Einzugsgebiet des Neusiedlersees. – Verh. Geol. B.-A., 1975, 331–346, 1975.
- 2) BERGER, F. & NEUHUBER, F.: Das hydrochemische Problem des Neusiedlersees. – Jahresber. Biol. Stat. Lutz, 3, 134–137, 1977.
- 3) BERGER, F. & NEUHUBER, F.: The hydrochemical problem. – IN: LÖFFLER (Ed.): Neusiedlersee. The Limnology of a Shallow Lake in Central Europe, 89–99, The Hague – Boston – London (W. Junk-Verlag) 1979.
- 4) BERGER, F.: Zur hydrochemischen Charakterisierung von Sodagewässern. – Sitzber. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl. I, 179, 171–181, 1971.
- 5) SCHROLL, E. & KRACHSBERGER, H.: Beitrag zur Kenntnis des Chemismus der Porenwässer des Neusiedlerseeschlammes. – Biol. Forsch. Anst. Burgenland, Ber. 24, 35–62, 1977.
- 6) EMSZT: Die Analysen des Wassers aus dem Fertö. – Jahresber. kgl. ungar. geol. Anst. für 1902, 212–224, 1904.

## 3. Zur hydrochemischen Charakterisierung von Silikat- und Humusgewässern in Niederösterreich

Niederösterreich umspannt geologisch sehr verschiedene Gebiete: im Waldviertel einen Teil der Böhmisches Masse aus Granit, Granulit und Glimmerschiefer, südlich und östlich davon die Molasse-, ferner die Flysch- und Klippenzone und die Kalkalpen im Süden.

Die daraus entspringenden Oberflächenwässer sind naturgemäß ein hydrochemisches Abbild der löslichen Anteile des Quellgesteins, stellenweise modifiziert durch die Pflanzendecke und die obere Bodenschicht, die sie durchsickern. Die Ursprungsgebiete sind zum großen Teil fast unveränderte Wald- oder Felslandschaften und auf Grund bisheriger Erfahrungen ist eine Chemographie der Oberflächengewässer vor deren Eintritt in die landwirtschaftliche oder industrielle Nutzungszone sinnvoll und hydrogeologisch von Interesse.

Nach den analytisch festgestellten Ionenverhältnissen und deren Interpretation lassen sich folgende Gruppen unterscheiden:

- a) Kalk- und Dolomitwässer,
- b) Gipswässer,
- c) Chlorid-Sulfatwässer,
- d) Sodagewässer,
- e) Silikat- und Humuswässer,
- f) Moorwässer.

Silikatwässer sind in der Regel sehr elektrolytarm, sie sind weiche Wässer mit geringem Magnesium- und Calciumgehalt. Aus der Pflanzendecke und den humushaltigen Bodenschichten werden von den Niederschlägen die braungefärbten organischen Abbaustoffe extrahiert, die auf Kalkböden zurückgehalten, auf Silikatge-

steinen aber wegen der geringen Löslichkeit der Calcium- und Magnesiumsilikate nicht gefällt werden. In diesen Braunwässern bleiben aber nicht nur die Humusstoffe transportfähig, sondern auch das Eisen, das in der unteren Bodenschicht durch Reduktionsprozesse in zweiwertiger Form gelöst, dann aber bei Luftzutritt zur dreiwertigen Form oxydiert wird. Bei Gegenwart von Humusstoffen bleibt die Fällung von Fe(OH)<sub>3</sub> größtenteils aus, humushaltige Oberflächenwässer können Eisen auf weite Strecken hin verfrachten. Erst wenn durch Zuflüsse der Erdalkaligehalt genügend erhöht wird, fallen Humusstoffe und Eisen zusammen aus.

Der analytisch bestimmbare Kieselsäuregehalt eines Wassers steht zu dem des Gesteins oder auch nur der Minerale in keinem einfachen Verhältnis. Silikatgesteine enthalten nicht nur definierte Minerale, sondern auch freie Kieselsäure, die in gar keinem stöchiometrischen Verhältnis zu den Kationen vorhanden, allerdings auch nur spurenweise löslich ist. Die Silikatminerale, die leichter löslich sind und Ionensummen von mehreren Zehntel mval/l erreichen, ergeben „inkongruente“ Lösungen, deren Ionenrelationen gegenüber dem festen Stoff verschoben erscheinen, weil bei der Auflösung des Kristallgitters einige Ionen zu neuen unlöslichen Stoffen zusammentreten. Die Kieselsäure selbst hydrolysiert sehr stark, wird von der Kohlensäure der Bodenatmung und der Atmosphäre verdrängt, bleibt aber kolloidal in Lösung. Bei der Alkalinitätsbestimmung kann zwischen Karbonaten und Silikaten nicht unterschieden werden. Ob das gelöste Mineral ein Karbonat oder ein Silikat oder ob Gemische davon ursprünglich vorhanden waren, kann aber aus dem Quotient Kieselsäure/Alkalinität erschlossen werden. Bezieht man die gemessene Kieselsäure auf mval/l meta-Kieselsäure, so würde ein reines Metasilikat 1 : 1 ergeben, die Salze der Polykieselsäuren können natürlich ein viel höheres Verhältnis, weit über 100 % hinaus, in der Lösung aufweisen.

