

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.
Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société
Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative
= Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 150 (1970)

Vereinsnachrichten: Sektion für Geophysik

Autor: [s.n.]

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

9. Sektion für Geophysik

Sitzung der Schweizerischen Gesellschaft für Geophysik

Samstag, 17. Oktober 1970

Präsident: Prof. Dr. M. DE QUERVAIN, Eidgenössisches Institut
für Schnee- und Lawinenforschung, 7260 Weissfluhjoch/Davos
Sekretär: Dr. H. W. COURVOISIER, Krähbühlstrasse 58, 8044 Zürich

1. MAX BOUËT (Le Mont sur Lausanne) et WALTER KUHN (Zurich) – *Vagues de brouillard considérées comme ondes de gravité*

Du 11 au 14 janvier 1970, l'un de nous (B) a observé au Mont sur Lausanne (710 m) des «vagues» de brouillard et a pu en déterminer la période moyenne.

Il y avait ces jours-là entre le sol et 1500 m une forte *inversion de température* de l'ordre de 5° à 8° sur le Plateau que recouvrait, du Léman au Bodan, une nappe dense et persistante de stratus dont la limite supérieure a oscillé entre 600 et 800 m environ.

Placé sur un petit replat du Jorat vaudois, à 710 m d'altitude, B a noté le plus exactement possible les allées et venues, flux et reflux, de la nappe de stratus formant une mer de brouillard très plate et unie. Avec une remarquable netteté le brouillard s'avancait en montant vers le nord-est, puis refluaient vers le sud-ouest en s'abaissant. Le niveau supérieur de la nappe nuageuse passait ainsi alternativement de 600 à 750 m environ.

L'intervalle entre deux maxima de flux a varié entre 30 et 100 min; le 11 janvier, 9 intervalles successifs ont fourni une période moyenne de 67 min, et le 12 janvier 10 intervalles une période moyenne de 62 min; les 13 et 14, on n'a pu observer que 3 périodes de 60 min. La brise à 700 m était très faible; les vitesses d'avance et de recul quasi horizontaux du brouillard sur la pente inclinée de 4% furent estimées à 5 à 10 km/h au plus. Il ne fut pas toujours facile de repérer le moment précis d'un maximum d'avance ou d'un minimum de retrait; par contre, l'ensemble du mouvement fut d'une saisissante netteté.

Un thermographe placé au Mont sous abri a fourni une courbe de température présentant des alternatives de baisse et de hausse de l'ordre du degré seulement qui ont en général coïncidé avec les flux et reflux du brouillard.

Le phénomène ci-dessus décrit et maintes fois observé par l'auteur B en d'autres endroits [1] est difficile à suivre et exige patience et grande attention, car il est lent et un peu flou dans le détail; considéré dans son ensemble, il est très frappant, majestueux même et s'impose au regard. La périodicité du mouvement est sans doute quelque peu troublée par le

relief et par la « fragilité » des nuées. La réalité du phénomène est cependant indiscutable.

Tels sont les faits. S'agit-il d'ondes internes à la surface limite indiquée par l'inversion de température, ou de seiches du lac d'air froid analogues aux seiches d'un lac d'eau ? Dans ce qui suit, le second auteur (K) tente d'esquisser une théorie dynamique du phénomène sans cependant pouvoir trancher la dernière question de façon définitive.

Lorsqu'une masse d'air froid est surmontée d'une masse d'air chaud, des *ondes de gravité* peuvent se former à la surface de séparation. Dans le cas qui nous occupe, ces ondes sont rendues visibles par la présence du stratus ondulant.

La théorie des ondes de gravité est un sujet complexe qui intéresse en premier lieu les hydrodynamiciens. Parmi les études météorologiques s'y rapportant citons celle de J. C. FREEMAN [2].

Sous certaines hypothèses simplificatrices, la longueur d'onde L et la vitesse de propagation c peuvent se calculer selon les formules

$$L = (u \pm c) \cdot T, \quad c = \sqrt{g \cdot H \cdot \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1}}$$

où u signifie la composante du vent parallèle à la direction de propagation, T la période, g l'accélération de la gravité, H la profondeur de la masse d'air froid, ρ_1 et ρ_2 les densités de l'air froid et de l'air chaud, respectivement. La seconde formule n'est rigoureusement valable que si L est grand par rapport à H et si la densité est homogène dans chacune des deux masses.

En réalité, nous n'avons pas deux masses d'air homogènes séparées par une surface horizontale, mais une inversion de température s'étendant dans la verticale sur quelques centaines de mètres.

A ce cas réel correspond une formule analogue dans laquelle on introduit les températures potentielles (en degrés Kelvin) valables pour la base et le sommet de l'inversion à la place des densités. Une démonstration sera probablement publiée ailleurs.

La situation météorologique du 11 au 14 janvier 1970 étant caractérisée par des vents faibles en plaine, nous sommes en droit de négliger u par rapport à c .

Si nous calculons les valeurs de la température potentielle d'après les sondages aérologiques faits à Payerne, et si nous introduisons les périodes T et les profondeurs H correspondant aux observations de B , nous arrivons à des longueurs d'onde L de 30 à 40 km.

La théorie esquissée ci-dessus inclut également des ondes stationnaires dites seiches, la largeur du bassin correspondant à une demi-longueur d'onde. La distance entre le Jorat et les collines françaises situées au sud du Léman est d'environ 15–20 km au niveau de la mer de brouillard considérée. Tant que le mouvement ondulatoire du brouillard n'est pas observé simultanément en plusieurs endroits, on ne peut donc pas exclure

la possibilité de seiches. Nous penchons cependant pour l'interprétation de ces vagues de brouillard comme ondes de gravité se déplaçant en travers du Léman avec une vitesse de 30–40 km/h.

BIBLIOGRAPHIE

1. BOUËT, M.: Vagues de brouillard. Actes Soc.Helv.Sc.Nat. 1952.
2. Compendium of Meteorology. Boston 1951, p. 424.

2. THOMAS GUTERMANN (Meteorologische Zentralanstalt Zürich) – *Niederschlagsverhältnisse im Rheintal zwischen Chur und Bodensee*

Im Hinblick auf die in den kommenden Jahren schrittweise durchzuführende Automatisierung der Kontrolle von meteorologischen Beobachtungs- und Messdaten sind im Rahmen eines Nationalfondsprojektes Untersuchungen über die Niederschlagsverhältnisse im Gange. Als erstes Testgebiet wird gegenwärtig das Rheintal zwischen Chur und Bodensee bearbeitet. Es soll hier auf einige Ergebnisse eingegangen werden.

Grundsätzlich müssen für die teilweise automatische Kontrolle von Niederschlagsmengen eines bestimmten Ortes möglichst genaue Schätzungen auf Grund von geeigneten Nachbarstationen bestimmt werden. Weicht nun der zu prüfende Niederschlag von der geschätzten Menge zu stark ab, so muss auch in Zukunft ein Fachmann entscheiden, ob der fragliche Wert beibehalten oder abgeändert werden soll. Bei einer Anwendung der von BLEASDALE [1] für Grossbritannien oder von HOVMOELLER [2] für Schweden beschriebenen Verfahren zur Bestimmung der Schätzwerte werden die komplizierteren – vorwiegend reliefbedingten – Abhängigkeitsverhältnisse in der Schweiz zu wenig berücksichtigt. Auf eine eigene ausführliche Regressionsanalyse konnte daher nicht verzichtet werden.

