

Grundzüge des Klimas von Muottas=Muraigl (Oberengadin)

Eine meteorologisch=
physikalisch=physiologische Studie

von

Prof. Dr. phil. et med. h. c. C. Dorno

Mit 41 Tabellen und 11 Figuren



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

1927

Grundzüge des Klimas von Muottas=Muraigl (Oberengadin)

Eine meteorologisch=
physikalisch=physiologische Studie

von

Prof. Dr. phil. et med. h. c. C. Dorno

Mit 41 Tabellen und 11 Figuren



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
1927

ISBN 978-3-663-00638-1

ISBN 978-3-663-02551-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-02551-1

Vorwort.

Die vorliegende Studie verfolgt einen dreifachen Zweck:

1. Die Festlegung der physikalisch-meteorologischen Konstanten von Muottas-Muraigl zum Gebrauch der Leiter und Mitarbeiter des „Schweizerischen Institutes für Hochgebirgs-Physiologie und Tuberkuloseforschung in Davos“ und des „Observatoriums Davos“;
2. die Feststellung der im alpinen Hochgebirge mit dem Aufstieg von rund 1500 m auf rund 2500 m Höhe verbundenen klimatischen Differenzen, also Differenzen zwischen Orten, welche unter dem Sammelbegriff „Hochgebirgsklima“ der Therapie nutzbar gemacht werden;
3. die Aufstellung eines Beispielen, wie nach des Verfassers in 20jähriger Forschungstätigkeit auf diesem Gebiete gesammelten Erfahrungen und nach dem heutigen Stande der Wissenschaften meteorologisch - physikalisch - physiologische Studien zweckmäßig und möglichst vollständig durchgeführt werden können. Vernachlässigt ist hier das Gebiet der Radioaktivität; in den Publikationen über Davos hat es Berücksichtigung gefunden.

Das erste Ziel hat infolge vorläufig zu geringen, wenn auch zweckmäßig über das Jahr verteilten Materials nur recht unvollkommen erreicht werden können, so daß im Titel dieser Schrift nur von „Grundzügen“ gesprochen werden konnte. Die Tabellenübersicht orientiert darüber, wo und in welcher Form die Konstanten zu finden sind; sie dürften mit für biologische Zwecke genügender Sicherheit über alle interessierenden Elemente, insbesondere auch die Strahlung in einzelnen Spektralbezirken, Aufschluß geben, dergestalt, daß man an meteorologisch ungestörten Tagen für jede beliebige Tagesstunde jedes beliebigen Tages die zugehörigen Werte entnehmen kann, also einer bezüglichen simultanen Begleitmessung nicht bedarf.

Die zweite Aufgabe ist durch viele, meist unmittelbar in den Text eingeflochtene, teilweise den Tabellen beigelegte Parallelzahlen von Davos zu lösen gesucht; die Einzelabschnitte sind mit aus diesen Zahlen gezogenen Schlußfolgerungen abgeschlossen (S. 18, 90 bis 94, 111, 154 bis 156). Alles zusammenfassend, darf man wohl sagen: Wenn auch die Einzelelemente in verschiedenem Maße verändert werden, so ist doch die mit dem Aufstieg um 1000 m im alpinen Hochgebirgsklima verbundene Steigerung der klimatischen Reize nicht geringer als die mit der Höhendifferenz zwischen 500 und 1500 m Höhe einhergehende. Am meisten wachsen die Intensität der ultravioletten Sonnenstrahlung (bei geringer Abnahme der ultravioletten Himmelsstrahlung), die Werte der Abkühlungsgröße (um 50 Proz. des Mittags, 100 Proz. morgens und abends) und die Werte der luftelektrischen Elemente (sowohl Potentialgefälle als auch Leitfähigkeit), derart, daß der luftelektrische Vertikalstrom die 12- bis 15fache Höhe des in Davos gemessenen erreicht.

Für den zu dritt genannten, im Abschnitt 5 behandelten Versuch bittet der Verfasser um Nachsicht; er ist von kompetenter Seite zum Vortrag über dies Thema ersucht, zog aber der vielen drohenden Klippen wegen die Ruhe des Studierzimmers vor, um zusammenzutragen, was er hierzu zu sagen hat. Auf S. 154 bis 156 ist es kompendiös zusammengefaßt und gipfelt in Vereinfachung der heute so mannigfachen Bezugspunkte des Physiologen auf nur zwei, nämlich Abkühlungsgröße und Austrocknungsgröße, und in Umrechnung der meteorologisch-physikalischen Werte in gebrauchsfertige physiologische von der Bluttemperatur des Menschen $36,5^{\circ} = 0^{\circ}$ phys. ausgehende.

Zu etlichen akuten Fragen ist Stellung genommen. Erwähnt sei hier die Kritik der Pyranometer (S. 70), der heute üblichen Tabellierung der Wärmestrahlungswerte (S. 77), der Ozonmessungen (S. 55, 65/66), der Cyanometer (S. 95), des Kata-Thermometers (S. 150), der Ableitung der Verdunstungsgröße für Pflanzen (S. 126), auch sei auf die S. 146 angegebenen geeigneten physiologischen Meßmethoden, auf die S. 144 aufgeführten dankbaren Themata hingewiesen und schließlich auch auf den die physiologischen Wirkungen der Luftelektrizität behandelnden Abschnitt (S. 156 bis 165).

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	III—IV
Inhaltsverzeichnis	V—VIII
Tabellenverzeichnis	IX—X
Figurenverzeichnis	XI
Einleitung	1—4
Beobachtungsprogramm	4—6
1. Meteorologie	
Wetterbeschreibung der fünf Beobachtungsperioden	6— 7
Luftdruck	8
Lufttemperatur	8—11
Luftfeuchtigkeit	11—12
Wind (Richtung, Geschwindigkeit, Malojawind).	12—18
Zusammenfassung	18
2. Strahlung.	
Instrumentarium, Material, Tabellierung	19—22
I. Sonnenstrahlung.	
Sonnenscheindauer	22
Gesamtintensität der Sonnenstrahlung. Jahresgang, Tagesgang, Maxima, Summen, Vergleich mit Davos, Agra, Potsdam, Transmissionskoeffizienten, Trübungsfaktor (Durchlässigkeitsvermögen und wirkliche Durchlässigkeit, Zerlegung in drei trübende Wirkungen)	23—33
Rot- + Ultrarotintensität der Sonnenstrahlung (wahre, aus spektral ausgewerteter Filterdurchlässigkeit abgeleitete). Jahresgang, Tagesgang, Maxima, Summen, Transmissionskoeffizienten, Vergleich mit Davos und zahlreichen anderen Orten	33—41
Helligkeit der Sonnenstrahlung. Jahresgang, Tagesgang, Maxima, Summen, Transmissionskoeffizienten	42—47
Ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung.	
Eigenschaften und Wert der Cadmiumzelle	47—57
Kurzwellige ultraviolette Intensität. Jahresgang, Tagesgang, Maxima, Transmissionskoeffizienten,	