Für die Charakterisierung der meist humushaltigen Silikatwässer wurden folgende Methoden, bzw. Ableitungen angewendet (1,2):

- 1) Die UV-Absorption bei 240 nm als Maß für die Humussubstanzen, geeicht an einer Lösung von Huminsäure.

- 2) Der Quotient Kieselsäure/Alkalinität in % zur Abschätzung eines möglichen Karbonatanteils.
- 3) Der Eisengehalt in Relation zum Huminsäuregehalt.
- 4) Der Erdalkaligehalt in Relation zu Eisen und Huminsäure.

Tabelle 8  
Gegenüberstellung Kalkbach – Silikatbach.

|   | Seebach | Ysper |
|---|---------|-------|
| Ionensumme [mval/l]                           | 2.85    | 0.82  |
| UV-Abs. 240 nm, 10 cm                         | 0.34    | 1.68  |
| Huminsäure [mg/l]                             | 1.2     | 6.0   |
| Eisen [mg/l]                                  | 0.003   | 0.26  |
| Kieselsäure [mval/l]                          | 0.02    | 0.45  |
| Alkalinität [mval/l]                          | 2.34    | 0.16  |
| H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> /Alkalien [%] | 0.85    | 281   |
| E = Ca + Mg [mval/l]                          | 2.83    | 0.65  |
| Na + K [mval/kg]                              | 0.02    | 0.17  |
| (Na + K)/E [%]                                | 0.7     | 26.2  |

- 5) Die Relation Alkalien/Erdalkalien, die mit dem Anteil „leichter“ löslicher Silikate zusammenhängt.

Als Beispiel für die Anwendung dieser Darstellungsform sei eine Gegenüberstellung von Kalkbach zu Silikatbach in Tabelle 8 gegeben. Das Kalkwasser wurde dem oberen Lunzer Seebach entnommen, das Silikatwasser dem Oberlauf der Ysper im Waldviertel.

Diese Art der Auswertung bietet charakteristische und anschauliche Daten für den Vergleich von Wässern verschiedener geologischer Herkunft. Weitere Untersuchungen in Niederösterreich sind geplant mit dem Ziel einer Chemographie der wichtigsten Oberflächengewässer in Beziehung zur Geologie ihres Quellgebietes.

## Literatur

- 1) BERGER, F.: Chemographie des Kamp im niederösterreichischen Waldviertel als Beispiel eines Silikatflusses. – Jahresber. Biol. Stat. Lutz, 2, 117–122, 1978.
- 2) BERGER, F.: Zur hydrochemischen Charakterisierung von Silikat- und Humusgewässern. – Jahresber. Biol. Stat. Lutz, 4, 211–216, 1980.

## Arbeiten des Hydrographischen Dienstes in Österreich im Rahmen des IHP 1975 – 1980

### Inhalt

|  |  |    |
|--|--|----|
| 1. Stationen für Grunddaten .....  |  | 68 |
| 2. Elektronische Datenverarbeitung beim Hydrographischen Dienst .....  |  | 68 |
| 3. Der Ausbau des Pegelfernmeßnetzes und die Entwicklung neuer Methoden für die Zwecke der hydrologischen Vorhersage ..... |  | 69 |
| 4. Untersuchungen zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit österreichischer Gewässer .....                          |  | 69 |
| 5. Regionale Zusammenarbeit – Konferenzen der Donauländer für hydrologische Vorhersagen .....                              |  | 69 |
| 6. Regionale Zusammenarbeit – Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) .....                   |  | 69 |

### 1. Stationen für Grunddaten

Die Anzahl der Beobachtungs- und Meßstationen des österreichischen Hydrographischen Dienstes wurde im Hinblick auf die ständig wachsende Bedeutung der hydrologischen Grundlagenforschung für die gesamte Wasserwirtschaft zum Teil erheblich erweitert und ein großer Anteil der Stationen wurde zusätzlich mit selbstregistrierenden Beobachtungsgeräten ausgestattet. Es ergibt sich daher für das Grundnetz zum Ende der ersten Periode des Internationalen Hydrologischen Programmes folgender Überblick:

- 1) **Niederschlagsstationen**  
Von den rund 1.100 Niederschlagsstationen werden etwa 700 Stationen vom Hydrographischen Dienst, rund 270 Stationen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und etwa 130 Stationen vor allem von Wasserkraftwerksgesellschaften betrieben. 14 % der Stationen sind mit Schreibgeräten ausgestattet. Etwa 110 Stationen sind Totalisatoren. In 20 ausgewählten Stationen wird Tritium bestimmt.
- 2) **Schneestationen**  
Bei rund 900 Stationen wird im Winter die tägliche Neuschneehöhe und bei den meisten die jeweilige Gesamtschneehöhe gemessen. In etwa 100 Stationen wird zusätzlich der Schneewasserwert bestimmt.
- 3) **Lufttemperaturstationen**  
Von den rund 630 Lufttemperaturstationen werden etwa 330 Stationen vom Hydrographischen Dienst, etwa 270 Stationen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und etwa 30 Stationen vor allem von Wasserkraftwerksgesellschaften betrieben. 40 % der Stationen sind mit Schreibgeräten ausgestattet.
- 4) **Wasserstandsstationen**  
Von den rund 900 Wasserstandsstationen werden rund 650 Stationen vom Hydrographischen Dienst und etwa 250 Stationen vor allem von Wasserkraftwerksgesellschaften betrieben. 42 Stationen befinden sich an Seen. Etwa 75 % der Stationen sind mit Schreibgeräten ausgestattet. In 16 Stationen wird die Radioaktivität des Wassers bestimmt.

### 5) Abflußstationen

In rund 500 Wasserstandsstationen wird vom Hydrographischen Dienst der Abfluß ermittelt. Rund 80 Stationen sind mit Meßseilbahnen ausgestattet.

### 6) Wassertemperaturstationen

Von den rund 170 Wassertemperaturstationen werden rund 150 Stationen vom Hydrographischen Dienst und rund 20 Stationen vor allem von Wasserkraftwerksgesellschaften betrieben. 30 Stationen sind mit Schreibgeräten ausgestattet.

### 7) Schwebstoffstationen

Die rund 20 Schwebstoffmeßstationen werden je zur Hälfte vom Hydrographischen Dienst und von Wasserkraftwerksgesellschaften betrieben.

### 8) Grundwasserstandsstationen

Von den rund 6000 Grundwasserstandsstationen werden über 2000 Stationen vom Hydrographischen Dienst, die anderen vor allem von Wasserkraftwerksgesellschaften betrieben. Rund 5 % der Stationen sind mit Schreibgeräten ausgestattet.

### 9) Grundwassertemperaturstationen

Von den rund 250 Grundwassertemperaturstationen werden rund 200 vom Hydrographischen Dienst betrieben.

### 2. Elektronische Datenverarbeitung beim Hydrographischen Dienst

Nachdem im Jahre 1966 die Umstellung der gewässerkundlichen Statistik und die Erstellung der Hydrographischen Jahrbücher auf elektronische Datenverarbeitung begonnen wurde, sind im Hydrographischen Jahrbuch 1968 erstmals die Daten für das Arbeitsgebiet Grundwasser automationsunterstützt veröffentlicht worden und im Jahrbuch 1971 wurde auch der Niederschlagsteil mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen erstellt.

Nach Jahren intensiver Arbeit an dieser generellen Umstellung konnte mit dem Hydrographischen Jahrbuch

1976 erstmals auch der Jahrbuchteil Oberflächengewässer mit Hilfe der elektronischen Verarbeitung veröffentlicht werden.

Besonders zu erwähnen ist dabei die Einführung der punkweisen Abtastung (Digitalisierung) der Schreibpegelauflaufzeichnungen mittels eines Koordinatenerfassungsgesetzes, wodurch ein kontinuierliches Umsetzen der Ganglinien ermöglicht wird. Es werden damit fachlich richtige Abflußauswertungen auch bei jenen Pegelstellen erhalten, an denen stärkere kurzfristige Abflußschwankungen auftreten, die durch die zunehmende Nutzung der Gewässer immer häufiger werden.

Neben der Ausschaltung weiterer Fehlerquellen und der rascheren Erstellung der Druckvorlagen konnten durch die Umstellung vor allem die Auswertungen von charakteristischen Abflußdaten wesentlich erweitert werden.

### 3. Der Ausbau des Pegelfernmeßnetzes und die Entwicklung neuer Methoden für die Zwecke der hydrologischen Vorhersage

Die bereits Anfang der 70er Jahre begonnenen Planungen zur Errichtung eines Pegelfernmeßnetzes für das Innggebiet in Tirol wurden mit dem Beginn der Installation dieser Anlagen im Jahre 1976 schrittweise realisiert und bis zum Jahre 1980 insgesamt 15 Pegelstellen mit Fernübertragungseinrichtungen ausgestattet. Damit verfügen alle größeren Flußgebiete in Österreich über moderne Fernmeßnetze, die vor allem dem amtlichen Hochwassernachrichten- und Warndienst und an der Donau speziell auch dem Wasserstandsnachrichten- und Prognosedienst für die Schifffahrt dienen.