Als quantitatives Mass für die Beziehungen zwischen den 19 im oben erwähnten Untersuchungsgebiet liegenden Niederschlagsstationen wurden für die Periode 1965–1967 die gegenseitigen Korrelationskoeffizienten berechnet. Obgleich die strömungsmässige Zusammensetzung der 3 Testjahre von derjenigen der Periode 1955–1968 etwas abweicht (vgl. Abb. 1), dürften die berechneten Zusammenhänge weitgehend den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen. Infolge der 291 niederschlagsfreien Tage liegen die dreijährigen Korrelationskoeffizienten meist über 0,8. Obwohl auch in diesem Gebiet die Korrelationen stark von den Entfernungen der Bezugsstationen abhängen, weicht bei 3 von 8 im Rheintal liegenden Stationen die Rangfolge der Korrelationen der 4 nächstgelegenen Orte von derjenigen der Entfernungen ab (so folgt beispielsweise die am drittnächsten bei Haag SG gelegene Station Wildhaus in bezug auf die Korrelation erst an zwölfter Stelle). Bei Miteinbezug von 4 Nachbarstationen bewegt sich die durchschnittliche Entfernung zwischen 8 und 10 km, während der mittlere Korrelationskoeffizient um 0,92 schwankt.

Mit Hilfe der Vierfelderkorrelation wurden auch die qualitativen Beziehungen – Niederschlag / kein Niederschlag – untersucht. Es zeigte sich, dass die Reihenfolge der resultierenden Masszahlen für die verschiedenen Stationspaare innerhalb einer Gruppe von Messorten teilweise von derjenigen der im vorigen Abschnitt erwähnten Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten abweicht. Bei der Auswahl der Bezugsstationen für die Regressionsrechnung muss dies berücksichtigt werden, da sonst trotz optimalen quantitativen Schätzungen die Zahl der Tage mit Niederschlag systematisch verfälscht werden kann.

Im weitem galt es zu prüfen, inwieweit die Regressionsverhältnisse verbessert werden können, wenn gleichzeitig nur Tage mit denselben Strömungsverhältnissen betrachtet werden. Abbildung 2 zeigt, dass bei der relativen Anzahl von Tagen mit Niederschlag an allen 19 Stationen zwischen den verschiedenen Gruppen klare Unterschiede auftreten. Dasselbe gilt auch für die mittleren Niederschlagsmengen der einzelnen Stationen.

Die bisherigen Bearbeitungen belegen, dass bei Berücksichtigung der von SCHUEPP [3] eingeführten Strömungsklassifikation, welche für den gesamten schweizerischen Raum angewendet werden kann, die mit Hilfe der Regressionsrechnung erhaltenen Niederschlagsschätzungen genauer sind. Inwieweit diese Verbesserungen den nicht unerheblichen program-

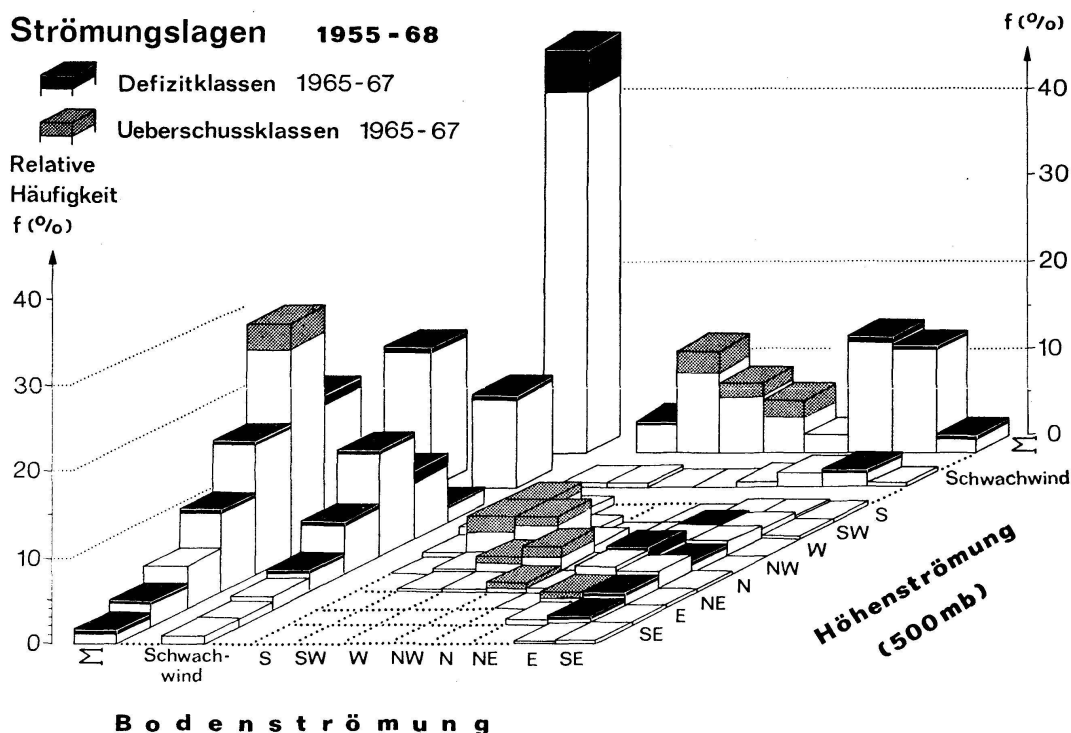


Abbildung 1

Vergleich der Periode 1965–1967 mit derjenigen von 1955–1968 auf Grund der täglichen Strömungsverhältnisse um 13 Uhr (MEZ), basierend auf der Alpenwetter-Klassifikation von SCHUEPP [3]

Abbildung 2

Niederschlagsverhältnisse im Rheintal nach Witterungslagen (19 Stationen zwischen Chur und Bodensee)