	Seite
Wechsel des Ultrarot- und des Ultraviolettgehalts der Sonne mit der Jahreszeit, Vergleich mit Davos, Zunahme der kurzwelligen ultravioletten Strahlung mit der Höhe	57—62
Langwellige ultraviolette Intensität. Tagesgang, Jahresgang, Maxima, Vergleich mit Davos . .	63—64
Ursachen der jähen Schwankungen der kurzwelligen ultravioletten Sonnenstrahlung (neben Ozon sechs andere)	65—67
Zusammenfassung	67
II. Himmelsstrahlung.	
Wärmestrahlung (kurzwellig $< 3 \mu$). Kritik der Pyranometer, Jahresgang, Tagesgang von Sonnen- und Himmelsstrahlung und von Himmelsstrahlung allein, Verhältnis beider, Einfluß von Wolken, Vergleich mit Davos und anderen Orten	67—74
Nächtliche Ausstrahlung. Absolutwerte, Vergleich mit Einstrahlung vom wolkenlosen Tageshimmel, außerordentlicher Maximalwert des 24. und 25. Januar 1924	75—77
Totaler Wärmeumsatz durch Strahlung. Notwendigkeit der Tabellierung der Summen von langwelliger und kurzwelliger Wärmestrahlung des Himmels, Jahresgang, Vergleich mit Davos und anderen Orten, Wärmeumsatz bei Berücksichtigung der Reflexion	77—80
Ultraviolette Strahlung des ganzen Himmels. Jahresgang, Tagesgang, Abhängigkeit von der Sonnenhöhe, Vergleich mit Davos und Jungfraujoch, Abnahme der Himmelsstrahlung mit der Höhe oberhalb 1560 m	80—84
Ultraviolette Strahlung einer 30° um Zenit laufenden Zone. Intensität Agra (565 m) ähnlich Davos (1560 m), Einfluß von Wolken	85—86
Photochemisch gemessene Ortshelligkeit. Strahlungssummen bei allen Wetterlagen, Jahresgang, Verhältnis zum südlichen Vorderlicht, Vergleiche mit anderen Orten	86—90
Zusammenfassung des ganzen Abschnittes 2 für a) Sonnenstrahlung und Himmelsstrahlung auf Muottas-Muraigl. b) Vergleich mit Davos (rund 2500 und 1500 m Meereshöhe)	90—94
3. Meteorologische Optik.	
Himmelsfarbe, Cyanometer	94—97
Aureole, Tyndalleffekt	98
Szintillieren	98—99
Sicht	99

	Seite
Polarisation des Himmelslichtes.	
Beobachtungen am Tage	100—101
Beobachtungen während der Dämmerung	101—102
Dämmerungsbeobachtungen	103—104
4. Luftelektrizität.	
Potentialgefälle, gemessen zwischen 100 cm und Erdboden, 50 cm und Erdboden, 50 und 100 cm über Erdboden. Vergleich mit Davos, absolute Höhe, Tagesgang, Jahres- gang, Einfluß von Schneedecke und meteorologischen Faktoren	105—108
Leitfähigkeit. Vergleich mit Davos nach Tages- und Jahres- gang, Einfluß meteorologischer Elemente, Vergleich mit Agra und Locarno. Starker Überschuß der positiven Ionen	108—110
Luftelektrischer Vertikalstrom. 12- bis 15mal stärker als in Davos	111
Durchdringende Strahlung	111—112
5. Physik und Physiologie.	
Notwendigkeit der Lieferung für die Physiologie gebrauchsfertiger Werte in gebrauchsfertiger Form. Einstrahlung in verschiedenen Spektralbezirken, Umrechnung der physikalischen Werte von Ausstrahlung, Feuchtigkeit, Wind in physiologische. Austrocknungsgröße, Abkühlungsgröße. Notwendigkeit der Messung von Oberflächentemperaturen	112—114
Effektive Temperaturen der Erdoberfläche, von Pflanzenteilen, anderen Objekten und Schneedecke. Im Wind und in Windstille, in Sonne und im Schatten, Wirkung verschiedener Farben. Luft- und Schneetemperaturen an Oberfläche, in 2,5 cm und 5 cm Tiefe (Tagesgang). Reflexion des Schnees (eingehende Strahlungs-Verteilungskurve)	115—125
Austrocknungsgröße.	
Physikalische, bezogen auf Lufttemperaturen	125—126
Physikalische, bezogen auf Pflanzentemperaturen. Erklärung der irrtümlichen Resultate Szymkiewicz'	126—129
Physiologische, bezogen auf Temperatur der Oberhaut des Menschen; berechnet nach Vincent	129—131
gemessen	131—135
Abkühlungsgröße. Physiologische, bezogen auf Temperatur der Oberhaut und auf Bluttemperatur (36,5° C = 0° phys.)	135—138
Dauernde thermische und elektrische Variationen der (lebendigen) freien Luft im Gegensatz zur (toten) Zimmerluft. Dauernder Reiz durch diese Variationen und das Bestreben des Ausgleiches verschiedener Tem-	

	Seite
peraturen an den verschiedenen Oberhautstellen. Geeignete Stellen für Temperaturmessungen der Oberhaut	138—141
Notwendige Trennung der Aufgabe der Bestimmung der physikalischen und der physiologischen Abkühlungsgröße. Ableitung der Wärmeproduktion aus physikalischer Abkühlungsgröße und Oberhauttemperatur. Wegweisung zur Auffindung spezifischer, bestimmte Organe bevorzugender Klimatypen	141—143
Zur Schleimhaut hat Sättigungsdefizit engste Beziehung, zur Oberhaut Austrocknungsgröße. Geeignete Untersuchungsthemata	143—144
Klassifizierung der Klimatypen nach Austrocknungs- und Abkühlungsgröße. Für klimatische Studien geeignete physikalische und physiologische Instrumente	145—147
Abkühlungsgröße Muottas-Muraigl (trocken und feucht). Jahresgang, Tagesgang, Maxima, Vergleich mit Davos und Agra, Messungen im Windschutz	147—149
Kritik des Kata-Thermometers	150—151
Das Davoser Frigorimeter. Eignung, auch Strahlung aller Wellenlängen zu registrieren	152—153
Zusammenfassung	154—156
Physiologische Wirkungen der Luftelektrizität	
Luftelektrische Elemente	156
Potentialgefälle, Leitfähigkeit, Vertikalstrom	157—158
Aufnahme von Raumladungen durch Oberhaut und Schleimhaut	158—160
Elektrische Ladung der Körperoberfläche und ihre Ursache	160—162
Durch industrielle Wechselströme verursachte Schwingungen	163
Wirkungen von Ladungen positiven Vorzeichens . . .	163
Leicht- und schwerbewegliche Träger als Überträger an Oberhaut und Schleimhaut	163—164
Summation von vier Stromarten. Möglichkeit von Überladung	165
Gehalt der Luft an Ozon und Stickoxyden (chemisch gemessen)	166—168
Nachwort	169—172
Verzeichnis der bisherigen Publikationen des Verfassers . .	173—177
Nachtrag zu P. Götz, „Das Strahlungsklima von Arosa“	Seite 38, 45, 48, 62, 84
Nachtrag zu O. Hölper, „Intensitätsverteilung im ultravioletten Sonnenspektrum“	66

Tabellenverzeichnis.