Mit der Errichtung dieser Pegelfernmeßnetze wurden die Voraussetzungen für die Erprobung und Anwendung von Abflußprognosen, insbesondere von Hochwasserprognosen geschaffen. In kleinen Flußgebieten beruhen diese Prognosen auf Erfahrungswerten aus Wasserstandsrelationen oder auf vereinfachten mathematischen Prognosemodellen. An der Donau wird schon seit Jahren an der Erstellung eines mathematischen Abflußmodells gearbeitet, das vor allem die durch den Kraftwerksbau bedingten Veränderungen im Hochwasserabfluß zu berücksichtigen hat und mit dem mathematischen Modell für die deutsche Donau und mit jenem für den Inn abgestimmt wurde. Daneben wurden Untersuchungen von W. KRESSER und D. GUTKNECHT über die „Weiterentwicklung und Verbesserung der hydrologischen Vorhersagen an der Donau“ durchgeführt, die schließlich zu einem Forschungsauftrag an die genannten zwecks „Entwicklung eines Abflußmodells zur Erstellung von Wasserstandsvorhersagen für die niederösterreichische Donau“ führten. Die diesbezügliche Bearbeitung umfaßte die Entwicklung des eigentlichen Vorhersagemodells (Mehrfachspeicher-kaskadenmodell), eine Darstellung des Ablaufs der Vorhersage sowie die Ausarbeitung der benötigten Vorhersagebehefe, insbesondere eines Programmes für den Einsatz eines Kleincomputers. Die Untersuchungen wurden 1979 abgeschlossen, die Anwendung und Erprobung des Modells begann 1980 und führte zu für die Praxis durchaus zufriedenstellenden Vorhersageresultaten für den Pegel Wien (Reichsbrücke)/Donau.

### 4. Untersuchungen zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit für österreichische Gewässer

Nachdem während der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) mehrere Verfahren zur Berechnung der Hochwasserwahrscheinlichkeit auf ihre Anwendbarkeit für österreichische Gewässer in systematischen Untersuchungen geprüft und teilweise weiterentwickelt wurden, konnte nun die Auswertung der Hochwasserwahrscheinlichkeit aller genügend lang beobachteten Abflußmeßstellen in Österreich nach verschiedenen Verfahren in Angriff genommen werden.

Mit Hilfe der EDV werden die Kollektive der Jahreshochwässer nach der 1. Extremwertverteilung von GUMBEL und nach der Pearson-III bzw. Log-Pearson-III Verteilung und die partiellen Reihen mit Hilfe einer nicht linearen Regression ausgewertet. Die Ergebnisse aller drei Verfahren sollen dann für alle Stationen graphisch dargestellt werden und dem Hydrographischen Dienst als Grundlage für die Erstellung von Gebietsspendenlinien dienen.

### 5. Regionale Zusammenarbeit: Konferenzen der Donauländer für hydrologische Vorhersagen

Die im Jahre 1961 von den Donauländern gegründete Arbeitsgemeinschaft für hydrologische Vorhersagen führte ihre regelmäßigen Konferenzen über dieses Thema, die nach 1965 von den IHD-Nationalkomitees der Donauländer organisiert wurden, in Abständen von 2 Jahren durch. So wurde die 8. Konferenz im Jahre 1975 in Regensburg (BRD) abgehalten.

Im Jahre 1977 wurde die 9. Konferenz dieser Art wieder – wie schon 1961 die erste – in Budapest abgehalten und im September 1979 war das Hydrographische Zentralbüro mit der Organisation der 10. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen in Wien betraut.

Rund 340 wissenschaftliche Beiträge wurden im Verlauf dieser Konferenzserie vorgelegt und haben dazu beigetragen, diese für die Praxis äußerst wichtigen Forschungen weiterzuentwickeln.

Das Österreichische IHP-Nationalkomitee organisierte auch jeweils im nationalen Bereich die Ausarbeitung von Konferenzbeiträgen und die Teilnahme an diesen Konferenzen.

### 6. Regionale Zusammenarbeit: Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR)

Die im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade der UNESCO eingerichtete Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR) hatte sich in ihrer ersten Arbeitsphase, in der Österreich durch einen Vertreter des Hydrographischen Zentralbüros im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft mitwirkte, die Ausarbeitung einer umfassenden hydrologischen Monographie des Rheingebietes zur

Aufgabe gestellt. In 5 Arbeitsgruppen, die sich mit allgemeinen Karten, hydrometeorologischen Karten, Hydraulik und Hydrometrie, Abflußstatistik und Abflußvorhersagen befaßten, wurden dabei die fachlichen Fragen behandelt. Mit der Herausgabe dieses repräsentativen Werkes, das einen Textband, einen Tabellenband und einen Kartenteil umfaßt, konnte diese erste Arbeitsphase der Kommission im Jahre 1978 erfolgreich abgeschlossen werden.

