Probleme der Hochgebirgsmeteorologie

Autor(en): **Mörikofer, W.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **113 (1932)**

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-90388

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Probleme der Hochgebirgsmeteorologie[1]

Von

W. Mörikofer,
Vorsteher des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos

Probleme der Hochgebirgsmeteorologie hat die wissenschaftliche Forschung schon beinahe so früh zu lösen versucht, wie überhaupt meteorologische Beobachtungen angestellt wurden. So hat schon Horace-Bénédict de Saussure vor bald 150 Jahren bei seinen Mont Blanc-Besteigungen meteorologische Daten gesammelt und speziell die Temperaturabnahme mit der Höhe mit einer Genauigkeit bestimmt, die noch heute überraschen muss. Eine wichtige Etappe der Entwicklung wurde dann später durch die Errichtung ständig bewohnter Bergobservatorien erreicht, und es ist wohl der gegebene Anlass, hier eines Jubilars zu gedenken. Am 1. September dieses Jahres werden nämlich fünfzig Jahre verstrichen sein, seit auf dem Säntis die regelmässigen Beobachtungen aufgenommen wurden, zuerst in Anlehnung an das Säntis-Gasthaus, fünf Jahre später in einem eigenen, noch jetzt bestehenden Observatoriumsgebäude. Die Säntiswarte verdankt ihre Entstehung einer Anregung des I. Internationalen Meteorologenkongresses von 1873 und wurde in der Hauptsache von dem jetzigen hochverdienten Direktor der Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, Dr. J. Maurer, in den ersten Jahren seiner Tätigkeit an der Zentralanstalt installiert. Während Jahrzehnten war sie das einzige Gipfelobservatorium der Alpen und hat reiches Material zur Hochgebirgsmeteorologie geliefert. Seither sind in den Alpen noch mehrere Hochobservatorien zur Erforschung des Gipfelklimas gegründet worden, so auf der Zugspitze, dem Hohen Sonnblick und dem Monte Rosa, während sich anderseits die Observatorien von Davos und von Arosa mehr mit

[1] Vortrag, gehalten am 8. August 1932 an der Jahresversammlung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft auf dem Jungfraujoch.

der Untersuchung des Klimas dauernd besiedelter Regionen und mit Spezialforschung befassen.

Die Errichtung der Hochalpinen Forschungsstation Jungfraujoch bietet nun auch der hochgebirgsmeteorologischen Forschung eine neue Arbeitsstätte, wie sie in solcher Meereshöhe nirgends sonst in Europa während des ganzen Jahres ständig bewohnt werden kann. Es erweckt ja den Anschein, als ob die Meteorologie beim Bau dieses Institutes zunächst etwas zu kurz gekommen sei, da hier am Südhang der Sphinx zweifellos die Temperatur- und die Niederschlagsverhältnisse einigermassen, die Windströmungen vollständig gestört sind und deshalb nicht als repräsentativ angesehen werden können. Anderseits ist es ganz klar, dass nicht das ganze Institut mit seinen vielfältigen Forschungsaufgaben auf den windumbrausten Gipfel der Sphinx gestellt werden durfte, weil dort wissenschaftliche Präzisionsarbeiten sehr viel schwieriger auszuführen gewesen wären. Und leider verhindert für den Augenblick die Ungunst der Zeit die Ausführung des geplanten Spezialbaues für meteorologische Zwecke auf dem Sphinxgipfel.