Nr.	Seite
1 Meteorologische Elemente (Einschlagstabelle am Schlusse des Buches)	
2 Gesamtintensität der Sonnenstrahlung $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$	24
3 Vergleich der Mittagsintensitäten und Wärmesummen der Sonnenstrahlung von Muottas-Muraigl und anderen Orten . .	26
4 Transmissionskoeffizienten für Luftmasse 2 (vgl. S. 38, 45, 60)	29
5 Tagesgang des Trübungsfaktors auf Muottas-Muraigl	30
6 Jahreszeitenmittel des Trübungsfaktors	32
7 Anteil der drei trübenden Wirkungen am Trübungsfaktor . . .	33
8 Rot- + Ultrarotintensität der Sonnenstrahlung $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$.	34/35
9 Verhältnis $\frac{\text{Rot- + Ultrarot-}}{\text{Gesamt-}}$ Strahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe (korrigiert für Absorption durch das Filter)	36/37
10 Vergleich der Rotintensitäten und des Rotgehaltes der Sonnenstrahlung von Muottas-Muraigl und anderen Orten	40
11 Helligkeit der Sonnenstrahlung (Beleuchtungsstärke der zu den Strahlen senkrechten Fläche $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$)	42/43
12 Tagesgang der Orthselligkeit (Beleuchtungsstärke der horizontalen Fläche durch Sonne und wolkenlosen Himmel) von Muottas-Muraigl in verschiedenen Jahreszeiten (in relativem Maß, Maximum = 1000 gesetzt)	47
13 Ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Tageszeit	49
14 Ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe	50/51
15 Ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Luftmasse	52/53
16 Wechsel des Ultraviolett- und Rot- + Ultrarotgehaltes der Sonnenstrahlung mit Tages- und Jahreszeit	58
17 Zunahme der ultravioletten Sonnenstrahlung mit der Höhe pro 100 m in Prozenten	61
18 Intensitäten und Stundensummen der kurzwelligen ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung von Sonne + Himmel in Wirkung auf die Horizontalfläche nach Abhängigkeit von der Tageszeit	68
19 Intensitäten und Stundensummen der kurzwelligen ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung allein des Himmels in Wirkung auf die Horizontalfläche nach Abhängigkeit von der Tageszeit	69

Nr.	Seite
20 Verhältnis der Bestrahlungsstärke der Horizontalfläche durch Sonne und Himmel (S/H) an wolkenlosen Tagen	72
21 Wärmestrahlung nur des Himmels auf die Horizontalfläche $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$, geordnet nach Sonnenhöhen für verschiedene Orte	73
22 Verhältnis der Wärmestrahlung von Sonne und Himmel (S/H) auf die Horizontalfläche an wolkenlosen Tagen für verschiedene Orte	74
23 Nächtliche Ausstrahlung und Wärmestrahlung (effektive Strahlung) der Atmosphäre. Mittelwerte der ganzen Nacht $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$	75
24 Totaler Wärmeumsatz durch Strahlung an klaren Tagen auf Muottas-Muraigl, Tagessummen in Grammkalorien	78
25 Vergleich von Ausstrahlung und Wärmeumsatz verschiedener Orte an wolkenlosen Tagen	79
26 Ultraviolette Intensität der Sonnen- + Himmelsstrahlung und allein der Himmelsstrahlung in Wirkung auf die Horizontalfläche nach Abhängigkeit von der Tageszeit	81
27 Ultraviolette Intensität der Sonnen- + Himmelsstrahlung und allein der Himmelsstrahlung in Wirkung auf die Horizontalfläche nach Abhängigkeit von der Sonnenhöhe	82/83
28 Verhältnis der ultravioletten Sonnen- und Himmelsstrahlung (S/H) in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe	82
29 Vergleich der ultravioletten Strahlung einer 30° um Zenit verlaufenden Himmelszone zwischen Muottas-Muraigl (2456 m) und Agra (565 m) in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe	85
30 Photochemische Ortshelligkeit (Oberlicht), Südlicht und Verhältnis beider	87
31 Abstände des Arago- (A) und Babinet- (B) Punktes von der Sonne während der Abenddämmerung	101
32 Luftpotektisches Potentialgefälle in Volt/Meter an ungestörten Tagen	105
33 Luftpotektische Leitfähigkeit in 10^{-4} ESE an ungestörten Tagen	109
34 Durchdringende Strahlung, Volt/Stunde	111
35 Beispiele von Temperaturen der Erdoberfläche, von Pflanzenteilen und anderen Objekten	116/117
36 Mittlere maximale Temperaturen der Erdoberfläche, von Pflanzen und anderen Objekten	120/121
37 Austrocknungsgrößen auf Muottas Muraigl für Lufttemperaturen	126
38 Vergleich der Verdunstungsgrößen nach Szymkiewicz, Trabert, Knoche	128
39 Hauttemperaturen und Austrocknungsgrößen, bezogen auf Haut-, Luft- und Bluttemperatur	132/133
40 Hauttemperaturen und Abkühlungsgröße, bezogen auf Haut- und Bluttemperatur	136/137
41 Abkühlungsgröße für den trockenen und feuchten Körper	146/147

Figurenverzeichnis.

Nr.	Seite
1 Station Muottas-Muraigl. Blick nach Süden	2
2 Station Muottas-Muraigl. Blick nach Westsüdwest	3
3 Natürlicher Horizont der Station	4
4 Tagesgang der Gesamtstrahlung und Rotstrahlung in $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$	38
5 Energiekurven der Sonnenstrahlung, Himmelsstrahlung und der Empfindlichkeit des Auges	44
6 Tagesgang der ultravioletten Sonnenstrahlung	56
7 Luft- und Schneetemperaturen auf Oberfläche, in 2,5 und 5 cm Tiefe (Tagesgang)	123
8 Einstrahlungs-Verteilungskurve am wolkenlosen 3. Dezember 1920 mittags $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$	124
9 Thermoelektrisch gemessene Schattentemperaturen, Davos, 13. Juli 1925. $S_{3-1} P_{5 \text{ Cu}}$, Nord leicht	139
10 Potentialgefälle, mechanisch registriert (1 Elektrode) und photographisch registriert (2 Elektroden), Davos, 30. März 1924	139
11 Apparat zur Dauerregistrierung der Abkühlungsgröße (Frigorimeter)	152