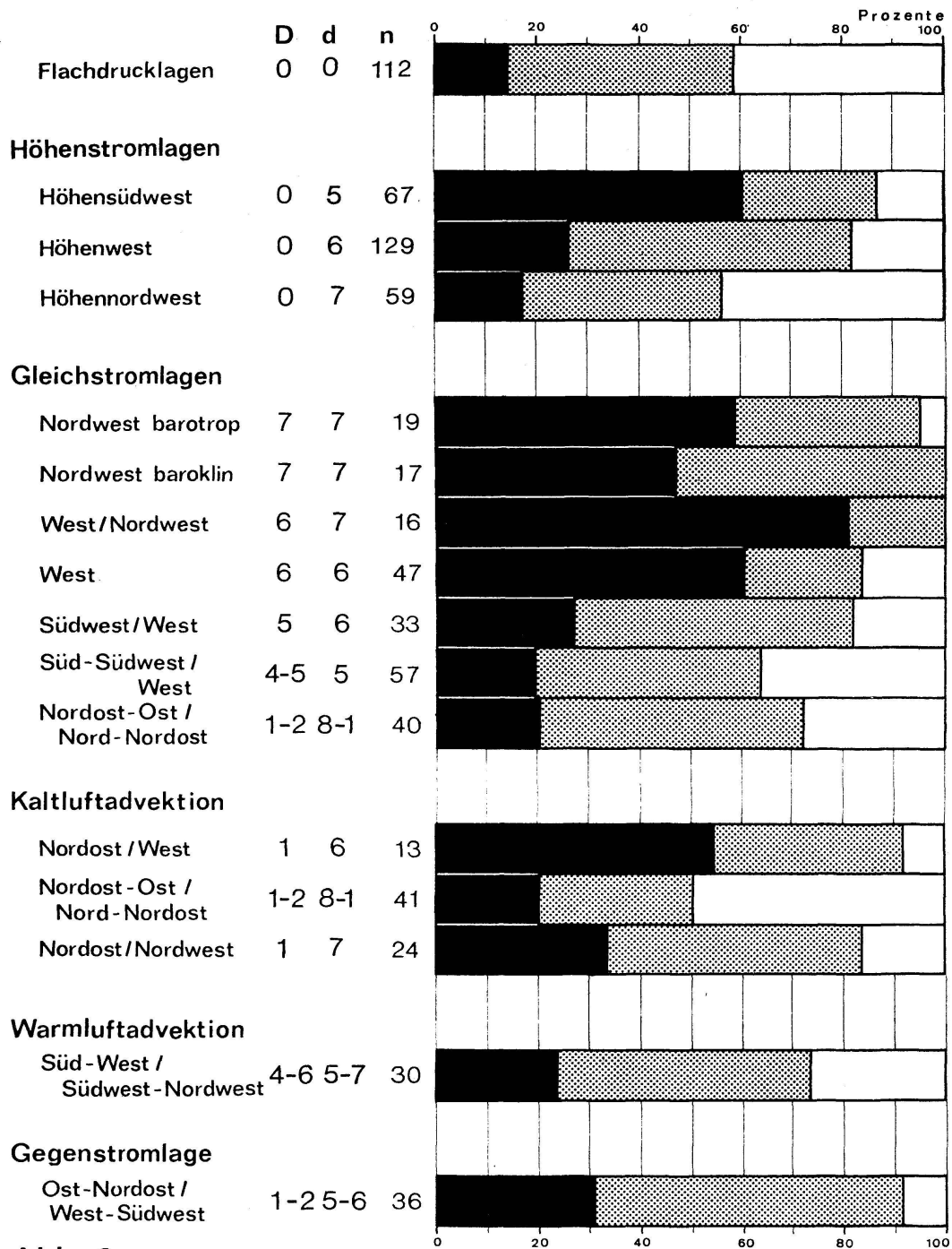


Abb. 2 Legende:

Niederschlag:
 an allen Stationen
 an einem Teil der Stationen
 an keiner Station

D Bodenströmung (in Achtern)
d Höhenströmung (500 mb)
n Anzahl Tage (total 740 aus den Jahren 1965-67)

mier- und rechentechnischen Mehraufwand rechtfertigen, muss in weiteren Untersuchungen abgeklärt werden.

LITERATUR

1. BLEASDALE, A.: The Processing of Rainfall Data by Computer. Met.Mag. (London) 94: 98–107 (1965).
2. HOVMOELLER, E.: A Semi-Automatic System for Quality Control of Precipitation Data. Vervielfältigtes Manuskript, 13 S.
3. SCHUEPP, M.: Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955–1967. Veröff. Schweiz.Met.Zentr., Heft 11, 43 S., Zürich 1968.

3. ELENIO ZENONE (Osservatorio Ticinese, Locarno-Monti) – *Die geographische und jahreszeitliche Verteilung der Tage mit Gewittern auf der Alpensüdseite* (erscheint ausführlich an einer anderen Stelle)

4. EMIL WALSER (Bern) – *Transport gelöster Stoffe in Fließgewässern*

Es wird über Ergebnisse von Trockenrückstandsbestimmungen berichtet, die in der Unterabteilung Landeshydrographie des eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft vorgenommen worden waren.

Verwendet wurden Wasserproben, die an 19 Stationen schweizerischer Flussläufe während eines Jahres in Zeitabständen von ungefähr einem Monat entnommen worden waren und denen dann mittels Membranfiltern von 0,0006 mm mittlerer Porenweite die Schwebestoffe entzogen worden waren. Die nachstehend angegebenen Werte des Trockenrückstandes umfassen also streng genommen neben den gelösten Stoffen auch noch Schwebestoffe einer Korngrösse kleiner als der oben angegebenen Porenweite.

Es wird auf folgendes hingewiesen:

1. Die Durchschnittswerte des Trockenrückstandes, berechnet aus den Ergebnissen jeder Einzelprobe einer bestimmten Station, liegen zwischen 52 mg/l, Aare/Brienzwiler, und 484 mg/l, Borgne/La Lurette.

2. Bei der Linth sind Durchschnittswerte und Streuungsbereich der gelösten Stoffe vor dem Eintritt in den Walensee und nach dem Verlassen desselben beinahe gleich, während der Schwebestoffgehalt vor dem See im Sommer ein Vielfaches desjenigen am Seeausfluss beträgt.

3. Beim Brienzersee kommen im Durchschnitt von der Aare 52 mg/l gelöste Stoffe, von der Lütschine 149 mg/l; der entsprechende Wert nach dem Austritt aus dem See liegt mit 95 mg/l dazwischen.

4. Die Ergebnisse betreffend gelöste Stoffe der Einzelproben einer bestimmten Station variieren, verglichen mit den Verhältnissen bei Schwebestoffen, innerhalb relativ enger Grenzen. Der Quotient aus grösstem zu kleinstem Trockenrückstand beträgt für die Stationen Aare/Brugg AG

und Linth/Weesen Biäsche nur 1,23; er erreicht die höchsten Werte mit 4,44 an der Borgne bei La Luette und mit 4,52 an der Rhone bei Brig. Es wird daran erinnert, dass bei der Schwebestoffführung dieser Quotient nicht selten einen Wert von 1000 erreichen kann.

5. Der grösste Trockenrückstand einer Einzelprobe ist mit 750 mg/l an der Borgne in La Luette festgestellt worden, der kleinste mit 32 mg/l an der Aare in Brienzwiler.

6. Der Streuungsbereich der Proben ist für gewisse Stationen kleiner als der Unterschied zwischen den Stationsdurchschnitten. Damit kann der durchschnittliche Trockenrückstand zu einem Charakteristikum des Einzugsgebietes werden.

Im Falle des Inns bei Martinsbruck scheint ein ausgeprägter Jahresgang, und zwar gegenläufig zu demjenigen der Wasserführung, vorzuliegen, bei der Thur in Bütschwil hingegen nicht.