Doch sollen uns diese Mängel die Freude am geschaffenen Werke nicht verdriessen, sondern wir wollen im Gegenteil versuchen, das Erreichbare aus den gegebenen Möglichkeiten herauszuholen. Den äussern Anlass dazu bietet uns das Internationale Polarjahr, das am 1. August dieses Jahres begonnen hat und den Zweck verfolgt, durch eine gleichzeitige Zusammenarbeit der Forscher aller Länder, in den Polargebieten wie in den übrigen Teilen der Erde, unser meteorologisches und geophysikalisches Wissen um einen grossen Schritt vorwärts zu bringen. Auch das höchste ständig bewohnbare Bergobservatorium der Alpen spielt in diesem Beobachtungsnetz eine wichtige Rolle, und so hat die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt den schon von DE QUERVAIN begründeten Holzpavillon oben auf dem Jungfraujochfirn neu und reicher ausgestattet. Ausserdem hat es sich aber auch durch ein Zusammengehen des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums Davos mit dem Jungfraujoch-Institut ermöglichen lassen, im Forschungsinstitut eine ganz moderne meteorologische Arbeitsstätte einzurichten und während des ganzen Polarjahres einen wissenschaftlich geschulten Meteorologen hier oben arbeiten zu lassen; so ergibt sich die Möglichkeit, auf dem Jungfraujoch neben der gewöhnlichen Meteorologie auch Spezialuntersuchungen, vor allem

Wolken- und Strahlungsforschung, in grossem Maßstabe durchzuführen. Auf diese Weise hoffen wir unsern Beitrag zur internationalen Zusammenarbeit beisteuern, aber auch für die Strahlungsklimatologie unseres Landes einen wichtigen Eckpfeiler setzen zu können.

Doch, nun wollen wir uns dem eigentlichen Thema unseres Referates zuwenden und sehen, was für Probleme uns die Hochgebirgsmeteorologie stellt.

Ganz ungleich ist unser Wissen vom Verhalten der einzelnen meteorologischen Elemente im Hochgebirge und speziell ihrer Änderung mit der Meereshöhe. Die wichtigsten dieser Probleme, ältere und neuere, wollen wir nun kurz durchgehen, damit Sie sich ein Bild davon machen können, was für spezielle Aufgaben ein Observatorium wie die Hochalpine Forschungsstation Jungfraujoch auf dem Gebiete der meteorologischen Forschung zu bearbeiten hat.

Wohl vertraut, da einem einfachen physikalischen Gesetze gehorchend, ist uns die Abnahme von Luftdruck und Luftdichte mit der Meereshöhe. In der Höhe, in der wir uns jetzt befinden, beträgt der Luftdruck ziemlich genau nur noch zwei Drittel des Wertes im Meeresniveau, ein Drittel der Atmosphäre liegt bereits unter uns. Die Luftdichte nimmt mit der Höhe etwas weniger schnell ab als der Druck, da die Luft in den höheren Schichten kälter und somit auch dichter ist, als es bei Temperaturgleichheit der Fall wäre.

Für die meisten Gase der Atmosphäre nimmt der Druck mit der Meereshöhe in gleichem Masse ab, eine wichtige Ausnahme bildet jedoch der Wasserdampf. Dieser zeigt eine sehr viel stärkere Abnahme mit der Höhe, und zwar befolgt die Abnahme des Wasserdampfdruckes ein verhältnismässig strenges Gesetz, so regelmässig, dass sich der Dampfdruck in höheren Gebirgslagen recht zuverlässig aus dem Dampfdruck an einer Basisstation berechnen lässt. Als Faustregel mag man sich merken, dass der Wasserdampfdruck auf die Hälfte abnimmt, wenn man im Gebirge um 2000 m höher steigt; da die Druckabnahme eine geometrische Progression befolgt, ist es dabei ganz einerlei, von welchem Niveau aus man diese Erhebung berechnet.

Infolge der starken Wasserdampfabnahme mit der Höhe erreicht die Austrocknungsgrösse im Hochgebirge sehr viel grössere Werte als in der Niederung. Je trockener die Luft, um so grösser ist eben ihr „Dampfhunger“, und desto stärker die Verdunstung.

Jedermann kennt die Wirkungen dieser starken Verdunstung, die z. B. die Haut spröde, Möbel rissig werden lässt.