Im Oberengadin, leicht erreichbar durch Drahtseilbahn von der kleinen Haltestelle der Rhätischen und auch der Bernina-Bahn Punt-Muraigl zwischen Samaden und Pontresina, findet man am nordöstlichen Steilabhang auf einem von Nordost bis Südwest von der Alp Muraigl und dem Piz Muraigl ein wenig überragten Plateau in 2456 m Meereshöhe die Zweigstation des „Schweizerischen Institutes für Hochgebirgs-Physiologie und Tuberkuloseforschung in Davos“ in unerhört schöner Lage. Das mit Wasserzu- und -ableitung, Kanalisation, Heizung, elektrischem Kraft- und Lichtstrom und den nötigen Laboratoriumsutensilien ausgestattete wetterfeste, rechteckig gebaute Häuschen von etwa 9 m Länge bei 8 m Breite besitzt einen großen und zwei kleine Innenräume und ein leicht zugängliches, fest gedecktes, ausnivelliertes flaches Dach zur sicheren Aufstellung von Postamenten, Tischen und Stativen für physikalische und meteorologische Apparaturen aller Art. Seine schmälere, fast genau nach Süden gerichtete Front gewährt Ausblick auf die greifbar nahe majestätischste Gletscherwelt der Ostschweiz mit ihren 4000 m übersteigenden Gipfeln, während man von der der längeren Westfront vorgelagerten breiten Terrasse wie von hohem Balkon 700 m hinabschaut auf das meilenweit nach Westsüdwest sich erstreckende Paradies des Oberengadins mit seinen vielbesungenen und vielgemalten grünen Matten, von tiefem Tannendunkel umrahmten blauen Seen, überragt von vielgestalteten, steil anstrebenden, schneebedeckten Gipfeln, über denen der blaue Hochgebirgshimmel thront. Ein zugehöriges, Teich- und Gartenanlagen für Tier- und Pflanzenphysiologen umschließendes Terrain von etwa 1000 qm Größe bietet einigermaßen Schutz vor unberufenem Besuch seitens der die benachbarte Hotelterrasse während vieler Tagesstunden aufsuchenden großen Besucherzahl. Das in etwa 80 m Abstand südöstlich gelegene, vortrefflich geführte Hotel Muottas-Muraigl-Kulm mit der in seinem Souterrain mündenden elektrischen Bahnstation bildet auf Meilendistanz die einzige Nachbarschaft in dieser Hochgebirgsstille als wertvolle Stütze für die wissenschaftlichen Arbeiter und ebenso wertvolle Aufsicht in Zeiten der Nichtbenutzung der Station.

Überaus wichtig für seine physiologischen und physikalisch-meteorologischen Studien ist dem Davoser Forschungsinstitut und Observatorium diese in Luftlinie nur 32 km entfernte Zweigstation, welche mühelos den Aufstieg um rund 1000 m (von etwa 1500 auf etwa 2500 m) fast zu allen Jahreszeiten erlaubt; auch in den Monaten, in welchen die Drahtseilbahn fahrplanmäßig nicht fährt, besteht meist Gelegenheit zur Benutzung der Personalzüge.

Als im Sommer 1923 das einige Jahre von Herrn Prof. G. Senn, Basel, für botanische Studien gepachtete, ursprünglich für Re-

Fig. 1.



Blick vom Muottas-Muraigl nach Süden auf die Gletscherwelt.

staurationszwecke erbaute Haus der letzteren Bestimmung wieder zu verfallen drohte, ergriff der weitschauende, rührige Samadener Arzt Dr. E. Ruppner, Chefarzt des Oberengadiner Kreisspitals, die Initiative zu seiner Erhaltung für Forschungszwecke und setzte es unter tatkräftiger Mithilfe besonders von Herrn alt Landammann J. Töndury-Zender, Präsident der Rhätischen Bahn, und von Herrn Major Bohn durch, daß das für wissenschaftliche Arbeiten außerordentlich geeignete Objekt angekauft und dem Davoser Forschungsinstitut geschenkweise für seine Zwecke überlassen wurde. Den genannten Herren sowie den Herren Direktoren der Rhätischen Bahn und der Muottas-Muraigl-Bahn, Herren Bener und Bind-

schädler, welche durch Gewährung von Freifahrkarten an alle Mitarbeiter des Institutes die rege Benutzung der Station ermöglicht haben, gebührt reicher Dank.

Erweckt somit das Studium des Klimas von Muottas-Muraigl als Grundlage der physiologischen und der optisch-meteorologischen Studien schon reges Interesse, so erhöht sich dies noch von einem anderen Gesichtspunkte aus, nämlich dem therapeutischen. Man bezeichnet in mittleren geographischen Breiten für Hochgebirgskuren geeignet die Höhenlagen von 1000 bis 2500 m, wobei man

Fig. 2.

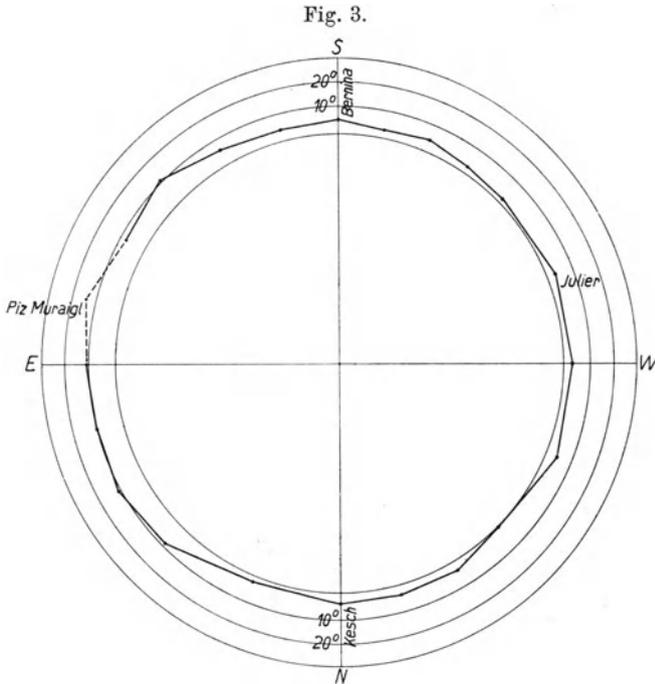


Blick vom Muottas-Muraigl nach Westsüdwest ins Engadiner Hochtal.

letzteres Extrem wohl nur in dem ostschweizerischen Hochplateau sucht, dessen Massenerhebung gewissermaßen seinen warmen Luftmantel mit sich emporhebt, wodurch auch die Vegetations-(Baum-)Grenze um etliche hundert Meter über die normale steigt. Es ist hiernach eine genaue Kenntnis der klimatischen Verhältnisse der äußersten der Therapie nutzbar gemachten Höhenlage wohl von Wert.

Die geographischen Koordinaten von Muottas-Muraigl betragen $46^{\circ} 32'$ nördlich, $9^{\circ} 53'$ östlich Greenwich bei 2456 m Meereshöhe. Fig. 1 zeigt den Blick nach Süden auf die Gletscherwelt, Fig. 2 den Blick nach Westsüdwest ins Engadiner Hochtal, Fig. 3 den natürlichen

Horizont, von der Plattform des Häuschens gesehen. Die Nordwest- und Südwest-Quadranten sind hiernach praktisch störungsfrei, von Nordost bis Südost (also in etwa 90° Ausdehnung) ist der Horizont dagegen in durchschnittlich etwa 1 km Distanz bis zu 10° Höhe abgedeckt durch im Winter und Frühjahr weiße schneebedeckte, im Sommer und Herbst dunkle, teils spärlich grasbewachsene, teils vegetationslose Felswände.