Für 7 weitere Stationen: Aare/Interlaken, Aare/Brügg BE, Aare/Brugg AG, Aare/Stilli, Rhein/Bad Ragaz, Linth/Weesen Gäsi und Linth/Weesen Biäsche ist ein Jahresgang schwach zu erkennen. Die kleinsten Werte des Trockenrückstandes treten im allgemeinen in den Monaten Juni und Juli, die grössten im Februar auf.

Die in gelöster Form transportierten Mengen sind beträchtlich. Rechnen wir z.B. für die Aare bei Stilli mit dem Durchschnitt von 221 mg/l und der durchschnittlichen Abflussmenge von 557 m³/s, so erhalten wir einen Transport von Stoffen in gelöster Form von 120 kg/s, 10380 t/Tag oder 3780000 t/Jahr. Berechnen wir für diesen Wert unter Annahme eines spezifischen Gewichtes von 2,5 das Volumen und beziehen wir das letztere auf die Fläche des Einzugsgebietes, so erhalten wir 0,086 mm/Jahr. Für die Borgne bei La Luette ergibt die analoge Rechnung 0,194 mm/Jahr.

Der Schwebestoffgehalt einer Probe beträgt oft nur einen Bruchteil des Gehaltes an gelösten Stoffen. Sobald jedoch die Abflussmenge anschwillt, kann der Schwebestoffgehalt zu sehr hohen Werten emporschnellen, während die Konzentration der gelösten Stoffe dann oft nur leicht zurückgeht; diese letztere ist im allgemeinen von der Wasserführung nur wenig beeinflusst.

5. ALESSANDRO RIMA (Locarno-Muralto) – *Sulle oscillazioni periodiche dei livelli del Lago Maggiore*

Con l'analisi dei livelli medi annuali del Lago Maggiore di Locarno a Sesto Calende (1868–1965), si è voluto mettere in evidenza la presenza di ritmi o cicli o periodi nell'andamento cronologico della serie annua, continua e omogenea di 98 anni.

La scomposizione della serie nelle onde componenti, permette una migliore correlazione con le altre della stessa modalità ricavate dalle serie cronologiche naturali esaminate con gli stessi criteri [4], si da poterne concludere delle leggi particolari.

Considerando che la curva empirica sia costituita da elementi sinusoidali i cui periodi $T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_n$ siano numeri arbitrari, la successione $y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n$, con unità di tempo l'anno, può essere espressa da

$$y = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \sin \frac{2\pi}{T_i} (T + \alpha_i)$$

Con l'indicazione di $H_1, H_2, \dots, H_i, \dots, H_n$, dei valori medi annui dei livelli del Verbano in m s.m. o riferito ad uno $\pm 0 = 192,64$ m s.m., si ha la serie in esame (espressa in cm sul grafico). Dallo studio di altre serie naturali [2, 3] si conoscono i periodi medi risultanti tra innumerevoli periodicità prossime a questi e si può con filtri opportunamente scelti mettere in evidenza la presenza di queste periodicità. Per fattori diversi non tutte le onde che potrebbero essere selezionate sono continue e quindi le somme di lunghezza d'onda prossime a quelle medie provocano delle leggere modificazioni di frequenza (sulla fig. 1 è riportata solo la lunghezza d'onda media).

La lunghezza d'onda varia entro limiti apparentemente irregolari presentando cioè una modulazione di frequenza pure irregolare esprimibile, rispetto alla lunghezza d'onda T , in $T \pm 20\% T$ [3].

Ne consegue che i metodi strettamente matematici diffusi (FOURIER) non sono appropriati per queste analisi e viene quindi adottato il metodo denominato periodale di LABROUSTE o VERCELLI [1] che consiste nell'applicazione di combinazioni lineari e simmetriche o con predisposti filtri selettivi.

E da notare che nell'analisi periodale di più serie cronologiche naturali, vogliamo accennare ai deflussi del fiume Ticino a Bellinzona [5] ad analisi di serie pluviometriche termiche e barometriche della regione ticinese [2], si è messo in evidenza sempre le stesse periodicità medie, consigliando di adottare i medesimi filtri per avere degli utili materiali comparativi [6].

Tabella I

Risultati dell'analisi periodale delle serie dei livelli medi del Lago Maggiore rilevati a Sesto Calende, 1868-1965 (98 anni). Onde risultanti dalle analisi. Ampiezze¹ medie e massime delle singole periodicità (in cm) e valore in % rispetto all'escursione massima delle serie $\Delta = 137$ cm

Onda prossima in anni	Onde risultanti dalle analisi in anni	Ampiezza media in cm	% rispetto all'escursione (Δ)	Ampiezza massima in cm	% rispetto all'escursione (Δ)
2	2,27	15,6	11 %	47	34 %
3	2,94	32,3	24 %	104	76 %
4	4,02	27,7	20 %	67	48 %
5,6	5,80	21,6	16 %	57	42 %
8	7,94	21,3	16 %	36	26 %
11,2	11,00	13,1	10 %	22	16 %
22,4	20,80	21,0	15 %	27	19 %