Problematischer als der Wasserdampf ist die Beimengung anderer Substanzen in der Luft, und in dieser Beziehung haben gerade die letzten Jahre eine Wandlung der Anschauungen gezeitigt. Während man z. B. früher mit dem Berner Jodforscher v. Fellenberg annahm, dass die Jodkonzentration mit der Meereshöhe abnimmt, zeigte kürzlich Cauer auf dem Sonnblick, dass unter Umständen der Jodgehalt der Luft in der Höhe gleich gross sein kann wie in der Ebene. Ähnlich hohe Jodwerte fand nach mündlicher Mitteilung Cauer auch auf dem Jungfraujoch, wo er gerade jetzt seinen Untersuchungen obliegt.

Auch in bezug auf das Ozon der unteren Luftschichten sind wir jetzt besser orientiert. Seitdem im Jahre 1930 Götz und Ladenburg in Arosa und Fabry und Buisson in der Provence auch in den bodennahen Luftschichten einen ganz geringen Ozongehalt nachgewiesen haben, können wir annehmen, dass mit zunehmender Erhebung über das Meeresniveau, also auch im Hochgebirge, die Ozonkonzentration wohl anwächst; denn der Ursprung auch dieses Ozons ist zweifellos in der Stratosphäre zu suchen, wo dieses Gas ja in stärkerer Konzentration nachgewiesen ist.

Von den festen Beimengungen der Atmosphäre ist es ganz klar, dass sowohl Staub- wie Keimgehalt der Luft, die beide von den menschlichen Siedelungen ihren Ausgang nehmen, in der Einsamkeit des Hochgebirges auf ungeheuer niedrige Werte sinken.

Sehr viel reicher an Problemen ist im Hochgebirge das Gebiet der Luftelektrizität. Wohl wissen wir, dass die Zahl der leichten Ionen mit der Meereshöhe zunimmt, dass die Leitfähigkeit mit der Höhe wächst, und dass besonders auf Berggipfeln die Zahl der positiven Ionen wegen der Spitzenwirkung der negativen Erdladung beträchtlich gesteigert ist, während anderseits das Potentialgefälle in der Höhe kleiner wird. Auch ohne Messungen können wir annehmen, dass die Zahl der schweren Ionen, die sich hauptsächlich an den Verbrennungsprodukten der menschlichen Siedelungen bilden, im Hochgebirge sehr viel kleiner ist als in der Niederung.

Aber obgleich schon mehrfach längere Beobachtungsreihen im Gebirge durchgeführt wurden, und speziell Gockel gerade hier auf dem Jungfraujoch eingehende Untersuchungen angestellt hat,

die von unserer Gesellschaft mit dem „Schläflipreis“ ausgezeichnet und in die „Neuen Denkschriften“ aufgenommen wurden, sind wir über die Einzelheiten des Ionenhaushaltes noch keineswegs genau informiert. Speziell auch die für den Hochtouristen bedeutsame Hypothese, wonach die Bergkrankheit auf lokale Störungen der luftelektrischen Verhältnisse, besonders auf ein starkes Überwiegen der Zahl der Ionen eines Vorzeichens, zurückzuführen sei, bedürfte der Stütze neuer, eingehender Messungen an Stellen, die durch lokales Auftreten von Bergkrankheit ausgezeichnet sind. Nach unseren heutigen Anschauungen über die Wirkung luftelektrischer Vorgänge auf das Befinden vermögen wir allerdings nicht recht an eine solche Erklärung der Bergkrankheit zu glauben.

Bei der schon erwähnten starken Abnahme des Wasserdampfes mit der Höhe mag es auf den ersten Blick überraschen, dass die Menge der Kondensationsprodukte des Wasserdampfes — vor allem Regen oder Schnee — mit der Meereshöhe stark anwächst; und doch stellt deren Zunahme mit der Meereshöhe eine der auffallendsten Erscheinungen des Hochgebirgsklimas dar. Die Bodenerhebungen zwingen eben die feuchtigkeitgesättigte Luft zum Aufsteigen und dadurch zu Abkühlung und Kondensation, wobei durch die Steilheit der Böschung die Geschwindigkeit und damit die Ergiebigkeit der Kondensation gesteigert wird. Die Niederschlagsmenge zeigt deshalb ein starkes Anwachsen mit der Meereshöhe und mit der Steilheit der Täler und Hänge.