Die Kommission setzte in der Folge ihre Arbeiten mit speziellen praxisbezogenen Themen, wie Standardisierung und Verarbeitung der Daten, Repräsentative Ge-

biete und Versuchsgebiete, Hydrologische Vorhersagen, besondere Extreperioden und Gebietsniederschläge weiter fort, wobei für diese 2. Arbeitsphase der KHR die nationalen Vertreter und Mitarbeiter neu zu nominieren waren.

Auf Grund des Ministerratsbeschlusses vom 16. September 1980 wonach Österreich auch in der 2. Phase des Internationalen Hydrologischen Programmes von 1981 bis 1983 mitwirken wird, wird Österreich ab Mai 1981 durch einen Vertreter des Hydrographischen Zentralbüros im Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft wieder in der KHR mitwirken.

## Beitrag des Institutes für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie der Technischen Universität Graz zum IHP

### Projekt „Hydrologisches Versuchsgebiet Pöllau“

Mit 1 Abbildung

#### Inhalt

|  |    |
|--|----|
| 1. Aufgaben und Ziele des Versuchsgebietes ..... | 71 |
| 2. Auswahl des Versuchsgebietes .....            | 71 |
| 3. Ausstattung .....                             | 73 |
| 4. Auswertung der Meßdaten .....                 | 73 |

### 1. Aufgaben und Ziele des Versuchsgebietes

Hydrologische Versuchsgebiete dienen im wesentlichen dazu, an Hand eindeutig bestimmbarer Gebietsverhältnisse und auf der Grundlage langjähriger Beobachtungen allen Fragen des hydrologischen Geschehens nachgehen zu können, deren Lösung von allgemeinem wissenschaftlichem und wirtschaftlichem Interesse ist. Dazu zählen vor allem Untersuchungen des kurz- und langfristigen Wasserhaushaltes und dessen Beeinflussung durch die Variabilität der Gebietsparameter und der Klimafaktoren, sowie durch anthropogene Eingriffe in den Naturraum, Untersuchungen über die Entstehung des Abflusses und dessen Beeinflussung durch die damit einhergehenden Veränderungen der Abflußbedingungen, sowie Untersuchungen über die Gebietsverdunstung und den Bodenwasserhaushalt, weiters zählen dazu die Entwicklung, Überprüfung und Anwendung mathematischer Modelle zur Beschreibung der Zusammenhänge im Wasserkreislauf, insbesondere zur rechnerischen Erfassung des Abflußprozesses und des natürlichen Retentionsverhaltens, weiters die Entwicklung, Überprüfung und Anwendung neuerer Meßmethoden in der Hydrologie, wie etwa des Einsatzes von Markierungstoffen, der Bestimmung der Umweltisotope und der Anwendung der Fernbildtechnik und schließlich Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Einzugsgebiete, sowie über die Repräsentativität des Versuchsgebietes bezüglich übergeordneter Regionen.

Ein hydrologisches Versuchsgebiet, das diesen vielfältigen wissenschaftlichen Zielsetzungen genügen soll, ist daher eine Einrichtung der experimentellen Wasserforschung und kann durchaus zutreffend auch als „Naturraumlabor für die hydrologische Grundlagenforschung“ bezeichnet werden. Die primär wissenschaftliche Aufgabenstellung einer solchen Einrichtung schließt selbstverständlich die Behandlung speziell ge-

bietsbezogener Probleme nicht aus, darf jedoch dabei ihre allgemeinen Ziele nicht aus den Augen verlieren.

### 2. Auswahl des Versuchsgebietes

Die Kriterien zur Auswahl des Versuchsgebietes ergeben sich einerseits aus der damit verbundenen allgemeinen wissenschaftlichen Zielsetzung und andererseits aus der Vorstellung, daß die regionalen hydrologischen Vorgänge an der Ostabdachung der Alpen besondere Berücksichtigung finden sollten. Die Lage des Gebietes sollte außerdem den Möglichkeiten der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Einzugsgebiete Rechnung tragen. Die Größe des Einzugsgebietes sollte so bemessen sein, daß es einerseits überschaubar und der instrumentelle Aufwand in angemessenen Grenzen bleibt, daß aber andererseits auch eine ausreichende Aussagegenauigkeit der Ergebnisse und die Repräsentativität des Gebietscharakters gewährleistet sind. Höhenlage und Geländeneigung sollten den Mittelgebirgsverhältnissen am Alpenostrand entsprechen, Form und Gliederung sollten eine möglichst hohe Vielfalt des Experimentierens zulassen, ohne daß jedoch die Einheitlichkeit des Gebietes unter einer zu starken Zergliederung leidet. Die geologischen Verhältnisse sollten so beschaffen sein, daß die Grenze des Einzugsgebietes eindeutig festgelegt werden kann und der Abfluß möglichst genau kontrollierbar ist. Das Witterungsverhalten sollte den regionalen Klimatyp möglichst zutreffend repräsentieren. Weiters sollten möglichst detaillierte Informationen über die Böden und die Vegetation des Einzugsgebietes vorhanden sein. Schließlich sollte einer raschen und wirksamen Kontrolle der instrumentellen Anlagen und einer reibungslosen Durchführbarkeit von Messungen und experimentellen Arbeiten durch eine günstige Verkehrslage des Versuchsgebietes zum Hochschulort Rechnung getragen werden.