¹ Ampiezza adottata rispetto alla formula $= 2 A_i$

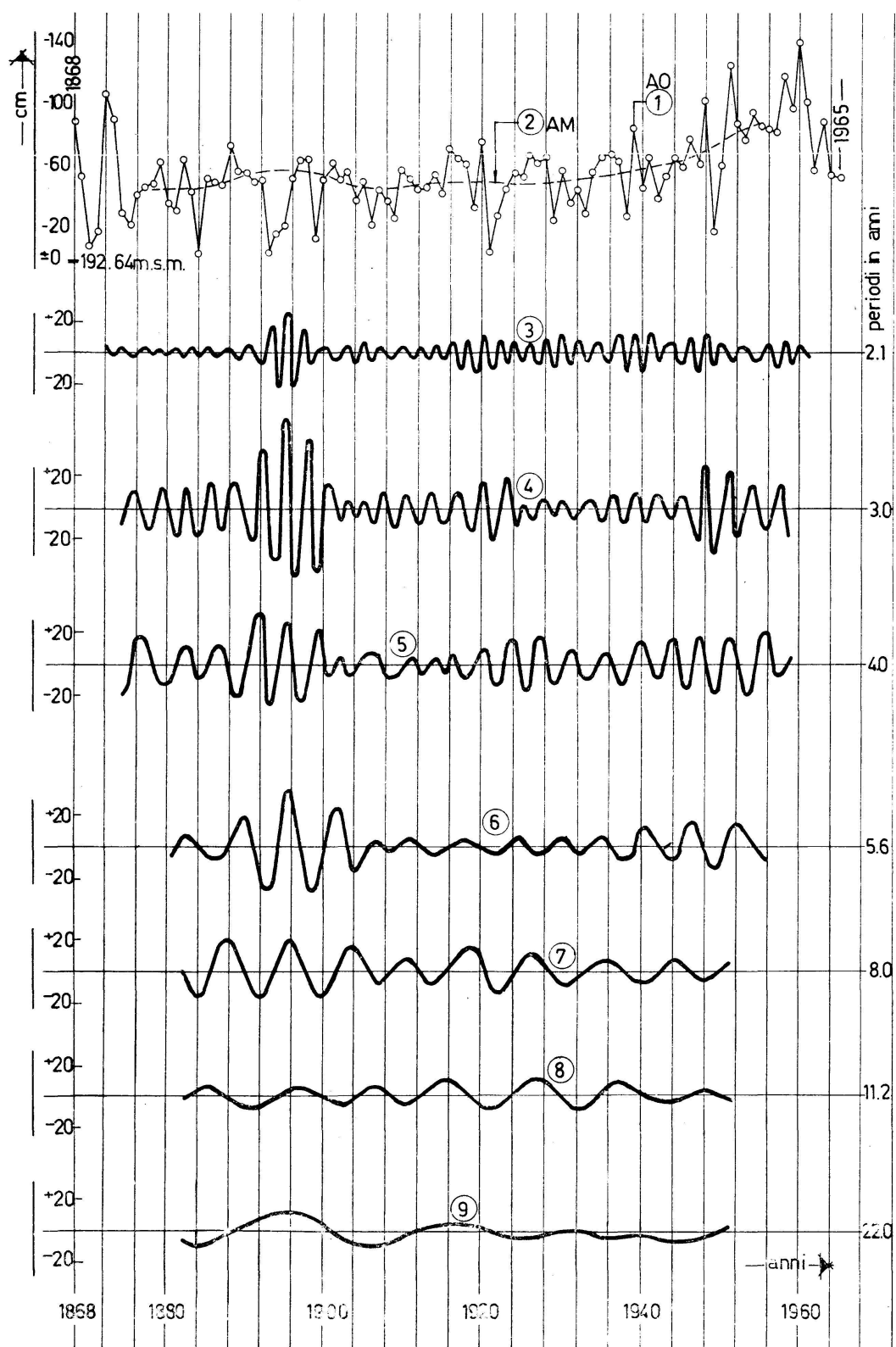


Figura 1
Analisi periodale della serie dei livelli medi del Lago Maggiore a Sesto Calende, 1868-1965 (98 anni). Espressi in cm riferiti a $\pm 0,00 = 192,64$ m s.m.

Dalle analisi periodali dei livelli medi del Lago Maggiore si sono ricavate periodicità prossime ai valori medi (fig. 1) seguenti, indicate con P_i (dove P = periodo e i = lunghezza d'onda media in anni):

$$P_2, P_3, P_4, P_{5,6}, P_8, P_{11,2}, P_{22}, \dots (\text{tab. I})$$

E chiaro che il lago esprime un po' la sintesi di tutte le influenze possibili presenti nei fenomeni climatici e di conseguenza la correlazione con le serie dei deflussi è evidente da permettere delle utili applicazioni nel campo dell'idrologia, stime di valori mancanti, ricostruzioni parziali di serie, valori estremi ecc.

La periodicità in ordine crescente, secondo il criterio di Mosetti formano una serie geometrica a ragione di $\sqrt{2}$ [4]. In particolare vengono accennate le onde 11,2 che sono quelle che si riscontrano con maggiore ampiezza nelle serie dei fenomeni solari, come pure sono messe in evidenza in tutte le analisi, nel presente caso con ampiezza massima di 22 cm, pari al 16% dell'escursione massima (Δ) di 137 cm (tab. I), mentre la media rappresenta il 10%, ciò che indica una certa persistenza rilevabile anche per la periodicità di 8 anni.

Le amplificazioni massime più significative si presentano per le onde < di 8 anni con dei valori ($2 A_i$) da 47 a 104 cm, rappresentanti il 76% dell'escursione massima, mentre quelle medie sono un terzo del valore sopra esposto.

Difficilmente in queste serie è possibile ricavare delle onde superiori ai 22 anni in quanto occorre un maggiore numero di termini.

Per le singole periodicità si notano delle modulazioni di ampiezza con onde portanti di 22–35 anni, più significative per le onde < a 5,6 anni. La natura delle fasi delle onde di 2, 3 e 4 anni – che si presenta del resto anche nell'onda di 22 anni – dopo il 1930, è analoga a quelle risultanti dalle analisi della serie dei valori medi dei deflussi del fiume Ticino a Bellinzona [7], facilmente comprensibile per l'interdipendenza dell'afflusso e accumulazione.

Per la realtà fisica di questi cicli climatici si fa capo di solito al criterio di MARVIN-POLLI [1] richiedente la persistenza nell'intervallo, comunanza a tutti i cicli climatici del luogo, analogo sviluppo, spostamento de fase e ampiezza notevole, ciò che la serie dei livelli del Lago Maggiore sembra soddisfare.



- 1 AO andamento originale in cm riferito ca. $a \pm 0,00$
- 2 AM asse medio
- 3 onda prossima a 2,0 anni
- 4 onda prossima a 3,0 anni
- 5 onda prossima a 4,0 anni
- 6 onda prossima a 5,6 anni
- 7 onda prossima a 8,0 anni
- 8 onda prossima a 11,2 anni (periodo solare)
- 9 onda prossima a 22 anni (tralasciato il resto)

BIBLIOGRAFIA

1. VERCELLI, F.: Guida per l'analisi delle periodicità dei diagrammi oscillanti. Com. Talass. It. del CNR, Mem. CCLXXXV, 1940.
2. RIMA, A.: Analisi periodale di due serie pluviometriche nel Cantone Ticino: San Gottardo (1908–1957) e Mosogno (1910–1957). Mtsbull.Schweiz.Ver.Gas- u. Wasserfachm. 1960, 10 pag., 9 fig., 9 tab.
3. RIMA, A.: Sui valori estremi delle serie cronologiche rappresentanti fenomeni naturali. Geof.Meteorol. X: 3–4 (1962), 8 pag., 2 fig., 6 tab.
4. RIMA, A.: Per una legge sulle periodicità delle serie cronologiche naturali. Atti del XII Convegno annuale dell'Ass.Geof.Ital., Roma, 23–24 novembre 1962, 20 pag., 6 fig., 4 tab.
5. RIMA, A.: Betrachtungen über die Periodizität der Abflussschwankungen mit besonderer Rücksicht auf die jährlichen Serien der monatlichen Mittel des Tessinflusses in Bellinzona. Verhdl.143.Jahresvers.Schweiz.Naturf.Ges., Sitten 1963, 4 pag., 1 fig., 1 tab.
6. RIMA, A.: Considerazioni sulla periodicità e probabilità nelle serie dei fenomeni naturali. Act.Soc.helv.Sc.nat. 1965, 4 pag., 1 fig.
7. RIMA, A.: Problematica per uno studio morfometrico dei deflussi. Acqua industr. 31, maggio-giugno 1964, 7 pag., 7 fig.