Doch unbeschränkt kann die Niederschlagsmenge mit der Meereshöhe auch nicht zunehmen. Der Wasserdampfgehalt der Luft nimmt ja mit der Höhe schnell ab, und auch die regenbringenden Wolken ziehen auch nicht in sehr grosser Höhe; somit muss auch die Menge des durch Kondensation in Form von Regen und Schnee aus der Luft ausgeschiedenen Wassers in grösseren Höhen wieder abnehmen. Die Meereshöhe, in der die grössten Niederschlagsmengen fallen, wurde in den meisten Gebirgen zu etwas über 1000 m bestimmt. Für die Alpen wird auf Grund früherer Untersuchungen meist eine Höhe von 2000 bis 2500 m als die Region der maximalen Niederschläge angesehen. Doch erweist sich diese verbreitete Annahme als durchaus unrichtig. Aus Kurven, die ich nach Daten von Direktor Maurer für das Berner Oberland für die Abhängigkeit der Niederschlagsmenge von der Meereshöhe aufgestellt habe, ergibt sich, dass in den Berner Alpen, also am nord-

westlichen, gegen Regenwinde freien Aussenhang der Alpenkette, die Niederschlagsmenge mit der Höhe dauernd anwächst und auch an der höchsten Meßstelle, am Mönchsgrat in 3800 m Höhe, noch keinerlei Tendenz zur Abnahme erkennen lässt. Diese starke Zunahme des Zuwachses in grösseren Höhen ist zweifellos zum Teil dem Einflusse der Meereshöhe zuzuschreiben, daneben aber auch der gerade an diesen Berner Oberländer Bergzügen grossen Steilheit der Geländeböschung.

Es ist klar, dass lokale Einflüsse die Niederschlagsmenge stark modifizieren können; vor allem im Windschutz ist der Niederschlag meist geringer, als der Meereshöhe entspricht. Ein Beispiel für die Wirkung des Windschutzes im grossen bietet das Wallis. An Hand einer Kurve, die ich nach den Angaben von Dr. O. Lütschg aus seiner grossen Studie über Niederschlag und Abfluss im Mattmarkgebiet zusammengestellt habe, ergibt sich nämlich, dass im Wallis, einem abgeschlossenen Binnental, die Niederschlagssumme durchschnittlich nur etwa halb so gross ist als in gleicher Meereshöhe in den Berner Alpen.

Alle diese Erkenntnisse über die Niederschlagsverhältnisse im Hochgebirge verdanken wir der Einführung der Totalisatoren, die nur einmal im Jahre abgelesen werden müssen. Um aber auch über die feinere Struktur der Niederschlagsverhältnisse in dieser grossen Seehöhe Aufschluss zu erhalten, wurden auf dem Dache des Jungfraujoch-Institutsgebäudes sowohl ein gewöhnlicher Niederschlagsmesser als auch ein elektrisch geheizter, registrierender Niederschlagsmesser zur fortlaufenden Aufzeichnung der Niederschläge aufgestellt und beide mit grossem Schneeschutzschirm versehen. Es stellt dies einen ersten Versuch dar, einen genaueren Einblick in die Niederschlagsverhältnisse in so grosser Meereshöhe zu gewinnen. Während schon in einer Höhe von 1600 bis 1800 m nahezu die Hälfte des Niederschlages in Form von Schnee fällt, können wir annehmen, dass in der Höhe des Jungfraujoches und darüber der gesamte Niederschlag als Schnee auftritt.

