

**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:** 148 (1968)

**Vereinsnachrichten:** Sektion für Geophysik, Meteorologie und Astronomie  
**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:** 23.12.2025

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

### 3. Sektion für Geophysik, Meteorologie und Astronomie

Sitzung der Schweizerischen Gesellschaft für Geophysik, Meteorologie und Astronomie

Samstag, 28. September 1968

*Präsident:* Prof. Dr. H. U. DÜTSCH (Zürich)  
*Sekretär:* W. KUHN (Zürich)

#### 1. A. SÜSSTRUNK (Baden) – *Erdstösse im Verzascatal beim Aufstau des Speicherbeckens Vogorno*

Beim ersten Aufstau des Staausees Vogorno des Verzasca-Kraftwerks im Sommer 1965 wurden in den Siedlungen Berzona und Vogorno am linken (östlichen) Seeufer zunächst unerklärliche Erschütterungen, verbunden mit sprengknallähnlichen akustischen Geräuschen, beobachtet. Seismographische Messungen ergaben, bei Anwendung der in der Auswertung von Seismogrammen von lokalen Erdbeben üblichen Methoden, dass es sich um Erdstösse handelte, deren Quellen 100–400 m unter Terrain in zwei geologisch jungen Verwerfungszonen südlich (Val Fontöbbia) und nördlich (Val Porta) von Berzona lagen. Die Stösse waren relativ hart, d.h. von kurzer Dauer (0,2–0,3 sec) und hochfrequent (50–150 Hz). Die gleichzeitig auftretenden Geräusche sind praktisch synchron mit der Bodenbewegung, sie werden von der Terrainoberfläche in die Luft abgestrahlt. Zur Messung der Erschütterungen wurden elektrodynamische Seismometer, elektronische Verstärkung und Direktschreiber verwendet; zeitweilig erfolgten Registrierungen gleichzeitig an vier Orten (Vogorno, Berzona, Sperrstelle und Mergoscia, zeitweise auch beim alten Wehr bei Corippo). Es zeigte sich, dass die Erdstösse nur in der oben erwähnten, 2–3 km oberhalb der Sperrstelle gelegenen, etwa 1 km langen Zone spürbar waren, dass aber die nach Steinbruchsprengungen oder Geschützdonner klingenden und im Tal nachhallenden Geräusche weiterum wahrgenommen wurden. Die «Intensität» der Erschütterungen (registriert wurde der zeitliche Verlauf der Bewegungsgeschwindigkeit des Messpunkts beim Durchlaufen des Stosses) erreichte vereinzelt 20–25 mm/sec, d.h. Werte, welche bei durchschnittlichen städtischen Wohnbauten bereits leichte Schäden an Verputz und Gipsverkleidungen bewirken würden. Stärke und Charakter der Erschütterungen sind vergleichbar mit denjenigen bei Steinbruchsprengungen in einigen 100 m Entfernung bei Einsatz von 100–200 kg Sprengstoff pro Zündung; die pro Stoss abgestrahlte Energie liegt somit in der Größenordnung einiger Metertonnen.

Aus den Diagrammen in Abbildung 2 ist der zeitliche Verlauf der Seespiegelkote, der Zahl und Intensität der stärkeren Erdstösse sowie der Niveauänderung einiger Fixpunktgruppen am linken Talhang ersichtlich.