Natürlicher Horizont der Station Muottas-Muraigl.

Gleich nachdem die prächtige Zweigstation dem Davoser Forschungsinstitut zugefallen, wurde vom Verfasser ein Plan für physikalisch-meteorologische Beobachtungen aufgestellt, dahingehend, zunächst in jedem Vierteljahre während einer etwa 14tägigen Periode möglichst alle Elemente, welche in Davos seit 1907 teils vorübergehend, teils dauernd beobachtet worden sind, messend zu verfolgen. Für den in diesen hohen Meereshöhen nur kurzen, daher schnell und wechselnd verlaufenden Sommer wurde sogleich eine Zweiteilung in Frühsommer (Juni) und Spätsommer (August) geplant. Das Programm ist in 1923/24 auch durchgeführt worden

dank der regen Mithilfe von Herrn Dr. Paul Götz, Leiter der Lichtklimatischen Station Arosa, und von Herrn Dr. Fritz Loewe, derzeit wissenschaftlicher Mitarbeiter am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Potsdam. Beiden Herren, insbesondere Herrn Dr. Götz für seine wertvollen Messungen der ultravioletten Strahlung, sei auch an dieser Stelle herzlich gedankt; von ihm stammen auch die beiden klaren oben abgebildeten Aufnahmen der Station.

Wahrlich konnte in so knapp bemessener Zeit bei von Jahr zu Jahr wie überall in der gemäßigten Zone so auch in dieser Meereshöhe stets wechselndem Witterungscharakter ein abgeschlossenes und sicheres klimatisches Bild unmöglich gewonnen werden, aber die wesentlichsten Grundzüge dürften schon herausgesprungen sein, insbesondere hinsichtlich des bei diesen Studien vornehmlich bevorzugten Strahlungsklimas. Da sich die beabsichtigten Fortsetzungen der Beobachtungen in 1925 und 1926, von ganz wenigen sporadischen Untersuchungen abgesehen, infolge der außerordentlich gewachsenen Ansprüche an das Davoser Observatorium nicht ermöglichen ließen, hält der Verfasser es für seine Pflicht, bei seinem Rücktritt von der Leitung des Davoser Observatoriums zusammenzustellen, was er gesehen und gemessen, als Richtlinien für fernere, durch jüngere Kräfte fortzusetzende Arbeit.

Das Beobachtungsprogramm holt weit aus und umschließt — wie in Davos — manches, was unmittelbar der tierischen und pflanzlichen Physiologie dienstbar gemacht werden kann, desgleichen manche in das Gebiet der Geophysik fallenden Probleme. Es wurde beobachtet, und zwar in den Zeitabschnitten:

23. Juli bis 2. August 1923,
2. bis 14. Oktober 1923,
20. bis 27. Januar 1924,
8. bis 13. März 1924,
18. und 19. Juni 1924

aus den Gebieten der

1. Meteorologie: Luftdruck, Windrichtung und -stärke, Lufttemperaturen, trockene und feuchte (Mittel, Maxima und Minima), Luftfeuchtigkeit, relative und absolute, Niederschläge, Bewölkung, Bodenbedeckung, zeitweilig Bodentemperaturen.
2. Strahlung: Intensität der Sonnen- und Himmelsstrahlung in absolutem Maß, spektral unzerlegt und in einzelnen Spektralteilen, Rot und Ultrarot und Ultraviolet, Ortshelligkeit, photochemisch gemessen, nächtliche Ausstrahlung.

3. Meteorologische Optik: Himmelsfarbe, Himmelspolarisation (neurale Punkte), Dämmerungserscheinungen.
4. Lufterlektrizität: Potentialgefälle in verschiedenen Höhen über dem Erdboden, Leitfähigkeit in absolutem Maß, durchdringende Strahlung (Höhenstrahlung).
5. Physik und Physiologie: Erboden-, Pflanzen-, Hauttemperaturen. Abkühlungsgröße des toten Instruments (Kata-Thermometer) und der menschlichen Oberhaut. Austrocknungsgröße. Physiologische lufterlektrische Einflüsse. Gehalt der Luft an Ozon und Stickoxyden (chemisch gemessen).

1. Meteorologie.

Da, wie der Titel dieser Schrift besagt, die Festlegung der normalen Strahlungswerte als vornehmste Aufgabe galt, wurde nach Perioden guten Wetters zu haschen gesucht: Trotzdem dürften die gefundenen Werte den Mittelwerten einigermaßen entsprechen. Abweichungen ergeben sich aus den Vergleichen mit den Zahlen der gleichen Tage sowie der 57jährigen Beobachtungsperiode des in nur 32 km Luftlinie entfernten Davos. Eine kurze Beschreibung der Witterung der fünf Beobachtungsabschnitte möge hier vorausgehen; sie diene zur Ergänzung der in Tabelle 1 gesammelten meteorologischen Daten.

23. Juli bis 2. August 1923: Bei nach allen Richtungen wechselnden Winden mittlerer Stärke trat in den ersten Tagen nur geringe und leichte Bewölkung auf, nur zweimal kurz anhaltender Regen. Vom 28. Juli, nachmittags ab, gewannen Süd- und Südwestluftströmungen die Oberhand und traten zeitweilig kräftig auf bei meist heiterem Himmel. Nur am 28. Juli, nachmittags, und am 29. Juli kam es zur Ausbildung schwerer dunkler Wolken, am letzteren Tage auch zu böigen Gewitterregen.
2. bis 14. Oktober 1923: Das schon am Abend des 2. Oktober sich verschlechternde Wetter hielt so bis zum 10. Oktober an, unterbrochen durch Aufklaren nur am 5., vormittags, und am 6., vormittags. Vom 4. zum 5. fiel etwa 70 cm Neuschnee bei kräftigem Nordwind, auch am 8. Oktober fiel aus aus Süden lebhaft anziehenden Wolken bei nach Nord drehenden Winden etwas Schnee. Bei schnell steigender Temperatur und über West nach Süd drehenden Winden klarte es dann im Laufe des 10. Oktober auf. Der 11. und 12. Oktober waren bei normalen Lufttemperaturen und zeitweilig lebhaftem Südwind fast wolkenlos, während der