Die Probleme der Luftströmungen bieten dem Hochgebirgsmeteorologen ein besonders reiches Arbeitsfeld, ist er doch an seiner Arbeitsstätte den Winden in aussergewöhnlichem Masse ausgesetzt. Da in der freien Atmosphäre die Windgeschwindigkeit mit der Höhe stark anwächst, befinden sich die hohen Gipfel in der Region starker Luftbewegung. Anderseits erzeugen die Berge

selbst eine Störung des Strömungsfeldes, die im Luv zu Stauung und Geschwindigkeitserhöhung, im Lee zu Verminderung der Luftbewegung führt. Infolgedessen herrschen in freien Lagen, auf Bergkämmen und Gipfeln starke Winde, während die Gebirgstäler vorzüglich vor den gegen die Gebirge wehenden Luftströmungen geschützt sind. Drei typische Schweizer Stationen mögen als Beispiel dafür angeführt werden: Zürich in ziemlich freier Lage mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 2—3 m/Sek., Davos in ausserordentlich geschützter Hochtallage mit dem Minimum im Winter und einem Jahresmittel von 1,3 m/Sek., und der Säntis als freistehender Voralpengipfel mit einem Mittel von 6—8 m/Sek.

Noch ein Wort von den lokalen Windströmungen der Gebirge. Deren wichtigste ist der Föhn; er wird zwar durch das Gebirge erzeugt, wird aber vor allem in den tief eingeschnittenen Tälern stark fühlbar. Ähnlich verhält es sich mit dem täglichen Windwechsel von Berg- und Talwind; auch diese durch die tägliche Erwärmung erzeugten Luftströmungen spielen sich in der Hauptsache in den Tälern ab und treten in den Hochlagen weniger deutlich in Erscheinung. Doch auch die Firnregion hat ihren Lokalwind, den erst ganz neuerdings von Tollner genauer untersuchten Gletscherwind. Analog wie in jedem gewöhnlichen Tale bei Schönwetter tagsüber ein aufsteigender Talwind, nachts ein abwärtsfliessender Bergwind auftritt, so lässt sich bei ungestörter Wetterlage in den Gletscher- und Firngebieten tagsüber eine abwärtsgerichtete Luftströmung beobachten, der Gletscherwind. Die auf dem Firn liegende Luft kühlt sich hier eben ab, sie wird dadurch schwerer und fliesst, dem Gesetze der Schwere folgend, abwärts, wodurch eine gleichmässige, leichte Luftströmung entsteht. Sie besitzt keine grosse Mächtigkeit und ist unterhalb des Gletschers wohl auch nicht sehr weit zu verfolgen, da sie sich beim Herunterströmen adiabatisch erwärmt. Am unteren Ende des Gletschers schiebt sich diese Luftströmung unter den normalen Talwind, der aus den unteren Partien des Tales kommt und über dem Gletscherwind bis zur Kammhöhe emporsteigt. So bildet sich über Firn und Gletscher ein mehr oder weniger geschlossenes Zirkulationssystem aus. Eine dem normalen Windwechsel analoge Umkehr in der Nacht kann natürlich nicht eintreten, im Gegenteil wird dann die Abkühlung auf dem Gletscher den gewöhnlichen, abfliessenden Bergwind noch verstärken.

Ein interessantes Windproblem des Hochgebirges wurde kürzlich von Travničeк in Graz aufgeworfen. Dieser österreichische Forscher hatte festgestellt, dass die Unruhe im Luftmeer, gemessen an der Häufigkeit der Luftdruckwellen und der interdiurnen Luftdruckveränderlichkeit, nicht von Jahr zu Jahr ähnlich ist oder willkürlich schwankt, sondern in einer Periode von 25—30 Jahren eine grosse Schwankung durchmacht. Zur Erklärung dieser Tatsache untersuchte Travničeк nun die Windgeschwindigkeit, sowie die Häufigkeit von Sturm und Windstille in den Ostalpen und machte dabei zwei ganz überraschende Feststellungen: Einmal, dass auch die Windstärke einer Periode von etwa dreissig Jahren unterliegt, und sodann, dass auf den Hochstationen Sonnblick und Obir die Minima und Maxima dieser Gesetzmässigkeit gerade umgekehrt liegen als in der Niederung bei Wien; er schliesst daraus, dass sich offenbar der grösste Teil der Troposphäre gerade dann am schnellsten bewegt, wenn die Bodenwinde am schwächsten sind und umgekehrt.