Nach Abwägung aller möglichen Gesichtspunkte wurde die zentral im Steirischen Becken gelegene Pöllauer Bucht, die an der Basisabflußmeßstation eine Fläche von 58,3 km<sup>2</sup> umfaßt, als hydrologisches Versuchsgebiet ausgewählt. Die übergeordnete Abflußkontrolle erfolgt durch die Pegelstationen Waltersdorf an der Safen mit einer Gebietsfläche von 343 km<sup>2</sup> und Eltendorf an der Lafnitz mit einer Gebietsfläche von 1956 km<sup>2</sup>.

Das Einzugsgebiet gliedert sich in mehrere Teilgebiete, von welchen die Gebiete Saifenbach mit 31,3 km<sup>2</sup> und Prätisbach mit 21,1 km<sup>2</sup> als größte Flächen durch eigene Pegelstationen kontrolliert werden. Der höchste Punkt des Einzugsgebietes liegt auf 1280 m üA, der tiefste Punkt auf 399 m üA und die mittlere Höhe auf 757 m üA. Höhenlage, Geländere relief und Gewässer-

netzichte des Versuchsgebietes sind typisch und repräsentativ für den Mittelgebirgscharakter der ostalpinen Abdachung. Zudem eignet sich die hierarchische Staffelung der über- und untergeordneten Einzugsgebiete sehr gut für das Studium der Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen. Die Pöllauer Bucht ist geologisch eindeutig durch einen Teilbogen des kristallinen Steirischen Randgebirges abgegrenzt. In den unteren Höhenlagen greifen von Süden her tertiäre Sedimente in das Untersuchungsgebiet herein. Durch den verhältnismäßig einfachen geologischen Aufbau und durch seine klare Abgrenzung ist das Einzugsgebiet für methodische Untersuchungen besonders gut geeignet. Außerdem gibt es für das gesamte Einzugsgebiet eine detaillierte hydrogeologische Aufnahme.