13. aus Süden Regen, Graupeln, Gewitter, und der 14. nach starkem Temperaturfall, vormittags, sogar Schneetreiben brachte.
20. bis 27. Januar 1924: Während der ganzen Zeit herrschte bei der Jahreszeit entsprechenden Temperaturen starker bis mittelstarker Wind aus Nord bis Nordost. Gewaltig war zeitweise das Schneetreiben auf den Hochgipfeln der Berninagruppe, Schneewolken von schätzungsweise 400 bis 500 m hoben sich in großen Breitendimensionen und schnell in ihrer Form wechselnd herauf in das Tiefblau des Himmelsäthers. Wolkenlos war der 21. Januar, vormittags, und der 24. den ganzen Tag über; keine Spur einer Aureole um die Sonne war an diesen Tagen erkennbar. Auch der 22. und 25. waren heitere Tage bei im ersten Falle Cumuli führendem, im letzteren Falle cirrösem Himmel, am 26. schob sich von Süd eine meist lückenlose hohe dichte Stratusschicht über den Himmel, welche am 27. Januar von Cirrostratus abgelöst wurde.
8. bis 13. März 1924: Auch während dieser Periode herrschte noch grimme Kälte und starker bis mittelstarker Wind aus Nord und Ost, jedoch bei anhaltendem Sonnenschein. Nur am 8. und 9. traten Cirrostratus und Cumuli auf mit zwischen 1 und 5 wechselnden Zifferwerten. Auch am 11. zeigten sich vereinzelt Cirri. Nur am 13. war bei im Tale beginnender Wolkenbildung eine leichte Aureole um die Sonne erkennbar, Tyndalleffekt zeigte sich auch an anderen Tagen.
18. und 19. Juni 1924: Heiteres Wetter herrschte an beiden Tagen bei zeitweise lebhafter Cumulusbildung. Trotz Helligkeitsstufe S_4 verschwand eine leichte Aureole um die Sonne nie ganz. Von Maloja ausgehend, breitete sich am 18., abends, ein kräftiges Nebelmeer über das Tal aus. Bei normalen Temperaturen herrschte am 18. an der Station leichter bis mittlerer Nordwind, am 19. kräftiger Süd- bis Südwestwind (Malojawind).

Zwecks Erleichterung der Diskussion der einzelnen meteorologischen Elemente sind in Tabelle 1 (Ausschlagtafel am Schlusse des Buches) unter den in Muottas-Muraigl gefundenen Zahlen vermerkt: 1. die an denselben Tagen in Davos gemessenen, 2. die entsprechenden der Davoser 54jährigen Beobachtungsperiode, 3. die entsprechenden von Zürich, wie sie das fundamentale Werk Maurers, Billwillers und Hess „Das Klima der Schweiz“ enthält.

Mit Rücksicht auf die praktische Anwendung bei physiologischen und therapeutischen Studien wurden zur Charakterisierung des Krankentages (Werktages) die Beobachtungstermine 7^a , 1^p , 7^p im Sommer, 8^a , 1^p , 6^p im Winter gewählt; sie sind in Tabelle 1 einheitlich unter $7\frac{1}{2}^a$, 1^p , $6\frac{1}{2}^p$ aufgeführt.

Luftdruck. Recht klein erwiesen sich die Luftdruckschwankungen:

im Januar	maximal	11 mm,	interdiurn	5 mm
„ März	„	6 „	„	2 „
„ Juli/August	„	13 „	„	3 „
„ Oktober	„	16 „	„	11 „

Die Junizahlen werden hier nicht in Diskussion gezogen, weil diese hauptsächlich Strahlungsmessungen dienende Beobachtungszeit zu kurz war.

Nur dem großen, von außergewöhnlich starkem Schneefall begleiteten Wettersturz des 4./5. Oktober 1923 ging ein jäher interdiurner Barometerfall von 11 mm voraus (in Davos gleichzeitig 10 mm und innerhalb drei Tagen fast 20 mm). Seit Sommer 1926 läuft dauernd ein Barograph an der Station; er hat bisher keine interdiurnen Luftdruckwechsel von > 9 mm gemeldet, und auch diese Zahl wurde nur zweimal (im Dezember 1926 und Januar 1927) erreicht. Der (sehr kleine) Jahresgang entspricht dem erwarteten, Maximum im Sommer, Minimum im Winter, der Märzwert dürfte gegenüber normal ein wenig zu hoch liegen.

Das rohe Mittel der vier Beobachtungsabschnitte entspricht mit 558,2 etwa dem für diese geographische Breite und Meereshöhe nach sonstigen Messungen gefundenen (560,1 mm in 45° geographischer Breite und 2500 m Höhe), mehr als ein Viertel der gesamten Atmosphäre liegt bereits unter der Station. Die Abnahme von rund 75 mm in rohem Mittel der vier ungleich langen Beobachtungsabschnitte zeigt sich gegenüber den gleichzeitig in Davos beobachteten Werten fast 5 mm größer, als sie sich aus der Höhendifferenz nach der barometrischen Höhenformel errechnet.

Lufttemperaturen. Sämtliche Temperaturen (mit Ausnahme der Extremtemperaturen) sind mittels Assmanns Aspirations-Psychrometer gemessen; Ablesungen an in Hütten oder in Fensteraufstellung aufgestellten Thermometern genügen in diesen Höhen nicht mehr, da die Strahlung von zu großem Einfluß ist: Selbst in dem an der Nordwand des Stationshauses sehr geeignet aufgestellten wohlgeschützten Thermometerhäuschen wurden an den Morgenterminen bis zu 3,9° zu niedrige, an den Abendterminen bis zu 1,3° zu hohe Temperaturen abgelesen, und noch größere Differenzen dürften sich zu gewissen Zeiten außerhalb der Beobachtungstermine ergeben.

Die Tagesschwankungen bewegen sich bei den allgemein niedrig bleibenden Temperaturen in nicht weiten Grenzen, der Vormittags-

anstieg überwiegt (mit Ausnahme des Hochwinters) den Nachmittagsabfall ein wenig. Interdiurne Schwankungen von $> 6^{\circ}$ sind überhaupt nicht beobachtet, solche von $> 4^{\circ}$ je einmal im Sommer und Winter, solche von $> 2^{\circ}$ je zweimal im Sommer und Winter. Das sind günstigere Zahlen, als sie nach den ausführlichen klimatischen Tabellen von Davos und Schatzalp (van Oordt, Schwalbes Irrtümer der allgemeinen Diagnostik und Therapie, 1923, S. 246 bis 320, Heft 2; und C. Dorno, Brauers Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, 1927, S. 724 bis 737) gefunden worden sind — freilich im Mittel jahrzehntelanger Beobachtungen.

Die von den Extremthermometern gemeldeten unerwartet kleinen maximalen Schwankungen (absolutes Maximum 15,2, absolutes Minimum — 13,7) entsprechen freilich sicherlich noch nicht den größt vorkommenden, denn 1. die Januarperiode stand, wie der Vergleich der Davoser Zahlen dieser Zeit mit den entsprechenden der 54-jährigen Periode beweist, unter dem Einfluß relativ warmer Witterung, 2. an frei auf der Plattform des Daches regelmäßig ausgelegten Minimalthermometern ist als absolutes Minimum — 15,0° am 8. März 1924 abgelesen worden.

Die Abweichungen von den normalen Jahresmitteln lassen sich, wie oben schon geschehen, einigermaßen schätzen durch den Vergleich der für Davos aufgeführten korrespondierenden Zahlen mit denen der langen 54-jährigen Periode (die für Davos und Zürich in Klammern gesetzten Abendtermine fallen auf $9\frac{1}{2}^{\text{P}}$, entsprechend sind auch die aus ihnen abgeleiteten Tagesmittel in Klammern gesetzt). Hiernach war die Beobachtungsperiode des Januar augenscheinlich zu warm, die des März zu kalt; Juli/August und Oktober entsprechen einigermaßen normalen Sommer- und Herbstwerten.