Dieses Ergebnis hat nicht nur grosses theoretisches Interesse im Hinblick auf die Zirkulationstätigkeit in der Atmosphäre, sondern auch eine beträchtliche praktische Bedeutung. Da der Winddruck mit dem Quadrat der Windgeschwindigkeit geht und somit nach Travničeк im Maximum auf das Zweieinhalb- bis Dreifache des Minimums ansteigt, darf der Bergförster nicht an diesen Feststellungen vorübergehen; aber auch physiologische und hochtouristische Interessen werden von diesen Schwankungen berührt. Besitzen die Feststellungen von Travničeк allgemeine Gültigkeit, so können sie auch zur Prognose verwendet werden, und wir dürften für die Ostalpen ein relativ sturmarmes Jahrzehnt erwarten.

Im Hinblick auf die praktische Bedeutung dieser von Travničeк für die Ostalpen festgestellten Beziehungen habe ich nun die Frage geprüft, ob diese Gesetzmässigkeiten auch für unsere Schweizer Alpen Gültigkeit besitzen. Dabei hat sich aus einem Vergleich der vorzüglichen Windregistrierungen in Zürich und auf dem Säntis ergeben, dass in diesem Material weder von einer Periodizität, noch von einem entgegengesetzten Verhalten der Hochstation gegenüber der Niederung auch nur eine Spur zu bemerken ist. Dagegen lassen beide Stationen im letzten Halbjahrhundert eine Abnahme der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit erkennen; so ist auf dem Säntis das Jahresmittel von nahezu 8 m/Sek.

in den Achtzigerjahren auf etwa $5^1/_2$ m/Sek. im letzten Jahrzehnt gesunken, und auch in Zürich ist eine merkliche Abnahme zu verzeichnen. Ob diese Schwächung der Windintensitäten reell oder durch eine allmähliche Abnutzung der Anemographen wenigstens zum Teil vorgetäuscht ist, kann ich nicht entscheiden.

So sehen wir, dass die Luftströmungen im Hochgebirge noch manches Problem bieten. Aus diesem Grunde mag es bedauerlich erscheinen, dass hier, an der Stelle der Forschungsstation, gute Windregistrierungen nicht möglich sind. Wenn auch wesentlich besser, so böte auch der Sphinxgipfel keine einwandfreie Aufstellung. Auch dieser Punkt ist im Osten und Westen von rund 600 m höheren Bergen, dem Mönch und der Jungfrau, überragt, und Winde aus diesen beiden Himmelsrichtungen würden deshalb stets abgelenkt und abgeschwächt werden. Da möchte es als wünschenswert erscheinen, auf einem dieser Gipfel selbst eine Windregistrierung einzurichten. Aber ganz abgesehen von den grossen technischen Schwierigkeiten und der Gefahr häufiger Störungen wollen wir auch über die Ergebnisse solcher Registrierungen nicht mehr allzu optimistisch denken. Vor kurzem hat nämlich Zistler auf Grund von Pilotballonaufstiegen gezeigt, dass sogar auf dem Gipfel der Zugspitze, die der höchste Punkt ihres ganzen Bergmassivs ist, die Luftströmungen bis in einige hundert Meter Höhe weitgehende Richtungsänderungen durch das Gebirge erfahren, und dass sich der Einfluss des Reliefs sogar bis in 2 km Höhe über dem Gipfel in schwachem Masse noch bemerkbar macht. Was man früher zu erreichen hoffte, nämlich auf freigelegenen Berggipfeln die Strömungsverhältnisse der freien Atmosphäre zu studieren, lässt sich somit nur in angenähertem Masse erreichen. Aus diesem Grunde wird während der Polarjahrbeobachtungen auf dem Jungfraujoch vor allem die Zugrichtung der unteren Wolken als Indikator für die Strömung der freien Atmosphäre benützt.