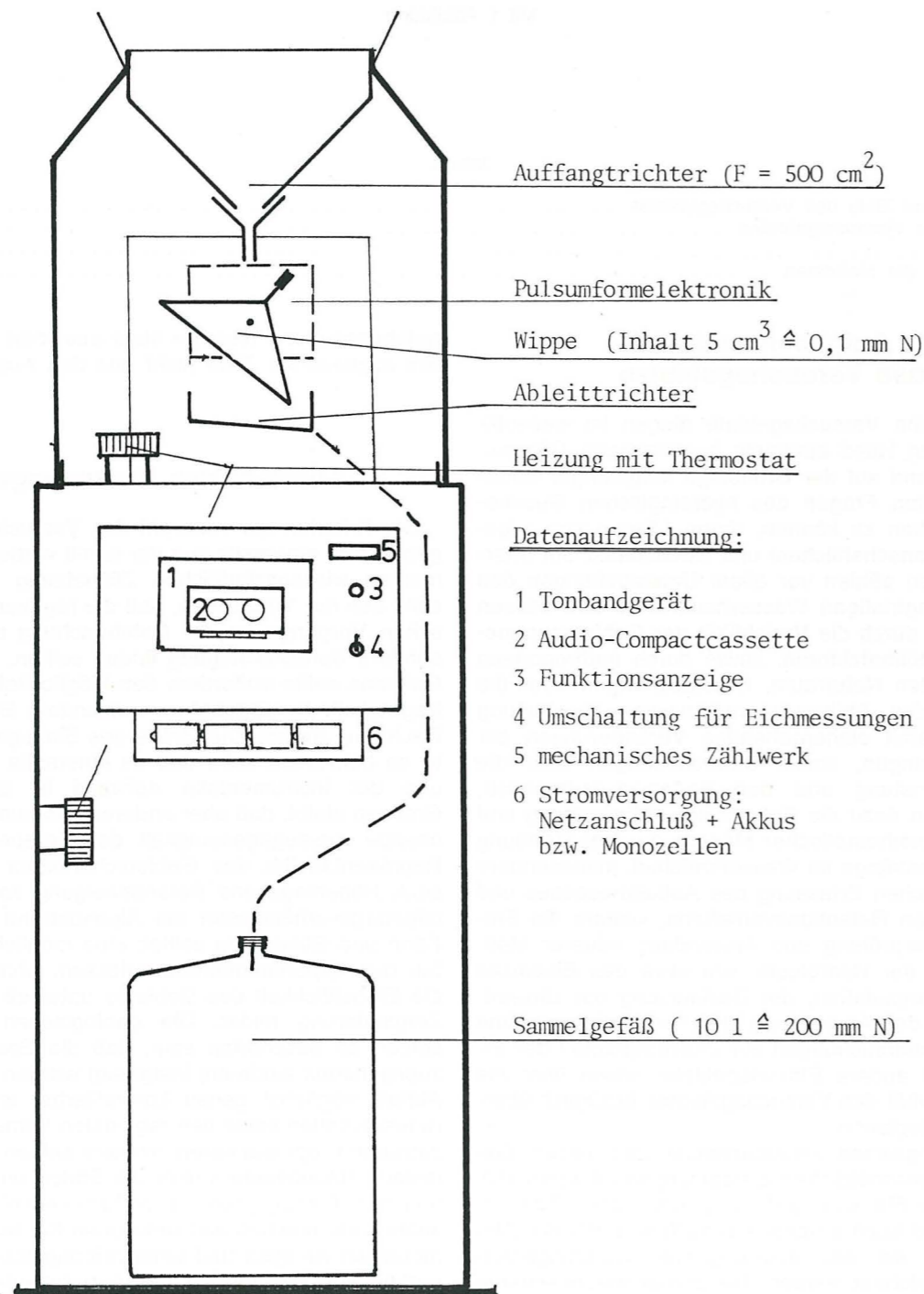


Abb. 1: Automatisches Niederschlagsmeßgerät.

Wie aus mehreren klimatologischen Untersuchungen hervorgeht, wirkt das Steirische Randgebirge auch als signifikante Klimascheide, welche die oststeirische Klimalandchaft deutlich gegen den alpinen Raum hin abgrenzt. Alle wesentlichen Elemente dieses Klimatyps, wie die Niederschlags- und Temperaturverteilung, die Schneelage, die Sonneneinstrahlung und die Gewittertätigkeit, sind in der Pöllauer Bucht repräsentativ vertreten.

Für die Böden des Versuchsgebietes besteht eine vor kurzem von der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesanstalt fertiggestellte detaillierte Kartierung, die eine wesentliche Grundlage für die hydrologische Beurteilung des Abflußgeschehens bildet. Außerdem wurde bereits eine generelle Vegetationskarte erstellt, wofür die neuesten Luftbildaufnahmen verwendet wurden.

Die künftige Entwicklung der Gebietsverbauung wird dadurch in Grenzen gehalten, daß die Interessengemeinschaft der in der Pöllauer Bucht gelegenen Gemeinden im Hinblick auf die Erhaltung des Gebietes als Erholungsraum bestrebt ist, die gesamte Gebietsfläche dem Landschaftsschutz zu unterstellen.

Innerhalb des Einzugsgebietes ist die Gewässerregulierung im wesentlichen abgeschlossen. Als Hochwasserschutzmaßnahme ist die Errichtung einer Reihe von Rückhaltebecken geplant. Dieses Bauvorhaben ist insofern bedeutsam, als einerseits für die detaillierte Planung die im Versuchsgebiet erhobenen hydrologischen Daten zur Verfügung gestellt werden können und andererseits die Auswirkungen des Hochwasserrückhaltes unmittelbar an Ort und Stelle studiert werden können.

Das hydrologische Versuchsgebiet Pöllau liegt rund 60 km von Graz entfernt. Daher sind aus der Verkehrslage weder für die regelmäßige Kontrolle und Wartung der Meßinstrumente, noch für die Durchführung von Eichmessungen und Feldexperimenten nennenswerte Schwierigkeiten zu erwarten.

### 3. Ausstattung

Die Konzeption des Beobachtungsnetzes ging von dem Grundgedanken aus, ein ausbaufähiges und stufenweise realisierbares Instrumentarium zu schaffen, welches gesteuert von einer einheitlichen Quarzzeitbasis mit einem für alle Gebergrößen gleichen Datenträger betrieben werden kann und so für die Datenverarbeitung besonders günstige Voraussetzungen bietet.