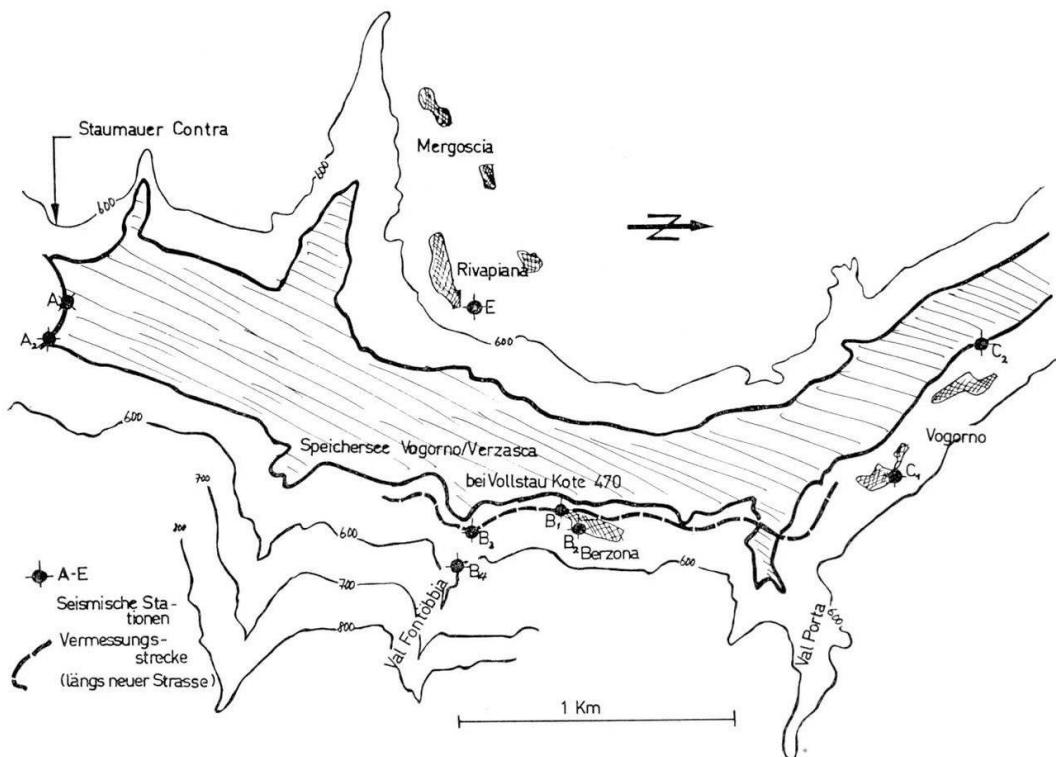


Abbildung 1  
Situationsskizze

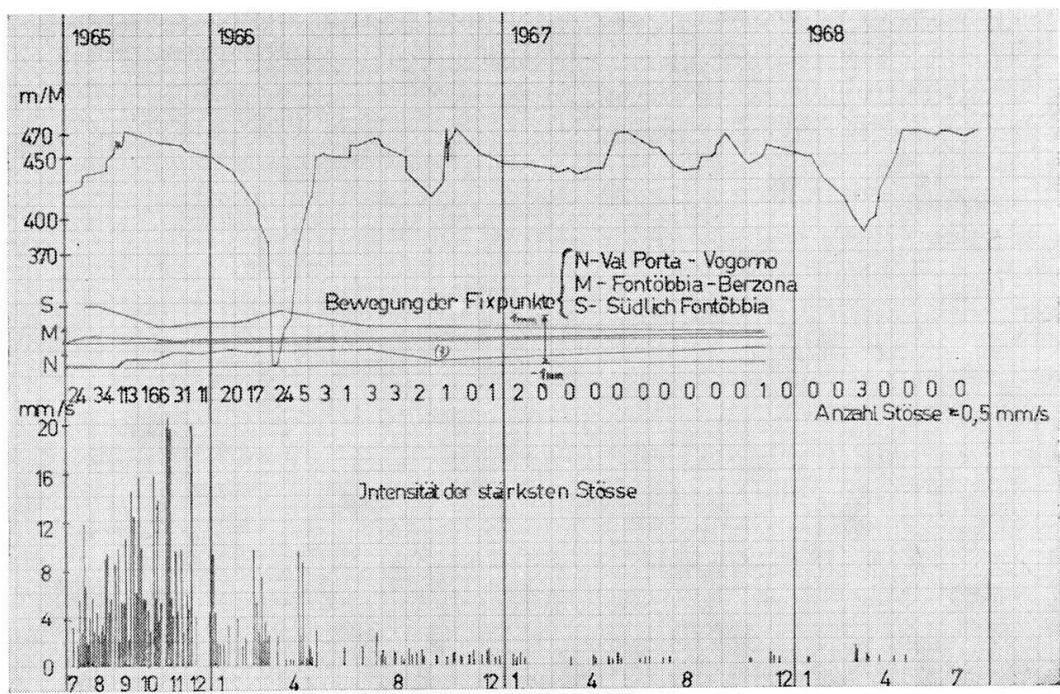


Abbildung 2

Anfänglich war nach jeder rasch erfolgten Veränderung der Seespiegelhöhe eine Verstärkung und zeitliche Verdichtung der Stösse zu beobachten (3–6 Wochen hinterher). Nach dem ersten Vollaufstau setzte eine Aktivität ein, welche für die Bevölkerung sehr beunruhigend war (bis 25 spürbare Stösse pro Tag). Verschiedenen Forderungen, wie sofortiges Absenken des Seespiegels, Evakuierung der Siedlung Berzona ..., war anhand einer Analyse der beobachteten Phänomene zu begegnen. Die einzelnen Stösse sind eng begrenzten Bruchvorgängen im Gestein zuzuordnen, d. h. dem Aufbau von die Gesteinsfestigkeit überschreitenden Spannungen, verursacht oder verstärkt durch das Gewicht des gestauten Wassers, durch Eindringen von Wasser in Klüfte, Änderung der Temperaturverhältnisse. Das Eindringen von Wasser in Kluftsysteme mochte Quellungen verursacht oder Reibungen verringert haben, durch Rückstau von Quellen konnte der Druck bis in grössere Tiefen erhöht werden. Jedenfalls war anzunehmen, die Bruchvorgänge würden mit der Zeit wieder abklingen. In der Fachliteratur ist über analoge Erscheinungen bei einzelnen Staubecken in Oberitalien und im Bereich der grossen Speicher in den USA (Boulder- und Hoover-Damm) berichtet worden, durch private Mitteilungen erhielten wir Kenntnis über das Auftreten von Erdstössen bei Anlagen in Frankreich, Nordafrika und Indien; in allen diesen Fällen nahm die Aktivität nach wenigen Stauzyklen, d. h. innerst 1 bis 5 Jahren, bis zur Bedeutungslosigkeit ab (abgesehen von den Fällen, wo bekannte Erdbebenzonen eingestaut worden waren). Da die Gesteinschichtgrenzen im vorliegenden Falle sehr steil stehen und quer zum Tal verlaufen, war ein Ablösungsprozess grösserer Gesteinsmassen und deren Abgleiten gegen den See hin (analog Vajont) ausgeschlossen. Eine geodätische Präzisionsvermessung längs des Talhangs im Bereich der Siedlungen Berzona und Vogorno, über die beiden «reaktivierten» Verwerfungszonen hinaus, liess auch keine irgendwie alarmierenden Blockverschiebungen in vertikaler Richtung oder quer zum Tal erkennen: Während die Zone zwischen den beiden grossen Verwerfungen (siehe Abb. 2) praktisch ruhig blieb, senkte sich das Gestein südlich des Val Fontobbia nach Staubeginn um 0,5–1 mm und hoben sich die Punkte nördlich des Val Porta im Mittel um etwa 0,5 mm.

Die seismische Aktivität nahm im ersten Halbjahr 1966 rasch ab, rascher, als wir dies vorauszusagen gewagt hätten. Im ganzen wurden rund 500 Erdstösse mit einer Intensität von mindestens 0,5 mm/sec registriert. Seit dem März 1968 sind keine spürbaren Stösse mehr beobachtet worden (Grenze der Spürbarkeit: etwa 0,2 mm/sec). Es standen mir für diese Untersuchung lediglich Messanordnungen mit Direktschreibern zur Verfügung; die Geräte mussten zur Zeit der grössten Aktivität auf die verschiedenen Ortschaften verteilt und als Dauerregistrierstationen mit sehr kleiner Registriergeschwindigkeit betrieben werden. Erwünscht wäre gewesen, im Bereich der aktiven Zonen 3–4 Meßgeräte mit je 3-Komponenten-Registrierung auf Magnetband und mit genauer gegenseitiger Zeitkontrolle aufzustellen. Damit wäre es möglich gewesen, eine wesentlich grössere Zahl von Stosszentren sehr genau zu lokalisieren und wesent-

lich mehr Auskünfte über den Mechanismus der kleinen Bruchvorgänge im Gestein zu erhalten (Wanderung der Zentren, Orientierung der Bruchflächen usw.). Leider standen solche Geräte damals in der Schweiz noch nicht zur Verfügung. Ich halte es für sehr wahrscheinlich, dass analoge seismische Aktivitäten auch bei andern Staubecken in der Schweiz auftraten, daß sie aber unbemerkt blieben, da die meisten Speicherbecken in den Alpen in praktisch unbewohnten Gebieten liegen. Vielleicht besteht die Möglichkeit, beim Aufstau der letzten grossen neuen Staubecken (Livigno und Emosson) solche Phänomene ausführlicher und systematischer zu untersuchen.

## 2. J. HAEFELIN (MZA, Zürich) – *Der Jahresgang der Maxima und Minima der Temperatur in Zürich*

Seit 1961 werden in den Annalen der MZA die Maxima und Minima der Lufttemperatur von der Messstation der Zentralanstalt an der Krähbühlstrasse nach den Ablesungen an den Extremthermometern in der offenen Wildschen Hütte veröffentlicht. Um diese Werte mit den Ablesungen, die vor 1950 bei der früheren Station an der Gloriastrasse, die nach den Thermographenregistrierungen erfolgten, vergleichen zu können, war es notwendig, die Werte der Jahre 1901–1950 zu reduzieren.