6. WALTER GOOD (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos) – *Ein automatisches System zur Aufnahme und Auswertung von kristallinen Dünnschnittpräparaten*

Die ersten Arbeiten zur quantitativen Erfassung von Gesteinsdünnschliffen wurden vor mehr als 100 Jahren ausgeführt. Es waren französische und englische Petrographen, die sich um die Abklärung struktureller Eigenschaften gesteinsbildender Mineralien bemühten (DELESSE 1848, SORBY 1856). Erst in diesem Jahrhundert gingen auch die Metallurgen zur quantitativen Erfassung ihrer Werkstoffe über (POLUSHKIN 1928). Nach weiteren 10 Jahren, mit den Anfängen einer wissenschaftlichen Erforschung des Schnees, erschienen die ersten Arbeiten über Struktur und Textur des weissen Materials (BADER 1938).

Seit Anfang bestand im wesentlichen die Frage nach dem Zusammenhang zwischen strukturellen und mechanischen Eigenschaften, um aus Zahl, Grösse und Form der verschiedenen Gemengteile (Material und Verunreinigungen) das mechanische Verhalten von Werkstoffen erfassen zu können. Die quantitative Metallurgie und die quantitative Stereologie haben die mathematischen Zusammenhänge bereitgestellt, die eine Verknüpfung von zweidimensionalen Schnitten mit den realen, dreidimensionalen Gebilden ermöglichen (UNDERWOOD 1970).

Die optische Bestimmung der Struktur ist nur der eine Teilaspekt des Problemkomplexes, auf der andern Seite steht das Erfassen fundamentaler mechanischer Aspekte durch geeignete mechanische Experimente. Allen statistischen Zählverfahren der Stereologie ist der grosse Zeitaufwand gemeinsam. Für das Arbeiten mit Schnee kommt noch die relativ rasche Veränderung des Probenmaterials und damit die Unmöglichkeit

einer Archivierung von Dünnschnitten hinzu. Diese Gesichtspunkte veranlassten JACCARD (1967), ein Aufnahmesystem zu entwerfen, das den ersten Nachteil durch automatisches Messen und den zweiten durch Speicherung der Schnittinformation in digitaler Form zu umgehen versucht.

1. Messprinzip des Dünnschnittanalysators (DSA)

Schneegefüge sind, vereinfacht gesehen, Einkomponentensysteme mit polykristallinem Aufbau. Mit der konventionellen Mikroskopiertechnik (U-Tischmethode) lässt sich eine eindeutige kristallographische Information über die Orientierung der Kristallite und damit der Textur des Gefüges erhalten. Ein Teil dieser Information kann auch durch eine densitometrische Erfassung von Grauabstufungen an mit polarisiertem Licht gemachten Aufnahmen von Kristallgefügen erhalten werden. Für Mehrkomponentensysteme, deren Bestandteile verschiedenen kristallographischen Systemen angehören, ist diese zweite Messmethode schon in allen Einzelheiten ausgebaut und auf automatische Datenverarbeitung ausgerichtet worden (FISHER 1967). Um erstere einer maschinellen Beobachtung anzupassen, wurde die Helligkeitsauswertung eines konoskopischen Interferenzbildes gewählt.

Die Messung der räumlichen Lage der hexagonalen Eiskristalle erfolgt durch Bestimmung der ausgezeichneten kristallographischen \bar{c} -Achse.

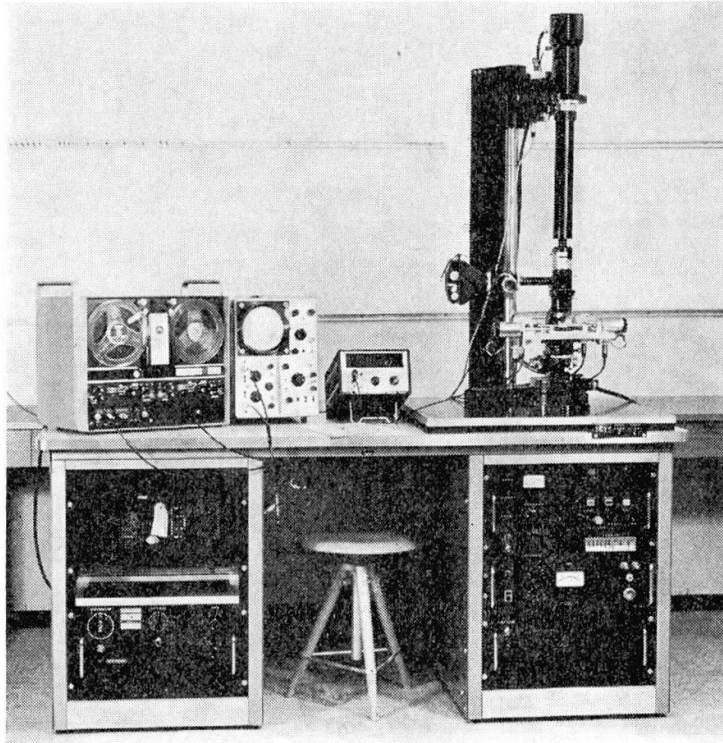


Abbildung 1

Somit werden zwei verschiedene, unabhängige Messungen benötigt, um die Orientierung dieser Achse zu berechnen. Eine Kontrolle solcher Messdaten ist durch Verarbeitung zusätzlicher Messwerte möglich. Der DSA misst für jeden Gitterpunkt eines auf den Dünnschnitt projizierten Beobachtungsnetzes 6 verschiedene Helligkeitswerte auf der konoskopischen Bildebene aus. Diese Helligkeitsinformationen gelangen über eine Photovervielfacherröhre auf eine Verstärkerkette. Das Bindeglied zwischen der Aufnahmeeinheit und dem digitalen Wiedergabesystem ist eine relativ aufwendige, überholte Analogaufzeichnung mit anschließender Analog/Digital-Wandlung. Die Messapparatur – mit einem modifizierten Polarisationsmikroskop als Sender und einem Photovervielfacher als Empfänger – ist in Abbildung 1 und die Organisation des ganzen Systems in Abbildung 2 dargestellt.