Die instrumentelle Ausstattung des hydrologischen Versuchsgebietes Pöllau wurde im Herbst des Jahres 1978 in Angriff genommen. Vor Beginn des Forschungsprogrammes bestand die Geräteausstattung in je einem Niederschlagsmesser innerhalb und am Rande des Einzugsgebietes (Stationen Pöllau und Kreuzwirt). Seit dem Jahre 1978 wurden zusätzlich folgende Meßgeräte installiert:

- 6 selbstregistrierende Niederschlagsmeßgeräte
- 3 selbstregistrierende Pegelstationen
- 1 Klimastation, vorläufig bestehend aus:
  - 1 selbstregistrierenden Niederschlagsmeßgerät
  - 1 Niederschlagsmesser
  - 1 Windgeschwindigkeits- und Richtungsmeßgerät
  - 1 Lufttemperaturmeßgerät
  - 1 Luftfeuchtemeßgerät
- 2 Bodentemperaturprofilmeßgeräte mit je 5 Thermometern.

Die selbstregistrierenden Niederschlagsmeßgeräte arbeiten nach dem Wippenprinzip und wurden gemeinsam mit der Hydrographischen Landesabteilung und dem Institut für Systemtechnik am Forschungszentrum Graz entwickelt (Abb 1). Die Geräte sind für flüssigen und festen Niederschlag eingerichtet und bestehen aus einem Auffangtrichter von 500 cm<sup>2</sup> Fläche, einer modifizierten Hornerschen Wippe mit 5 cm<sup>3</sup> Gefäßinhalt, der Meßelektronik mit Magnetbandaufzeichnung, sowie einem Sammelgefäß. Sämtliche Geräteteile sind in einem kompakten Gehäuse untergebracht. Registriert wird jeweils der Zeitpunkt des Wippenumschlages (Zeitgebergenauigkeit: 1/16 Sekunde), entsprechend einer Niederschlagshöhe von 0,1 mm. Im Gerät ist für eine Reihe von Meßwertkontrollen, sowie für die Möglichkeiten der Datenfernübertragung Vorsorge getroffen. Die Niederschlagsmeßgeräte wurden nach Lage und Höhe im Einzugsgebiet so verteilt, daß die Meßwerte als repräsentativ sowohl für die Gesamtfläche, als auch für die einzelnen Teilflächen gelten können.

Die Pegelstationen bestehen aus pneumatischen Druckübertragungsgeräten, sowie einem analogen und einem digitalen Registrierteil. Letzterer zeichnet – ähnlich wie die Niederschlagsmeßgeräte – die Wasserstandsdaten auf Magnetband auf, wobei sowohl der Zeitpunkt einer diskreten Wasserstandsänderung (Änderungsintervall ± 1 cm) als auch die jeweilige Wasserstandshöhe registriert werden. Die pneumatischen Pegelanlagen sind ebenfalls mit Kontrolleinrichtungen und mit Anschlüssen für eine Datenfernübertragung versehen. Die Eichmessungen zur Erstellung der Pegelschlüssel werden routinemäßig von der Hydrographischen Landesabteilung durchgeführt, wobei die Erfassung höherer Abflußbeträge auf gewisse organisatorische Schwierigkeiten stieß. An der Klimastation, sollen die wichtigsten physikalischen Größen des atmosphärischen Wasser- und Wärmehaushaltes, sowie jene des Bodenwasserhaushaltes erfaßt werden. Die Windrichtungs- und -geschwindigkeitsmessung erfolgt derzeit in 10 m Höhe über Gelände, Temperatur und relative Feuchte der Luft werden 2 m über der Erdoberfläche gemessen. Der Temperaturgradient des Bodens wird in zwei Meßprofilen mit Thermometern auf Bodenniveau und in 5, 10, 20 und 40 cm Tiefe bestimmt. Sämtliche Klima- und Bodendaten werden wie die Niederschlags- und Abflußdaten ebenfalls digital mit Magnetbandregistriergeräten aufgezeichnet.

### 4. Auswertung der Meßdaten

Die vorläufige Auswertung der Meßdaten erfolgt auf der Rechenanlage NOVA des Institutes für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung an der Technischen Universität Graz. Für diese Anlage wurden Rechenprogramme sowohl für die Herstellung des Rohdatenfiles als auch für erste Auswertungen zum Zwecke der Datendokumentation erstellt.

Die bisherigen Auswertearbeiten haben zu einer Reihe von gerätetechnischen Verbesserungen geführt, die nunmehr ein weitgehend klagloses Funktionieren der im Gelände befindlichen Meßanlagen gewährleisten. Die Hauptarbeiten haben sich im letzten Betriebsjahr auf die Eichung der Meßeinrichtungen konzentriert, welche neben der Wartung und Kontrolle der Geräte regelmäßig durchgeführt wurde.

Mit dem Sammeln von Wasserproben an Niederschlägen und Oberflächengewässern zur Bestimmung des Isotopengehaltes wurde begonnen. Diese wurden als Voruntersuchungen für die Erstellung eines detaillierten

Programmes angelegt, das die Aufnahme von isotohydrologischen Meßreihen als methodische Vergleichsstudie zu den hydrologischen Datenreihen zum Inhalt hat.