Bestätigt wird durch den Vergleich der zueinander gehörigen Zahlen von Muottas-Muraigl und Davos, daß sowohl die täglichen als auch die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen in der Höhe geringer sind. Eine nähere Prüfung deckt interessante, zwar nicht neue, aber in diesen Extremen doch noch nicht nachgewiesene Einzelheiten auf. Die Tagesschwankungen zeigen sich in den verschiedenen Jahreszeiten an den beiden Orten (Gipfelstation Muottas-Muraigl-Kulm und geschütztes Hochtal Davos) durchaus verschieden: Im Sommer bei etwa gleicher Sonnenscheindauer und auch im Hochtale während vieler Tagesstunden ziemlich lebhafter lokaler Luftbewegung der erwartete Verlauf, nämlich ein wenig größere Schwankung in der Höhe, im Herbst und Winter dagegen beträchtlich größere Schwankungen im geschützten Hochtal, zu welchen vier Faktoren

gleichzeitig beitragen: 1. verkürzte Sonnenscheindauer morgens und abends durch die schirmenden Berge, 2. vermehrte Ausstrahlung des während des Tages höher erwärmten Bodens, 3. von den umgebenden Höhen abfließende, am Talboden sich sammelnde kalte Luft, 4. durch wirksamsten Windschutz sehr stark herabgesetzte horizontale Luftzirkulation. Die täglichen Temperaturschwankungen stellen also im Davoser Hochtal während des größten Teiles des Jahres ein größeres Reizmittel dar als auf der Gipfelstation, die hauptsächlich entscheidenden Absolutwerte freilich sind auf Muottas-Muraigl ganz wesentlich geringer, und zwar mittags zu allen Jahreszeiten um etwa 4 bis 5°, abends — namentlich im Sommer — gleichfalls um etliche Grade. Nachts und am Frühmorgen finden wir prinzipielle Unterschiede in den verschiedenen Jahreszeiten. Im Sommer ist es alsdann in der Höhe auch kühler, im Winter dagegen unterschreiten namentlich bei klarem Himmel die Taltemperaturen die der Höhe beträchtlich (bis zu 4° nach Ausweis der Tabellen). Die Ursache wurde schon erwähnt: Bei Windstille von den Höhen abfließende, am Talboden sich sammelnde kalte Luft und kräftige Ausstrahlung bei fast absoluter Windstille. Der Herbst ähnelt — wie meist — dem Sommer, Frühjahr dem Winter.

Zieht man die Züricher Zahlen der Tabelle 1 zum Vergleich heran, so ergibt sich etwa folgendes:

	Beim Aufstieg um 1150 m vom Schweizer Vorlande (Zürich, 410 m) in das Davoser Hochtal	Beim Aufstieg um 900 m vom Davoser Hochtal zur Gipfelstation Muottas-Muraigl
	vermindert sich die Lufttemperatur	
Mittags zu allen Jahreszeiten um	4 bis 5°	4 bis 5°
Abends zu allen Jahreszeiten um	6 " 7°	etwa wie mittags
Morgens im Sommer um	6 " 7°	6°
Morgens im Winter um	8°	{ Temperaturanstieg um etliche Grade

Roh gesprochen kann man also, von der Anomalie des winterlichen Morgens im windgeschützten Hochtal absehend, sagen, daß die Temperaturunterschiede zwischen 1500 und 2500 m gleiche sind wie zwischen 500 und 1500 m, ein Aufstieg in die therapeutisch ausgenutzte Höchstgrenze also einen gewaltigen Zuwachs des Klimaanspruches involviert, soweit es Lufttemperaturen anlangt. Dieser Anspruch ist physiologisch um so größer zu bewerten, je niedriger die Temperaturen an dem Orte liegen, von welchem der Aufstieg beginnt. Dies Resultat war übrigens zu erwarten, denn man rechnet

selbst für Graubünden, wo die Temperaturabnahme mit der Höhe infolge der Plateauform wesentlich langsamer stattfindet als über Berggipfeln, im Jahresmittel mit 0,510 Temperaturrückgang pro 100 m Aufstieg; die oben nach rohen Mitteln gekürzt zusammengestellten Zahlen stimmen hierzu ganz gut. Roh extrapolierend gelangt man für Muottas-Muraigl zu einer mittleren Jahrestemperatur von etwa $-1,0^{\circ}$.

Luftfeuchtigkeit. Die Werte der relativen und der absoluten Feuchtigkeit der Tabelle 1 sind — wie die der Lufttemperaturen — ausschließlich mittels Assmanns Aspirations-Psychrometer ermittelt, welches wohl allgemein, insbesondere aber für die Verhältnisse der hohen Höhen, in denen die Strahlung von großem Einfluß ist, als das sicherste Meßinstrument für diese Größen bezeichnet werden muß. Parallel durchgeführt sind vielfach Ablesungen an zuverlässig geeichten, in der schon erwähnten wohlgeschützten und wohlgelegenen Thermometerhütte aufgestellten Haarhygrometern: Es fanden sich zwischen ihren Angaben und denen des Assmannschen Instrumentes im Juli/August Differenzen bis zu 15 Proz. (um die Mittagszeit vom Haarhygrometer zu niedrig gemeldet).

Relative Feuchtigkeit. Die Tagesschwankungen laut Tabelle 1 bewegen sich (ähnlich wie bei der Lufttemperatur) in relativ engen Grenzen, bemerkenswerterweise im Winter noch engeren als im Sommer; ebenso bemerkenswert ist, daß in der kalten Jahreszeit niedrigere Werte gefunden sind als in der warmen, was den Verhältnissen der Ebene widerspricht und auch in 1500 bis 1800 m Höhe nicht ausgeprägt gefunden wird. In den Januar fällt auch das exorbitante absolute Minimum von nur 5 Proz., gemessen am 25. Januar 1924 $7\frac{1}{2}^{\circ}$ bei $-6,8^{\circ}$ Lufttemperatur, wolkenlosem Himmel, Nordwind von 4,8 m/sec (an diesem außerordentlich trockenen Tage wurden mittags unter ähnlichen Temperatur-, Himmels- und Windverhältnissen 11 Proz., abends 21 Proz. gemessen). Ein Vergleich mit den Davoser Zahlen der gleichen Periode und den Davoser und Züricher langjährigen Mitteln dokumentiert deutlich die trotz kalter Lufttemperatur außerordentliche Niedrigkeit der relativen Feuchtigkeit.