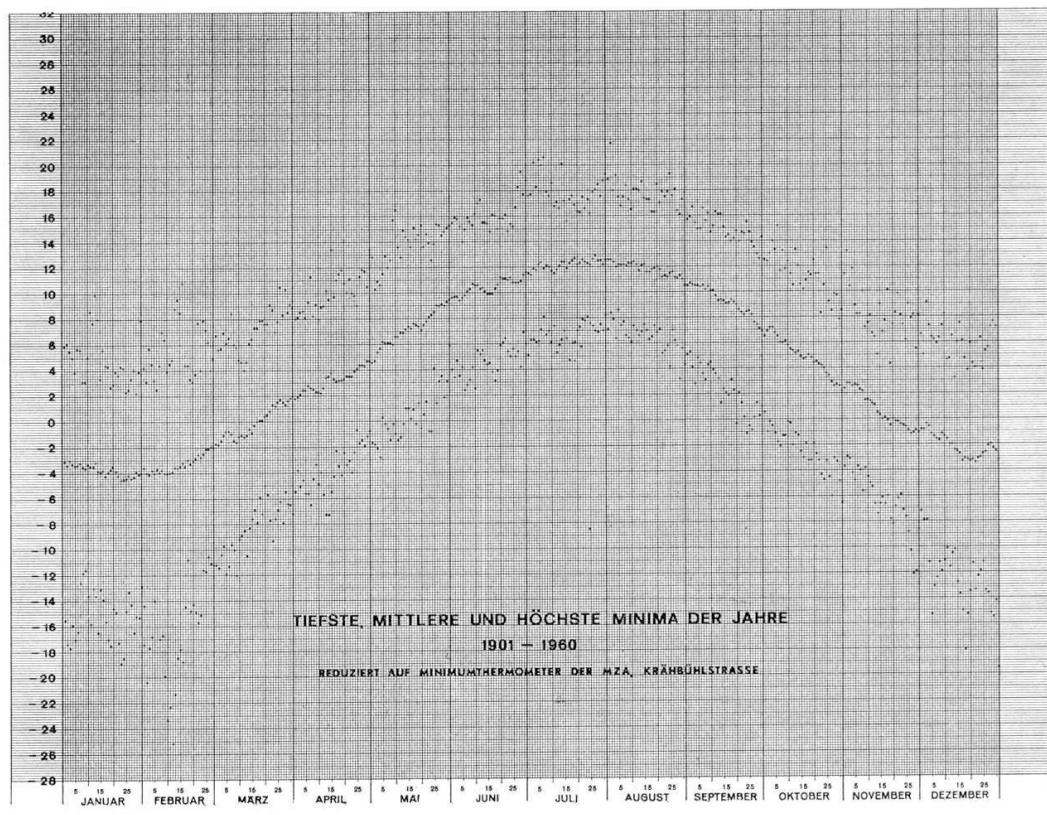


Abbildung I

Tiefste, mittlere und höchste Minima der Jahre 1901–1960  
Reduziert auf Minimumthermometer der MZA, Krähbühlstrasse

Korrektur der Thermographenregistrierungen Gloriastrasse auf die Ablesungen  
 am Minimum- und Maximumthermometer Krähbühlstrasse  
 (Mittel aus 2 Jahren 1949/50 bzw. 1950/51) [°C]

	Minimum	Maximum	Maximum Mittel aus 3 Monaten
			$\frac{A + 2B + C}{4}$
Januar	— 1,0	— 0,2	— 0,3
Februar	— 0,9	— 0,4	— 0,5
März	— 1,2	— 0,8	— 0,8
April	— 1,0	— 1,0	— 0,9
Mai	— 1,0	— 0,9	— 1,0
Juni	— 0,8	— 1,2	— 1,1
Juli	— 1,0	— 1,1	— 1,0
August	— 0,8	— 0,5	— 0,7
September	— 0,8	— 0,6	— 0,5
Oktober	— 0,9	— 0,3	— 0,4
November	— 1,0	— 0,4	— 0,3
Dezember	— 1,2	— 0,3	— 0,3
Mittel	— 0,98	— 0,64	— 0,65

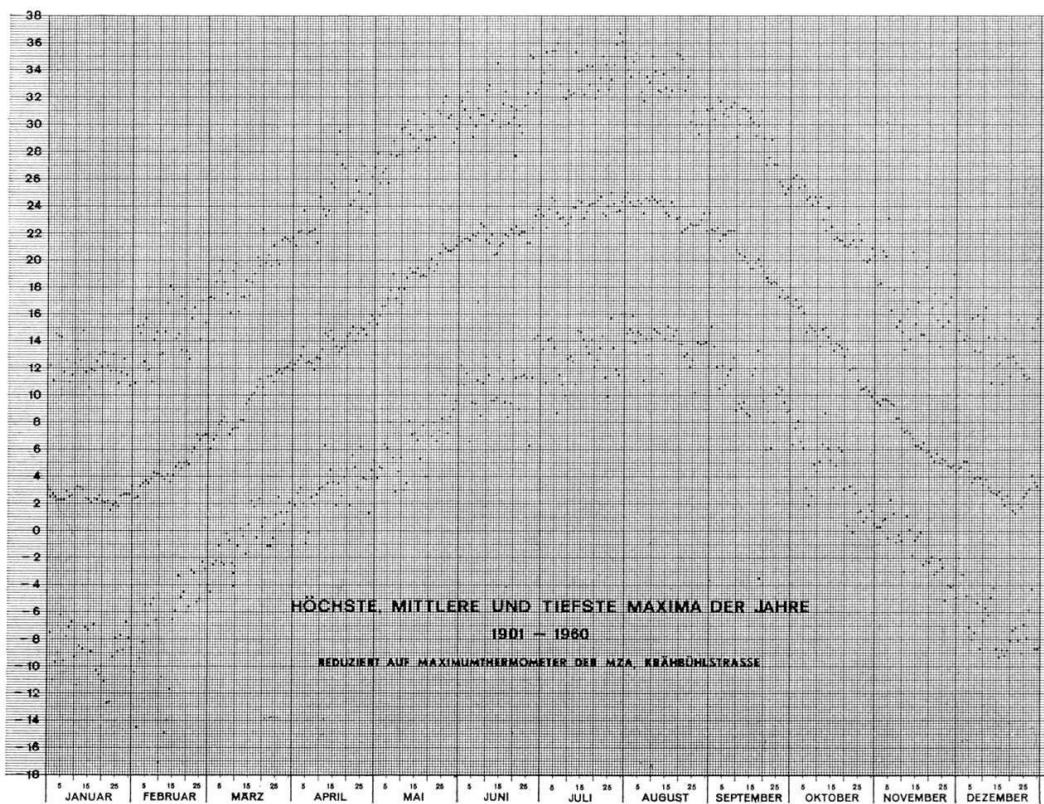


Abbildung 2  
 Höchste, mittlere und tiefste Maxima der Jahre 1901–1960  
 Reduziert auf Maximumthermometer der MZA, Krähbühlstrasse

Da zwischen 1949 und 1951 Parallelmessungen an den beiden Standorten vorgenommen worden waren, konnte man die Thermographenablesungen mit den Angaben nach den Extremthermometern am neuen Standort vergleichen. Dabei zeigte es sich, dass der Reduktionswert bei den Minima von Monat zu Monat nur zwischen –0,8 und –1,2 Grad schwankte und also für das ganze Jahr mit einem einheitlichen Wert von –1,0 Grad gerechnet werden konnte. Bei den Maxima war die Schwankung bedeutend grösser. Während im Winter die Werte bei –0,2 bis –0,4 Grad lagen, wurden im Sommer Werte von –0,6 bis –1,2 Grad festgestellt. Nach Ausgleich über je 3 Monate wurden dann bei den Maxima folgende Reduktionswerte (in °C) angebracht:

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Betrag	–0,3	–0,5	–0,8	–0,9	–1,0	–1,1	–1,0	–0,7	–0,5	–0,4	–0,3	–0,3

Mit den reduzierten Werten der Jahre 1901–1950 und den vorliegenden Ablesungen an den Extremthermometern der Jahre 1951–1960 am neuen Standort konnte man nun für jeden Tag des Jahres ein 60jähriges Mittel berechnen. In die graphische Darstellung wurden auch die an den einzelnen Tagen des Jahres im Zeitraum 1901–1960 vorgekommenen höchsten und tiefsten Werte aufgenommen.