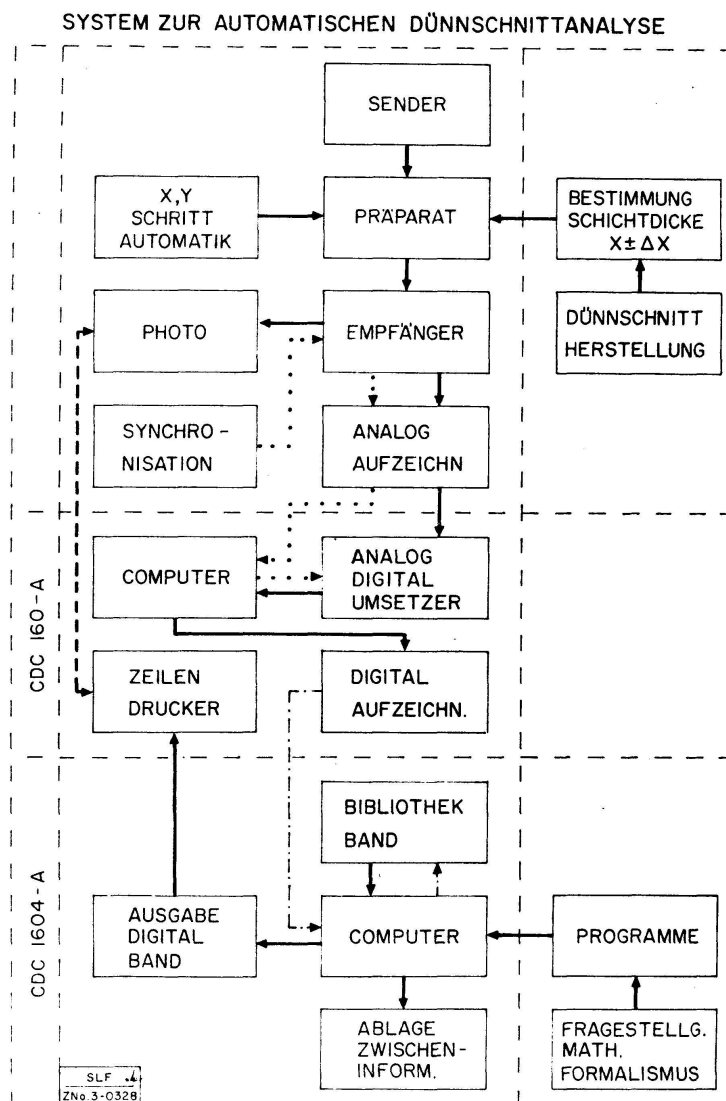


Abbildung 2

2. Auswertung der Dünnschnitte

Die aufgenommene und digitalisierte Information wird nach einer vorgängigen Datenkontrolle und -reduktion auf einem Bibliotheksband abgelegt (5–10 Dünnschnitte pro Band). Jede Aufnahme lässt sich durch eine einfache Datenkarte auf diesem Band lokalisieren und steht somit beliebig oft für Berechnungen zur Verfügung. Bislang wurden folgende Teilprogramme ausgearbeitet:

Bestimmung homogener Bereiche

Alle Messpunkte, die durch die gemessenen Intensitäten repräsentiert werden, können sowohl zeilen- als auch kolonnenweise miteinander verglichen werden. Zwei aufeinanderfolgende Punkte werden als gleich betrachtet, wenn die auf fünf reduzierten Differenzen der entsprechenden Intensitäten einzeln eine vorgewählte Schranke nicht überschreiten. Der-

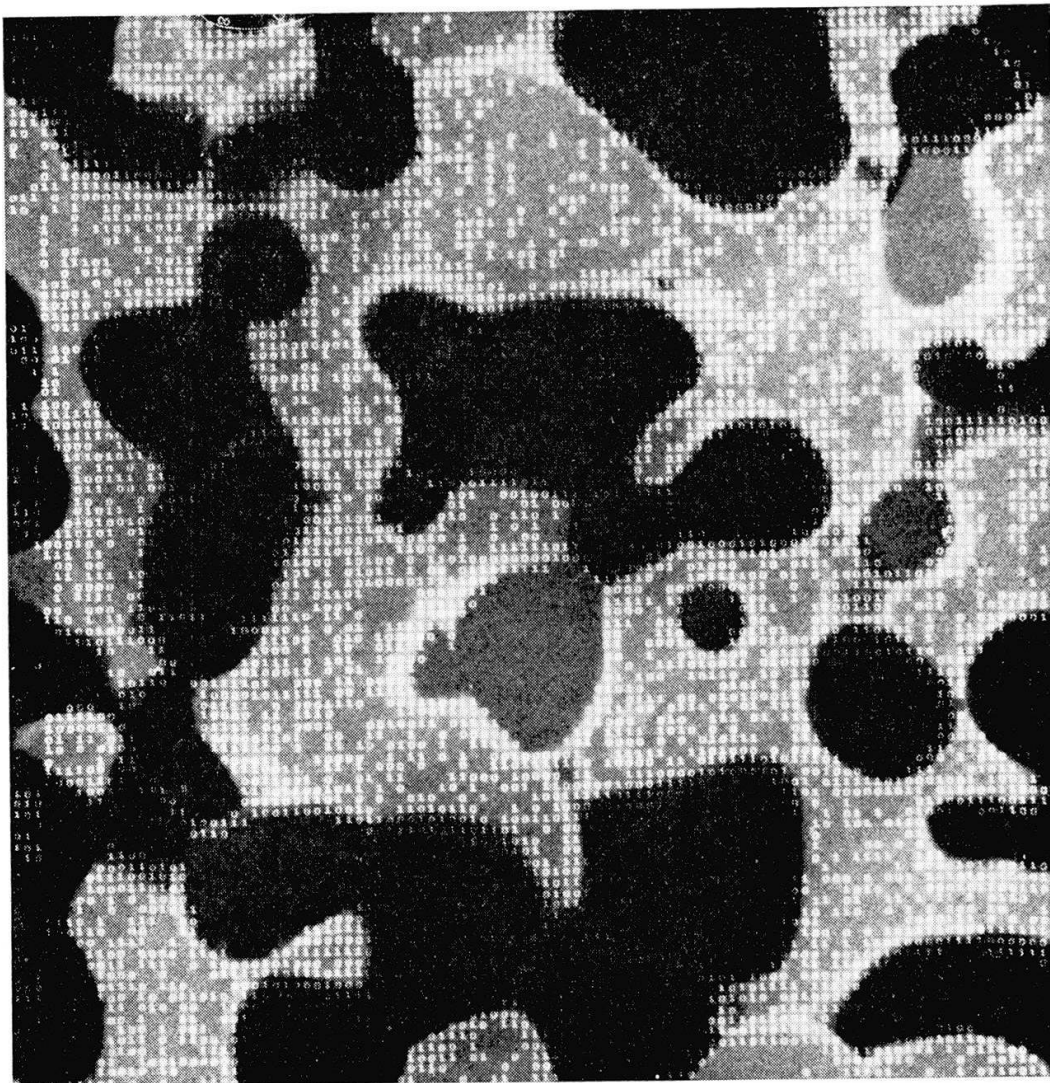


Abbildung 3

men. Im Azimutbereich liegen berechnete und gemessene Intensitäten weniger nahe beieinander, weil sich die Fehler des optischen Systems vor allem hier bemerkbar machen. Für jeden überbestimmten Messpunkt geben zwei statistische Gewichte Auskunft über die Zuverlässigkeit der Winkelbestimmungen.

Berechnung eines Formfaktors zur Kontrolle der Anisotropie des Gefüges

Aus der Darstellung der homogenen Bereiche werden zwei Längen, die senkrecht aufeinander stehen, berechnet, die als eine Art mittlere Korndurchmesser angesprochen werden können (Tabelle I). Weicht das Verhältnis der beiden Durchmesser von 1 ab, weist das auf eine Anisotropie hin.

Berechnung der Berandungsverhältnisse

Mit dieser Subroutine lassen sich einfach- und doppelt besetzte Teilumfänge und totale Umfänge der homogenen Bereiche bestimmen, Größen, die für die Korrelation mit mechanischen Parametern von Bedeutung sind.