Kürzer können wir uns über die Temperaturverhältnisse fassen. Auf dem Jungfraujoch bewegen sich die Monatsmittel der Temperatur etwa zwischen 0^0 in den Hochsommermonaten und -12^0 im Winter, während in der schweizerischen Niederung die entsprechenden Werte etwa $+18^0$ und -1^0 betragen; die Jahresschwankung ist in der Höhe somit geringer als in der Tiefe. Es rührt dies hauptsächlich daher, dass in den Hochlagen infolge der häufigen Temperaturinversionen die Wintertemperaturen nicht so tief sinken,

wie zu erwarten wäre. Diese Erscheinung der Temperaturumkehr kommt dadurch zustande, dass die erkaltete Luft, der Schwere folgend, sich in den Talbecken und in der Niederung sammelt, während die wärmere sich darüber lagert. Zudem kommt bei Schönwetterlage im Hochgebirge die Sonnenstrahlung vorzüglich zur Wirkung, während dann häufig die Niederung unter einer Nebeldecke ruht. In solchen Fällen nimmt in den unteren Luftschichten die Temperatur nicht — wie es gewöhnlich der Fall ist — mit der Höhe ab, sondern zu.

Nicht nur der Jahres-, auch der Tagesverlauf der Temperatur ist stark von der Bodengestaltung abhängig. So sind auf Berggipfeln und ähnlich in Hanglage die täglichen Temperaturschwankungen sehr stark gemässigt, ähnlich wie im maritimen Klima, während auf Talsohlen der kontinentale Klimatypus mit grossen Temperaturschwankungen heimisch ist. Als Zahlenbeispiel hierfür sei angeführt, dass auf dem Rigi die Temperatur von 7 Uhr morgens bis 1 Uhr mittags um durchschnittlich nur 2° ansteigt, auf der Talsohle des Engadins dagegen um 8°.

In bezug auf die Wirkung auf den Menschen ist nun allerdings nicht die Lufttemperatur das geeignetste Mass, sondern die Abkühlungsgrösse, die die Gesamtheit der auf einen Körper von 36,5° C. wirkenden äusseren Abkühlungsfaktoren, nämlich Lufttemperatur, Wind und Ausstrahlung, in physikalisch definiertem Masse erfasst. Auf Grund der von Bider bearbeiteten Basler Registrierungen mit dem Davoser Frigorimeter habe ich berechnet, dass die Wärmeabgabe auf einem Hochgebirgsgipfel im Sommer etwa viermal, im Winter etwa zwei- bis dreimal so gross ist als gleichzeitig in der Niederung oder in geschützten Hochtallagen. Bei der Abkühlung spielt eben nicht etwa die Temperatur, sondern die Bewegung der Luft die Hauptrolle.

Schliesslich wenden wir uns nun noch zu den Strahlungsproblemen; gerade in der Hochgebirgsmeteorologie fällt ihnen eine besonders wichtige Rolle zu. Die Sonnenstrahlung erfährt beim Durchgang durch die Erdatmosphäre eine beträchtliche Schwächung durch Absorption und Diffusion, deren Wirkung um so stärker in Erscheinung tritt, je länger der vom Lichtstrahl in der Atmosphäre zurückgelegte Weg und je grösser die Dichte der durchlaufenen Luft ist. Die Strahlung ist deshalb morgens und abends schwächer als mittags, im Winter schwächer als im Sommer, im Tiefland

schwächer als im Hochgebirge. Die Zunahme der Sonnenstrahlungsintensität beim Anstieg aus der Niederung in das Hochgebirge ist somit eine charakteristische Eigenschaft des Hochgebirgsklimas.

Doch geht uns der diffundierte Strahlungsanteil nicht völlig verloren, sondern kommt uns als diffuses Himmelslicht wieder zu. Da die Diffusion mit der Länge der durchlaufenen Luftmasse anwächst, erscheint im Hochgebirge der Himmel weniger durch diffuses Licht erhellt, also dunkler und blauer als in der Niederung.