### 3. TH. ZINGG – *Lawinensituation Januar 1968*

### 4. B. PRIMAUT (Institut suisse de Météorologie, Zurich) – *Les bases climatologiques d'un plan d'aménagement du territoire*

Dans les milieux les plus divers, on parle d'aménager le territoire; que ce soit pour lutter contre une centralisation trop poussée du développement économique ou contre des égoïsmes privés trop envahissants. En effet, un plan d'aménagement du territoire est appelé à canaliser les aspirations individuelles en vue du bien commun. L'association suisse pour le plan d'aménagement national dont on a célébré dernièrement les 25 ans d'existence fait de gros efforts pour analyser les besoins, synchroniser les études et coordonner les tendances les plus diverses et souvent les plus contradictoires.

Afin de réaliser un plan cohérent, il est indispensable de pouvoir se baser sur des études spécifiques préalables dont les unes sont prospectives, c'est-à-dire dirigées vers l'avenir (démographiques, culturelles, industrielles), les autres analytiques (ressources naturelles par exemple). C'est d'une de ces dernières qu'il sera question ici: l'analyse climatique ou plutôt méso-climatique.

On sera peut-être étonné d'apprendre qu'une étude du climat est encore nécessaire chez nous après la publication de tant de documents et de travaux scientifiques dans ce domaine. Je ne citerai ici que quelques exemples de travaux de base: Les planches de l'Atlas de la Suisse; les fascicules du nouveau «Climat de la Suisse» qui remplacent peu à peu l'édition du

début du siècle; les travaux de BOUËT sur le Valais et le Bassin lémanique; ceux de ROTEN sur le gel en Valais; ceux de BIDER sur la pollution de l'air, le rayonnement, les précipitations; et j'en passe.

Certes ces sources d'informations sont importantes, mais suffisent-elles vraiment à l'établissement d'une synthèse climatique générale permettant d'en tirer des conclusions directes sur les vocations naturelles des différentes régions du pays, voire d'espaces plus restreints? Je ne le pense pas. Il nous manque encore des indications précises et différencierées sur bien des éléments du climat. Quelques exemples:

Quelles sont les zones affectées par le brouillard et en quelle saison?

Nous ne disposons pas de cartes des zones gélives si ce n'est pour les cantons de Bâle-Campagne, du Valais et de Vaud.

Y a-t-il possibilité de déterminer des zones plus particulièrement affectées par la grêle?

L'étude de ZINGG sur la durée d'enneigement ne couvre que les Alpes. Pourtant, cet élément météorologique est d'importance dans le Jura également, si ce n'est aussi dans le reste du pays. Il s'agirait ici non seulement d'estimer les possibilités de sports d'hiver, mais aussi de prévoir les nécessités de déblaiement des routes à grand trafic et des pistes de nos aérodromes.

Dans cette énumération, je m'arrêterai plus particulièrement à un élément qui fut trop longtemps sous-estimé: la durée d'insolation. Par l'étude approfondie de cet élément, on peut tirer des conclusions intéressantes sur la vocation de lieux étroitement délimités. Combien de logements ne construit-on pas dans des endroits où le soleil ne pénètre pas ou peu en certaines saisons? Et pourtant jouir du soleil est vital pour nous tous. Il faudrait, pour analyser correctement cet élément, disposer de cartes détaillées de l'ensoleillement maximum possible établies à grande échelle. En outre, il faut pouvoir s'appuyer sur des diagrammes de l'horizon pour un certain nombre de points précis, car le moment de la journée où le soleil éclaire un objet est primordial pour son utilisation. Un logement par exemple pourra rester dans l'ombre jusque vers 8 heures le matin, mais devra être ensoleillé le plus tard possible le soir. Il n'en va pas de même d'un hôpital.

De telles cartes et de tels diagrammes ne sauraient cependant suffire à eux seuls. Ils ne donnent qu'une idée très imprécise de la durée d'insolation effective. Ils devront donc être accompagnés de tables donnant, pour des stations de référence, les insolations relatives pour diverses saisons ou époques de l'année. Des moyennes sont ici insuffisantes, comme ailleurs du reste, et il faut leur adjoindre des indications de fréquence. On peut pour cela se servir d'une analyse d'amplitudes.

Par analogie avec la durée d'insolation, des indications comparatives entre divers lieux connus et diverses saisons doivent être présentés pour d'autres éléments du climat. On pourra en tirer d'intéressantes explications de faits. Donnons en exemple les précipitations du Jura et des Préalpes à altitude égale. Dans le premier cas, il s'agit de précipitations plus abondantes en hiver, ce qui explique les fortes chutes de neige qu'on

y constate souvent. En outre et contrairement à ce que l'on pourrait attendre de la propagande touristique, la région de Montreux est plus fortement arrosée que celle de Genève, et cela en été et au printemps surtout.

Ce n'est qu'en disposant de toutes ces bases analytiques qu'il sera possible d'entreprendre une synthèse des influences du climat sur toutes les activités humaines (habitat, industrie, agriculture, délassement, voies de communication et de transport d'énergie, etc.), en un mot sur l'aménagement judicieux du territoire national.

Un essai dans ce sens est actuellement en cours dans le canton de Vaud. On cherche en outre à se servir des premiers résultats sur le plan suisse. Espérons que ce travail et les expériences qui en découlent serviront de guide aux autorités d'autres cantons.

L'orateur illustre son exposé par quelques diapositifs montrant des différences d'insolation, des cartes d'insolation maximum possible, un tableau d'amplitudes et des comparaisons de précipitations. L'étude vaudoise sera publiée par les soins du Service cantonal de l'urbanisme, section du plan d'aménagement.

## 5. A. N. AUFDERMAUR (Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos) – *Physikalische Betrachtungen zum Psychrometerproblem*

Im Zusammenhang mit Messungen des Wärmeüberganges bei erzwungenen Konvektion wurde auch die Frage der Proportionalität zwischen Wärmeübergang und Verdunstung in Abhängigkeit von der Strömung an einem Kugelpschrometer untersucht (AUFDERMAUR, 1968). Hier soll das Resultat zusammen mit ein paar grundsätzlichen Überlegungen mitgeteilt werden. Anlass zu diesen Überlegungen gaben nicht ganz zutreffende Darstellungen der Psychrometrie in verschiedenen meteorologischen Handbüchern (ausser etwa bei FLETCHER, 1962). Eine Übersicht über eine grosse Zahl von Experimenten und Theorien zum Psychrometer findet man bei SONNTAG (1967), allerdings Richtiges und Falsches ohne Beurteilung nebeneinander.