BERECHNUNG DER "MITTLEREN KORNDURCHMESSER" IN ZWEI ORTHOGONALEN RICHTUNGEN, BESTIMMUNG EINES FORMFAKTORS

PROBEN NR.	"MITTLERER KORNDURCHMESSER"		FORMFAKTOR d_1/d_2
	d_1 {mm}	d_2 {mm}	
09065931	.809	.835	0.97
09093431	1.049	.951	1.10
(09121013	.906	.863	1.05)
09121031	.831	.818	1.02
09418931	.826	.843	0.98
09178531	.851	.886	0.96
(09178531	.839	.841	1.00)
09233531	.821	.849	0.97
09263731	.940	.947	0.99
09289631	0.929	1.019	0.91
09317031	.996	.959	1.04
09345631	1.023	1.026	0.98
09373931	.886	.931	0.95
09402731	.959	1.007	0.95
09432431	.927	1.001	0.93
09460731	.886	.857	1.03
09488031	.970	1.139	0.85
09516031	1.016	0.961	1.06

Tabelle I

Ermittlung des Füllgrades und der Dichte der Gefüge

Durch Auszählen der im Zenitalwinkelraum besetzten bzw. unbesetzten Punkte lassen sich der Füllgrad und die Dichte des Gefüges bestimmen.

3. Erste Ergebnisse einer Analyse von Grönlandschnee

Während der EGIG 1968 wurden auf der Station Jarl-Joset Schneeproben aus dem Schacht Dumont geschnitten, präpariert, eingegossen und in die Schweiz gebracht. Ein erster Teil, die Schichten zwischen 9,0 m und 10,20 m, wurden mit dem DSA untersucht.

In Abbildung 5 sind die Dichten und die Klassen (Bsp.: $60 + 5^\circ$) der am häufigsten auftretenden, θ_{\square} , und der zweithäufigsten, θ_{Δ} , Zenitalwinkel gegen die Probentiefe, von der Oberfläche aus gemessen, aufgetragen. Die Dichten sind durchschnittlich 10% höher als die nach konventioneller Methode bestimmten von DE QUERVAIN (1959) und FEDERER (1968). Auffallend ist der gleichmässige Verlauf der Parameter für die Zone zwischen 9,0 und 9,4 m. Diese Schicht dürfte Schneeablagerungen während einer Sommerperiode entsprechen. FEDERER (1968) weist diesen Schnee dem Sommer 1949 zu. In Tabelle I sind einige Formfaktoren zusammengestellt, die zeigen sollen, dass keine ausgeprägte Anisotropie des Schneegefüges besteht für Schnitte, die senkrecht zur Schneeoberfläche gelegt wurden.

4. Schwächen des Systems

Das System weist in seiner heutigen Form verschiedene Engpässe auf, die mit der Zeit behoben werden sollen:

- Wegen partiell polarisierender Elemente im optischen System ist vor allem die Bestimmung der Azimutalwinkel mit gewissen systematischen Fehlern behaftet.

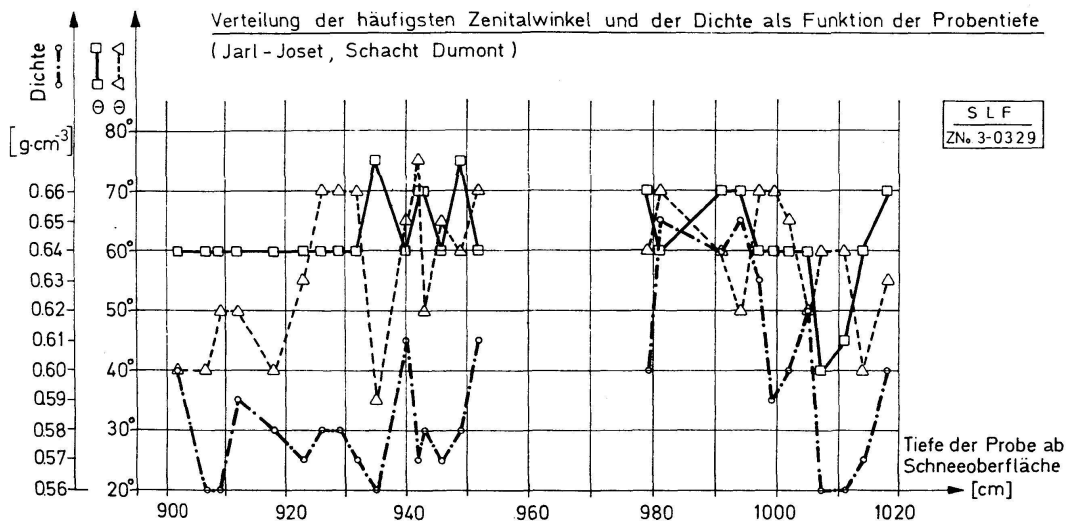


Abbildung 5

- Die A/D-Konversion, bedingt durch die analoge Speicherung der Messwerte, ist eine überflüssige Belastung des Computers; zudem ist wegen der grossen Datenmenge (150000 Intensitäten für 30000 Gitterpunkte) die zeitliche Beanspruchung der zentralen Recheneinheit recht bedeutend (25 min für 30000 Gitterpunkte).

5. Ausblick

Die Erfassung quantitativer, stereologischer Parameter soll weiter ausgebaut werden, um den Zusammenhang mit den von einer andern Gruppe des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung parallel geführten mechanischen Experimenten herzustellen (SALM 1967).

LITERATURVERZEICHNIS

- DELESSE, A.: Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches. *Ann. Mines* 13: IV, 379 (1848).
- SORBY, H. C.: On slaty cleavage, as exhibited in the Devonian limestones of Devonshire. *Phil. Mag.* 11: IV, 20 (1856).
- POLUSHKIN, E. P.: Determination of structural composition of alloys by a metallographic planimeter. *AIME Trans.* 71: 669 (1925).
- BADER, H.: Mineralogische und strukturelle Charakterisierung des Schnees und seiner Metamorphose; in:
- BADER, H., HAEFELI, R., BUCHER, E., NEHER, J., ECKEL, O., THAMS, C.: Der Schnee und seine Metamorphose. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Hydrologie, Lieferung 3 (1939).
- UNDERWOOD, E. E.: Quantitative Stereology. Addison Wesley Publishing Company (1970), mit einem sehr ausführlichen Literaturverzeichnis.
- JACCARD, C.: Automatic thin section analysis. IUGG, general assembly, Berne 1967.
- JACCARD, C.: Automatic thin section analysis. Mitteilung des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Nr. 28 (1969).
- FISHER, C. F.: An image analysing computer. *BioMed. Eng. J.* 2: 351 (Aug. 1967).
- DE QUERVAIN, M., et al.: Schneekundliche Arbeiten der internationalen glaziologischen Grönlandexpedition (Nivologie) 1957-1960. *Meddelelser om Grönland* 177: IV (1969).
- FEDERER, B.: Nivologische Arbeiten der EGIG 1968. Interner Bericht SLF Nr. 491.
- SALM, B.: An attempt to clarify triaxial creep mechanics of snow. Proceedings of the international conference on low temperature science. Hokkaido University, Sapporo 1: II, 857 (1967).