Das Typische an den Sonnenstrahlungsverhältnissen im Hochgebirge lässt sich durch eine Gegenüberstellung von Niederung und Hochgebirge folgendermassen charakterisieren. Im Hochgebirge finden wir einen wesentlich ausgeglicheneren Tages- und Jahresverlauf der Wärmestrahlung als im Tieflande, und speziell im Jahresgang sind die Variationen nur gering. Aus diesem Grunde sind die Hochlagen vor allem im Winter der Niederung bedeutend überlegen. Alle Unterschiede wachsen mit der Kurzwelligkeit der Strahlung; aus diesem Grunde sind Tages- und Jahresverlauf und Höhenzunahme bei der ultravioletten Strahlung sehr viel stärker ausgeprägt als bei der sichtbaren oder der Wärmestrahlung. Das Ultraviolett der Sonnenstrahlung zeigt deshalb sehr grosse Tages- und Jahresschwankung und grosse Unterschiede zwischen Tiefland und Hochgebirge, die besonders im Winter sehr stark sind.

Über das Mass der Zunahme der Sonnenstrahlungsintensität mit wachsender Meereshöhe sei folgendes festgehalten: Im Frühjahr, Sommer und Herbst zeigt die Strahlungsintensität einen ganz ähnlichen Verlauf; einzig im Winter sind wegen des niederen Sonnenstandes und der Dunstschicht der untersten 1000 Meter die Strahlungswerte im Tieflande bedeutend stärker gedrückt. Bemerkenswert ist ferner die Tatsache, dass trotz dem höchsten Sonnenstande im Sommer die Strahlungsintensität durchgehends im Frühjahr ihr Maximum hat; im Winter geht eben wegen der Kälte der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre sehr stark zurück und ist auch im Frühjahr noch keineswegs wieder ersetzt, und infolgedessen erfährt auch die Strahlung nur eine geringe Wasserdampfabsorption.

Wichtig ist aber ferner, dass oberhalb der Dunstschicht der Niederung — beispielsweise oberhalb 1000 m — die Strahlung nur noch langsam mit der Höhe zunimmt, und dass die Strahlungsintensität auf den höchsten Alpengipfeln nur etwa 10 % grösser

ist als im Niveau der meisten Höhenkurorte; zwischen diesen einzelnen Orten vollends sind die Unterschiede der Strahlungsintensität verschwindend klein. Wichtiger als die Unterschiede der Intensität zwischen den verschiedenen Orten ist vielmehr die Häufigkeit des Sonnenscheins oder deren Korrelat, die Häufigkeit der Bewölkung. Während in der Niederung der Winter die wolkenreichste und der Sommer die heiterste Jahreszeit ist, verhält es sich im Gebirge gerade umgekehrt; das Charakteristikum des Hochgebirges ist die grosse Heiterkeit des Winters. Gegenüber den Hochtallagen ist jedoch die Gipfelregion wesentlich reicher an Bewölkung; wegen der aufsteigenden Luftströme ist eben auf den Gipfeln und Kämmen in der warmen Tages- und Jahreszeit die Wolkenbildung besonders intensiv, so dass man in Gipfel- und Passlagen häufig in Wolken und Nebel sitzt, wo ringsherum schönes Wetter herrscht. Mag sein, dass aus diesem Grunde gerade auch das Jungfraujoch verhältnismässig selten Gelegenheit zu Strahlungsmessungen bietet; zum Ausgleich dafür haben wir deshalb auch für unsere Arbeiten während des Polarjahres eingehende Wolken- und Nebeluntersuchungen vorgesehen, wofür es an Gelegenheit nicht mangeln wird.

In der heutigen Zeit, wo fast in allen Ländern grosse Geldmittel aufgewendet werden, um durch Höhenaufstiege mit künstlichen Hilfsmitteln einen besseren Einblick in die Zustände der höheren Luftschichten zu erhalten und auf diese Weise die Treffsicherheit der Wetterprognose, die Sicherheit des Flugverkehrs und den Fortschritt meteorologischer Forschung zu fördern, liegt es auf der Hand, dass es unsere, der schweizerischen Forschung Aufgabe sein muss, auch diesen von der Natur in 3500 m Höhe vorgetriebenen Fixpunkt nach besten Kräften auszunützen. Dass es uns an dieser neuen Arbeitsstätte nicht an Problemen gebricht, hoffe ich mit diesem kurzen Überblick gezeigt zu haben.