An zwei Gedankenexperimenten und im Falle des belüfteten Psychrometers wollen wir zuerst untersuchen, wie sich die Temperatur verhält, wenn ein feuchtes Thermometer in eine ungesättigte Luftmasse der Temperatur  $T$  und dem Mischungsverhältnis  $m$  gebracht wird. Als ersten Fall betrachten wir das unbelüftete feuchte Thermometer:

1. Ohne Konvektion gibt das feuchte Thermometer Wasserdampf nur durch Diffusion ab. Dadurch kühlte es sich ab, so dass auch ein diffusiver Wärmestrom anhebt. Schliesslich stellt sich die Temperatur des feuchten Thermometers so ein, dass der Wärmestrom gleich gross ist wie die Verdampfungswärme des wegdiffundierenden Wassers. Zwar ist die Diffusion von der Geometrie des Thermometers abhängig und lokal unterschiedlich, aber im stationären Fall ist der Wärmestrom dem Dampfstrom streng proportional und die Temperatur des feuchten Thermometers des-

halb nicht von seiner Geometrie abhängig. Bezeichnen wir diese Temperatur mit  $T_1$  und das zugehörige Mischungsverhältnis bei Sättigung mit  $m_1$ , so berechnen wir folgende Beziehung:

$$\frac{T - T_1}{m_1 - m} = \frac{D \varrho L}{\lambda} = \frac{D \varrho c_p}{\lambda} \cdot \frac{L}{c_p} \quad (1)$$

( $D$  = Diffusionskonstante von Wasserdampf in Luft;  $\varrho$  = Dichte,  $c_p$  = spezifische Wärme,  $\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit von Luft;  $L$  = Verdampfungswärme).

2. Wiederholen wir den beschriebenen Versuch in einem abgeschlossenen Luftvolumen, so wird schliesslich das ganze Volumen gesättigt, und die Diffusion kommt zum Stillstand. Wenn der Versuch adiabatisch-isobar durchgeführt wurde, messen wir im ausgeglichenen Zustand die Lufttemperatur  $T_2$  bei einer Sättigung  $m_2$  entsprechend

$$\frac{T - T_2}{m_2 - m} = \frac{L}{c_p} \quad (2)$$

Erwartungsgemäss verschwindet bei diesem Experiment der Einfluss von  $D$  und  $\lambda$ , dafür spielt jetzt die spezifische Wärme der Luft  $c_p$  eine Rolle (die spezifische Wärme des Thermometers ist vernachlässigbar gedacht).

3. Zur Erklärung der beobachteten Temperatur  $T_3$  an einem belüfteten feuchten Thermometer (= Psychrometer) wird manchmal Formel (2) zu Unrecht verwendet.  $T_3$  wird jedoch ähnlich wie bei (1) durch ein Gleichgewicht zwischen Wärmestrom und  $L$  mal Dampfstrom bestimmt. Das Funktionieren und die Theorie des belüfteten Psychrometers ist zwar etwas weniger übersichtlich als die Gedankenexperimente 1. und 2., der praktische Vorteil der Belüftung beruht aber auf dem grösseren Wärme- und Dampfstrom, so dass vernachlässigbare Strahlungsfehler und kurze Einstellzeiten erreichbar sind. Wir müssen im folgenden voraussetzen, dass die Strömung durch eine grosse Reynoldszahl ( $Re > 100$ ) charakterisiert ist. Soweit die Strömung am Psychrometer laminar ist, lässt sich die Psychrometerformel theoretisch herleiten:

$$\frac{T - T_3}{m_3 - m} = \left( \frac{D \varrho c_p}{\lambda} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{L}{c_p} \cdot Q \left( \frac{v}{D}, \frac{v \varrho c_p}{\lambda}, \text{Geometrie} \right) \quad (3)$$

$m_3$  ist das bei  $T_3$  gesättigte Mischungsverhältnis,  $v$  die kinematische Zähigkeit. Die Funktion  $Q$  ist der Quotient aus zwei Funktionen, die sich nach der Theorie der laminaren Grenzschicht unter Verwendung komplizierter mathematischer Hilfsmittel für viele geometrische Formen berechnen lassen (z.B. MERK, 1959). Demnach schwankt  $Q$  im System Wasserdampf-Luft ( $v/D = 0,62$ ,  $v \varrho c_p / \lambda = 0,72$ ) zwischen 0,99 und 1,01.

Nun stellt sich die Frage, wie sich  $Q$  in Formel (3) bei turbulenter Strömung verhält. Dazu wurden im Windkanal Versuche mit einer wärmeisolierenden Psychrometerkugel gemacht (AUFDERMAUR, 1968). Da die Strömung um eine Kugel im vorderen Teil laminar und im hinteren Teil turbulent ist, war zu untersuchen, wie sich  $Q$  im hinteren Teil zum theo-

retisch bekannten  $Q$  vom vorderen Teil verhält. Zu diesem Zweck wurde die Verteilung von  $T_3$  über die ganze Oberfläche der Psychrometerkugel gemessen. Tatsächlich waren die gefundenen Schwankungen  $\Delta T_3$  sehr klein und im Bereich des Meßfehlers von  $\Delta T_3/(T - T_3) < \pm 2\%$ . Daraus folgt, dass im System Wasserdampf-Luft  $Q$  in der Psychrometerformel (3) sowohl in laminarer als auch in turbulenter Strömung um einen vernachlässigbar kleinen Betrag von 1 abweicht ( $Q = 1,00 \pm 0,02$ ). Dies bedeutet eine Proportionalität zwischen Wärme- und Dampfstrom, die zu einer beinahe konstanten und von der Belüftungsgeschwindigkeit unabhängigen Temperatur  $T_3$  führt, obwohl die Grösse des Wärme- und Dampfstromes, allerdings in gleicher Weise, orts- und geschwindigkeitsabhängig ist.

### Schlussfolgerungen

Wenn wir die Formeln (1), (2) und (3) vergleichen, so finden wir identische Feuchttemperaturen für den Fall, dass  $D\varrho c_p/\lambda = 1$ . Im System Wasserdampf-Luft mit  $D\varrho c_p/\lambda = 1,16$  unterscheiden sich  $T_1 < T_3 < T_2$  nur wenig. Dies sollte jedoch nicht dazu verleiten, die Psychometertemperatur auf der Grundlage von Gleichung (2) zu erklären. Die strenge Psychrometertheorie und unser Experiment zeigen, dass Formel (3) richtig ist, wobei  $Q$  und damit  $T_3$  nur wenig von den speziellen Gegebenheiten der Strömung abhängen. Mit  $Q = 1$  wird die Konstante des idealen Psychrometers mit Wasser- bzw. Eisbedeckung bei  $0^\circ\text{C}$

$$\frac{T - T_3}{m_3 - m} = 2,75 \text{ bzw. } 3,12 \left[ \frac{\text{°C}}{\text{g/kg}} \right]$$

Dies entspricht

$$\frac{e_3 - e}{p(T - T_3)} = 0,585 \text{ bzw. } 0,516 \cdot 10^{-3} [\text{°C}]^{-1}$$

( $e$  = Wasserdampfdruck,  $p$  = Luftdruck).

Wenn abweichende Psychometertemperaturen und eine Abhängigkeit von der Belüftungsgeschwindigkeit gefunden wurden, so ist der Grund dafür bei Unidealitäten des verwendeten Psychrometers zu suchen. Besondere Beachtung verdienen die Fehler wegen Strahlung und wegen Wärmeableitung in den Thermometerschaft. Beide Fehler werden mit zunehmender Belüftungsgeschwindigkeit kleiner. Bei zu hoher Belüftungsgeschwindigkeit tritt jedoch ein Fehler wegen der Kompressionswärme auf. Um ein Psychrometer unter bestimmten Bedingungen optimal zu konstruieren, müssen deshalb die beteiligten Austauschvorgänge im einzelnen untersucht werden.

### LITERATUR

- AUFDERRAUR, A. N.: Windkanalversuche und theoretische Betrachtungen zum lokalen Wärme- und Stoffübergang an Hagelkornmodellen. Diss. ETH 4221, Zürich 1968.  
 FLETCHER, N. H.: The Physics of Rainclouds. University Press, Cambridge 1962.  
 SONNTAG, D.: Hygrometrie, 2. Lieferung. Akademie-Verlag, Berlin 1967.  
 MERK, H.J.: Rapid Calculations for Boundary-Layer Transfer using Wedge Solutions and Asymptotic Expansions. J. Fluid Mech. 5, 460–480; 1959.

## 6. TH. GINSBURG (Laboratorium für Atmosphärenphysik, ETH Zürich) – Statistische Analyse der Ozonsondierung von Boulder (Colorado) 1963–66

Die dreijährige Testserie von Boulder, wo über 500 Ballonaufstiege zur Messung der vertikalen Ozonverteilung durchgeführt wurden, soll als Grundlage dienen für die Entwicklung von Computerprogrammen, welche eine konzentrierte und übersichtliche Darstellung des grossen Datenmaterials erlauben. Je nach der Problemstellung können dabei verschiedene Formen der Darstellung von Interesse sein. Für die Durchführung von speziellen «Case studies» wird man die Vertikalverteilung des Ozons bei einzelnen Sondierungen untersuchen (Abb. 1). Zur Ermittlung der jahreszeitlichen Effekte werden die monatlichen Mittelwerte herangezogen, welche – wenn sie klimatologischen Zwecken dienen sollen – mit Vorteil geglättet werden (Abb. 4). Schliesslich sind noch die Jahr-zu-Jahr-Schwankungen von Interesse (Abb. 2), welche bei den kurzen zur Verfügung stehenden Messreihen einen Hinweis darauf geben, welches Vertrauen den so gewonnenen klimatologischen Werten entgegengebracht werden kann.

Abbildung 1 zeigt die Messdaten verschiedener Sondierungen zwischen dem 4. und dem 12. Februar 1964. Im oberen Diagramm sind zu Ver-

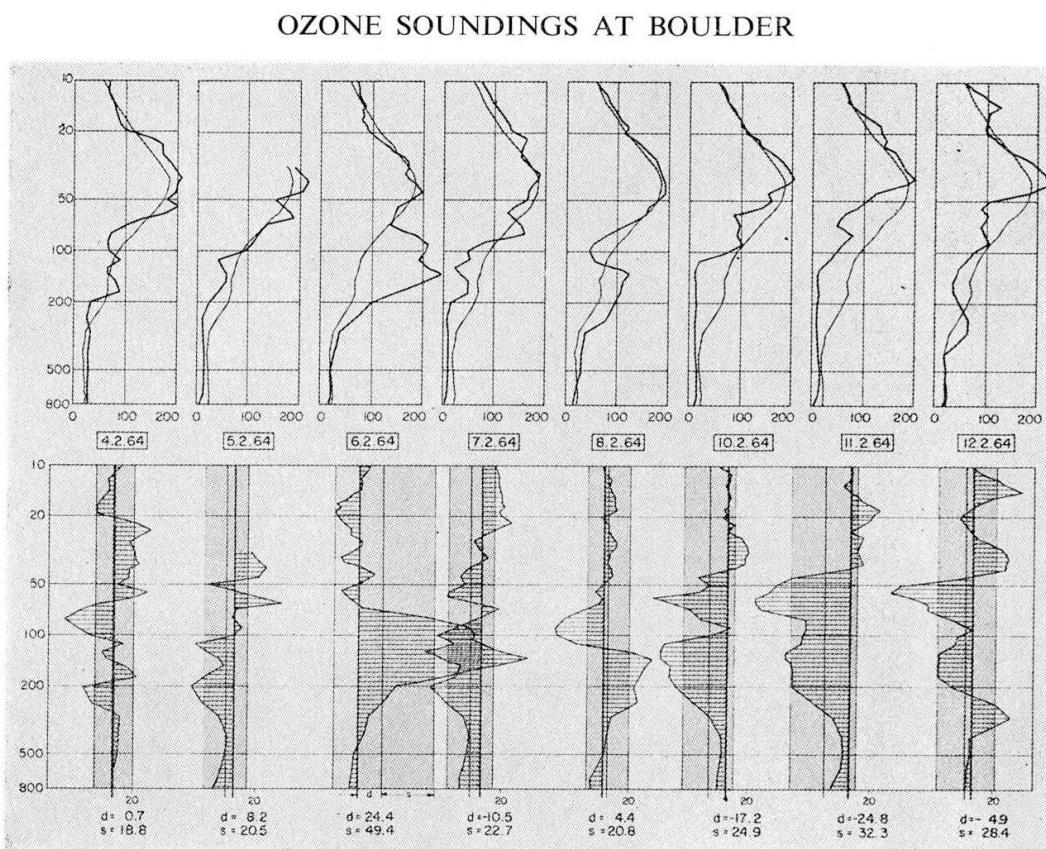
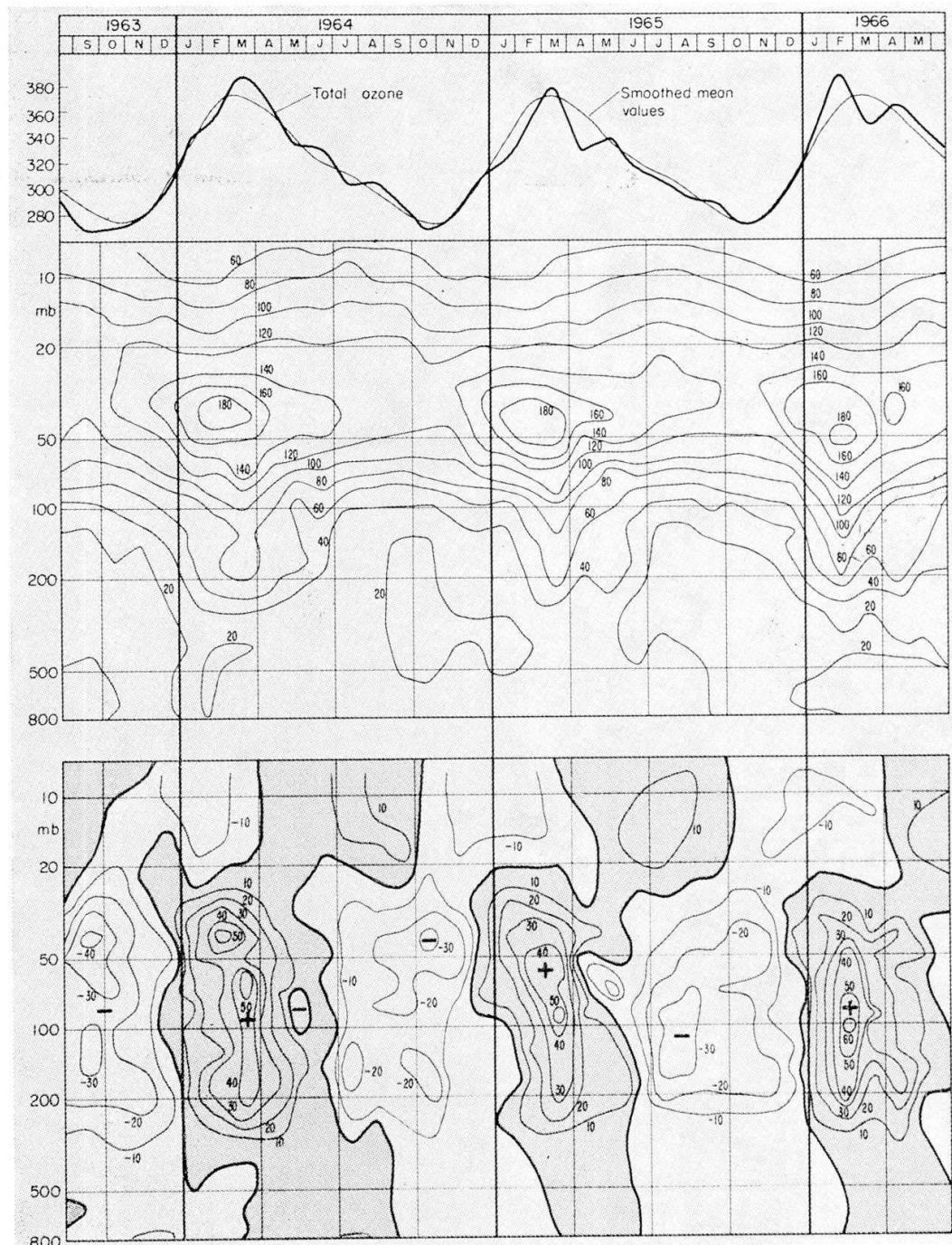


Abbildung 1  
Darstellung der Messdaten von einzelnen Ozonsondierungen im Februar 1964

gleichszwecken die für den jeweiligen Tag gültigen mittleren Verteilungen eingetragen, wie sie beispielsweise aus der in Abbildung 4 dargestellten klimatologischen Ozonverteilung ermittelt werden können. Die Abweichungen von diesen Mittelwerten sind in den unteren Kurven in einem



*Abbildung 2*

Isoplethendarstellung der Messresultate der dreijährigen Messserie von August 1963 bis Juni 1966

grösseren Massstab angegeben. In dieser Darstellung lassen sich die charakteristischen Merkmale der einzelnen Sondierungen wesentlich besser erkennen als in der ursprünglichen Form.

Abbildung 2 zeigt zwei verschiedene Darstellungen der dreijährigen Messserie vom August 1963 bis Juni 1966. Während die obere Isoplethen-darstellung den zeitlichen Verlauf der mittleren Ozonverteilung  $a(p, t)$  wiedergibt, ist unten der zeitliche Ablauf der Abweichung von  $a(p, t)$  vom jährlichen Mittelwert  $A(p)$  ersichtlich. Wie man dieser Gegenüberstellung entnehmen kann, weist die zweite Darstellung einen wesentlich grösseren Informationsgehalt auf. Die Zonen des überdurchschnittlichen Ozongehalts wie auch die charakteristischen Unterschiede des Jahrgangs in den drei Jahren sind klar herausgehoben.

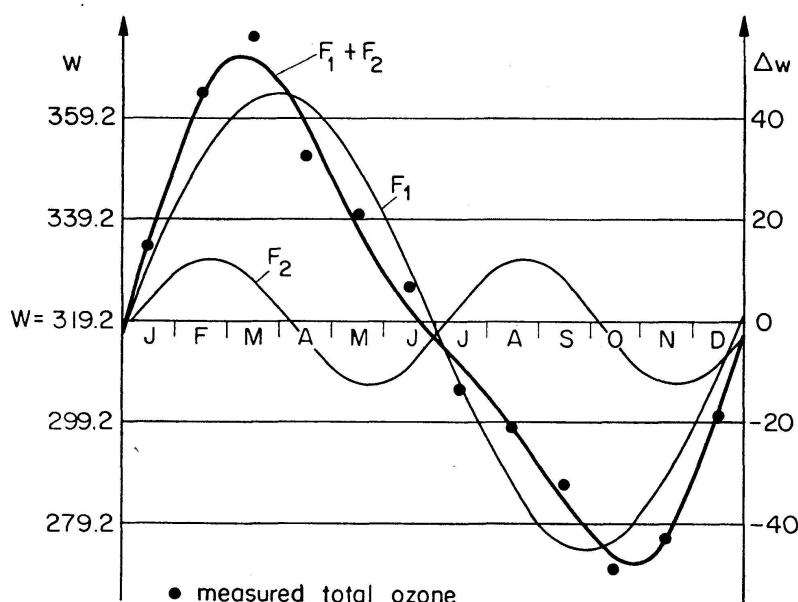


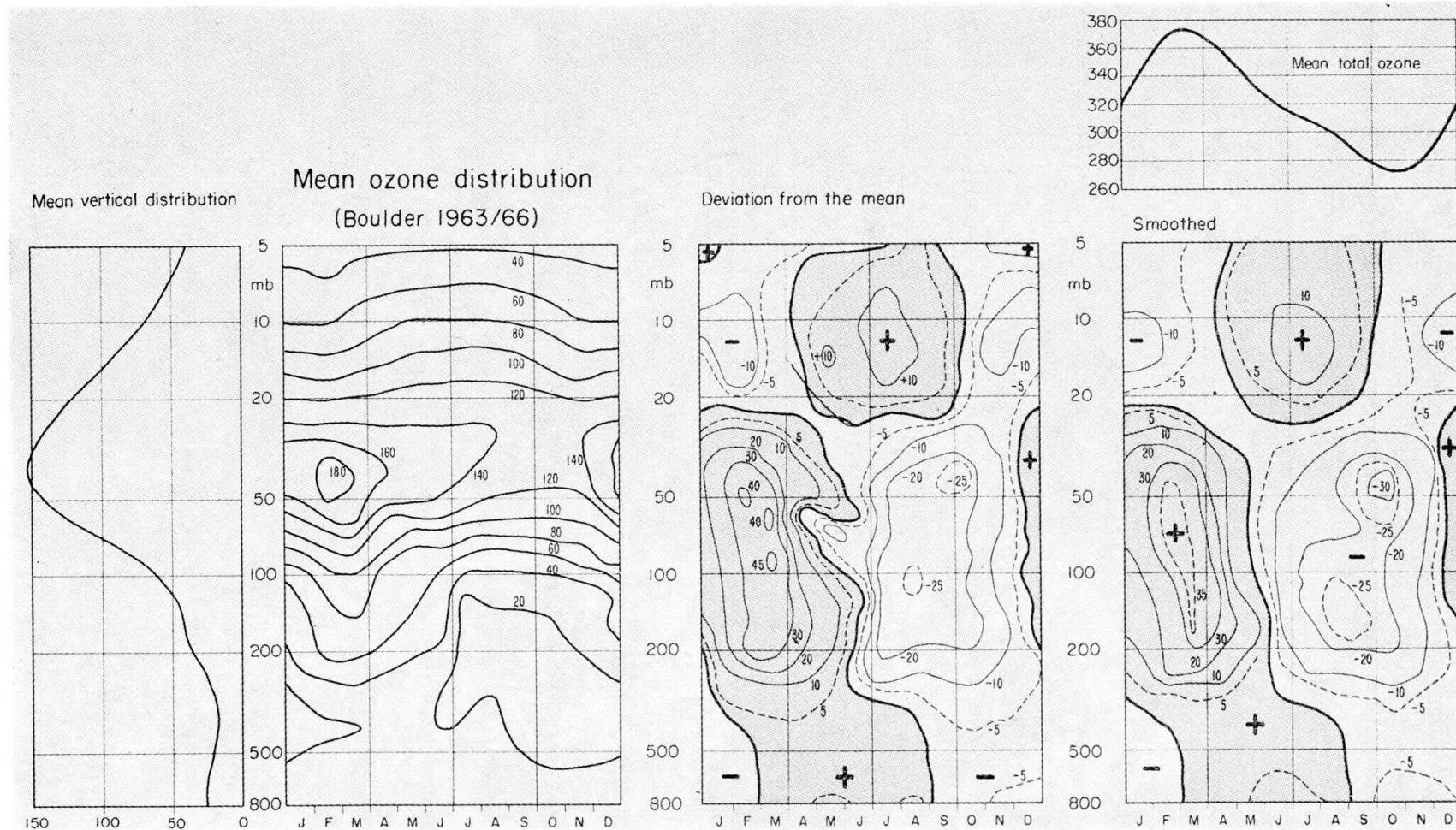
Abbildung 3

Approximation der Gesamtozonverteilung durch zwei harmonische Funktionen, welche mittels Fourier-Analyse bestimmt werden

Dem Verlauf des gemittelten Gesamtozons  $w(t)$  für die dreijährige Messreihe (Abb. 2 oben) ist für Vergleichszwecke der klimatologische und ausgeglättete Jahresverlauf  $\omega(t)$  angefügt. Die Art der Glättung ist aus Abbildung 3 ersichtlich. Die aus den dreijährigen Messungen gewonnenen monatlichen Mittelwerte des Gesamtozons sind dort durch schwarze Punkte markiert. Eine periodische Kurve durch diese Punkte kann durch eine Fourier-Reihe approximiert werden:

$$w(t) = W + \sum_{n=1}^N c_n \sin \left[ n \frac{2\pi t}{T} + \varphi_n \right]$$

( $T$  = Periodenlänge = 1 Jahr).



Mit  $W = c_0$  ist der Jahresmittelwert bezeichnet, welcher für das Gesamtozon in Boulder den Wert 319,2 DU beträgt. Aus der Bestimmung der Fourier-Koeffizienten erkennt man, dass die Berücksichtigung der beiden ersten Harmonischen ( $N = 2$ ), welche in Abbildung 3 eingezeichnet sind, eine sehr gute Approximation liefert, da die Amplituden für die höheren Harmonischen wesentlich kleiner sind als  $c_2$ . Obwohl beim zeitlichen Verlauf der Ozonkonzentrationen in den einzelnen Niveaus manchmal Verhältnisse auftreten, welche die Heranziehung höherer Harmonischer für eine gute Approximation erfordern würden, wird im Interesse einer einfachen und eindeutigen Berechnungsmethode darauf verzichtet. Das Glättungsverfahren ist somit in jeder Hinsicht objektiv, da es auf einer genau determinierten mathematischen Methode beruht.

In Abbildung 4 ist die aus der dreijährigen Messreihe gewonnene klimatologische Ozonverteilung dargestellt. Neben der vertikalen, über das ganze Jahr gemittelten Verteilung  $A(p)$  in Abbildung 4a ist der jahreszeitliche Verlauf zwischen 800 mb und 8 mb in der Isoplethendarstellung  $a(p,t) = \text{const}$  wiedergegeben (Abb. 4b). Um die von der Jahreszeit abhängigen charakteristischen Eigenheiten der Verteilung besser hervorheben zu können, wird in Abbildung 4c der Höheneinfluss weitgehend eliminiert, indem die über das Jahr gemittelte Grundverteilung  $A(p)$  subtrahiert wird. Der durch die Subtraktion annähernd gleich grosser Zahlen wesentlich verstärkte Einfluss von zufälligen Fehlern kann durch Glättung stark reduziert werden, wie dies aus Abbildung 4d ersichtlich ist.

Noch viel eindrücklicher zeigt sich die Bedeutung der Glättung, wenn die von Monat zu Monat auftretenden Variationen graphisch dargestellt werden sollen, handelt es sich hierbei doch im Prinzip um eine numerische Differentiation der Ozonverteilung  $a(p,t)$  nach der Zeit, welche ausserordentlich anfällig ist auf zufällige Schwankungen der Messwerte. Mit Hilfe der oben angegebenen Glättungsformel ist es möglich, die Differenzierung auf analytischem Wege durchzuführen, wobei deren Darstellung einen wesentlich glätteren Verlauf der Isoplethen ergibt und deshalb für klimatologische Zwecke viel besser geeignet ist als die durch unwesentliche Details gestörte, auf Grund von numerischer Differentiation gewonnene Graphik.

Eine eingehendere Darstellung der statistischen Untersuchungen des Datenmaterials von Boulder findet sich im Tagungsbericht der Ozonkonferenz in Monte Carlo, welche vom 2.-7. September 1968 zur Durchführung gelangte.

#### *Abbildung 4*

##### Klimatologische Ozonverteilung von Boulder:

- a) Mittlere jährliche Ozonverteilung:  $A(p)$
- b) Isoplethendarstellung für die Ozonverteilung:  $a(p,t)$
- c) Abweichung von der jährlichen Ozonverteilung:  $a(p,t) - A(p)$
- d) Diagramm c nach der Glättung