Deutlicher noch sprechen die Zahlen der absoluten Feuchtigkeit von der außerordentlichen Trockenheit des Klimas von Muottas-Muraigl. Bei dem absoluten Minimum von 0,13 mm (d. h. etwa 0,13 g in Kubikmeter Luft oder einer Konzentration von 1 : 10000) ist die Luft praktisch vollkommen trocken. Gerade in der trockensten

Jahreszeit, dem Winter, nimmt die Trockenheit in Muottas-Muraigl gegenüber Davos prozentuell am meisten zu (45 Proz. gegenüber 20 Proz. im Sommer). Zu allen Jahreszeiten liegen die Mittelwerte von Muottas-Muraigl etwa so hoch wie die absoluten Minima in Davos. Die prozentuelle Abnahme der absoluten Feuchtigkeit beim Aufstieg von Zürich nach Davos beträgt zu allen Jahreszeiten etwa 34 Proz., also ähnlich soviel wie beim ferneren Aufstieg von Davos nach Muottas-Muraigl im Mittel der Jahreszeiten. Die absolute Abnahme sowohl von Zürich nach Davos als auch von Davos nach Muottas-Muraigl entspricht nach den Zahlen der Tabelle 1 ganz gut dem gewohnten Mittel von 8,4 mm bei 500 m, 7,0 mm bei 1000 m, 4,9 mm bei 2000 m, 3,5 mm bei 3000 m Meereshöhe.

Allein schon aus diesen teilweise erschreckenden Zahlen (also ohne Berücksichtigung der die Austrocknung sehr fördernden Windbewegung und Sonnenstrahlung) ergibt sich der starke physiologische Anspruch, welchen die außerordentliche Trockenheit der Höhen stellt. Eigentümlich mutet es angesichts dieser Beweiszahlen an, wenn ein Botaniker vom Range D. Szymkiewiczs das Klima der Alpen als feucht für die Pflanzen bezeichnet (s. S. 119 und 127).

Wind: Die Windrichtung wurde an der seitlich des Stationshäuschens stehenden, sein Dach um etwa 3 m überragenden, etwa 7 m über dem Erdboden stehenden Wildschen Windfahne abgelesen. Zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit diente ein Fuesssches Taschen-Anemometer mit zuverlässigem Zählwerk. Dasselbe lief dauernd Tag und Nacht und lieferte so selbsttätig integrierend die Mittel für die Tagesperiode $7\frac{1}{2}^a$ bis $6\frac{1}{2}^p$ und für den gesamten 24stündigen Tag. Außerdem wurden Einzelzählungen an jedem Beobachtungstermin durchgeführt.

Der erste Blick auf die die Windrichtungen nach Oktanten des Himmels in Prozenten angegebenden Spalten der Tabelle 1 lehrt, daß Nord- und Südströmungen weitaus vorherrschen und Ost- und Westströmungen dagegen sehr zurücktreten. Das in das Engadiner Hochtal an der Einmündung des tiefeingeschnittenen Berninatalen gewissermaßen ein wenig vorgeschobene, 700 m über der Talsohle gelegene, nur im Nordosten und Südosten von einem kaum 100 m Höhe erreichenden, zum Piz Muraigl leitenden Kamm überragte Hochplateau ist frei exponiert der allgemeinen großen, über die ganze klimascheidende Alpenkette von Nord nach Süd und umgekehrt stattfindenden Luftzirkulation, welche — wie ein Blick auf die Karte

zeigt — in dem ganzen weiten Alpenzug von Frankreich bis zum Ungarland wohl kaum eine gleich freie, von wasserscheidenden Kämmen nicht behinderte Zugstraße findet. Lokale Luftströmungen existieren nicht oder kaum; nur in frühester Morgenstunde des Sommers macht sich bisweilen ein leichter, aus Ost absteigender Luftzug bemerkbar, den man als Bergwind des kleinen Muottas-Muraigl-Tälchens auslegen kann. Auf den Lokalwind des Oberengadin, den Malojawind, wird später eingegangen. Die sehr geringe Anzahl von Calmen, welche übrigens ausschließlich im Oktober notiert sind, beweist gleichfalls die windreiche Lage von Muottas-Muraigl, und auch die Zahl dieser ist vielleicht noch ein wenig zu hoch ausgefallen, denn im Oktober lief das Anemometer nach dem großen, am 4. und 5. Oktober stattgehabten Schneefall nicht absolut geräuschlos, hatte also wohl eine kleine Reibung zu überwinden; die Zahlen der Windstärke des Oktober sind daher in der Tabelle in Klammern geschlossen. Im Winter und Frühfrühjahr sind ausschließlich Nord- und Nordostwinde (neben ganz wenigen Ostwinden) angetroffen, sie herrschen in diesen Jahreszeiten nach den Aussagen der sehr wetterinteressierten Hotelbesitzerin stets weitaus vor; im Sommer und Herbst machen sie dagegen laut Tabelle nur etwa ein Drittel aller Richtungen aus, während rund die Hälfte auf die Südrichtungen entfällt. Diese jahreszeitliche Verteilung entspricht nicht dem allgemeinen Luftaustausch über die Alpenkette, denn die Druckverteilung über dem Alpengebiet begünstigt im Winter südliche, im Sommer nördliche Winde. Es müssen also doch noch lokale Einflüsse irgendwelcher Art mitwirken, wenn auch nicht solche der unmittelbaren Umgebung, und man wird sie in den Windverhältnissen des langen und breiten Oberengadiner Hochtales zu suchen haben (s. S. 17), insbesondere dem Malojawind. Ein regelmäßiger Tagesgang ist in dem Wechsel der Windrichtungen in keiner Jahreszeit erkennbar, abgesehen von dem an klaren Tagen des Sommers und Frühherbstes am späteren Vormittage recht regelmäßig auftretenden Malojawinde.

Die Windgeschwindigkeit wechselt vom Tage zur Nacht kaum oder nur — wiederum, wie wir sehen werden, unter dem Einfluß der Oberengadiner Talwindverhältnisse — im Sommer, wo die Nächte ruhiger als die Tage sind bei freilich noch immer recht lebhafter Luftbewegung von im Mittel 3,9 m/sec. Hiernach hält Muottas-Muraigl die Mitte zwischen Ebene und Gipfel, denn in ersterer findet man allgemein ein Maximum der Windstärke um die Mittagszeit, ein Minimum in den Nachtstunden, während um-

gekehrt auf Berggipfeln das Maximum in der Nacht, das Minimum mittags erreicht wird. Ein ausgesprochener Jahresgang der Windstärke ist aus dem freilich noch spärlichen Material kaum erkennbar, der Wind spielt zu allen Zeiten recht lebhaft mit etwa 4 m/sec mittlerer Stärke, im Sommer als Malojawind zeitweise noch lebhafter. Die absoluten Maxima sind während der Beobachtungstermine mit 7 m/sec im Winter, 11,3 m/sec (Malojawind) im Sommer bestimmt, außerhalb der Termine zeigten sich auch noch höhere Werte, maximal (wieder im Malojawind) 16,8 m/sec am 1. August 1923 10^a 40'.

Die nackten Zahlen der Windgeschwindigkeit gewinnen nun erst Leben durch den Vergleich mit den korrespondierenden des geschützten Davoser Hochtales: Die mittleren Windgeschwindigkeiten von Muottas-Muraigl von 4 m/sec werden in Davos als seltene Maximalwerte angetroffen, das von Jahr zu Jahr kaum wechselnde Jahresmittel der Davoser Windgeschwindigkeit beträgt 1,2 m/sec (mit gleicher mittlerer Geschwindigkeit durchfließt der Golfstrom den Atlantischen Ozean), also kaum ein Drittel soviel wie auf Muottas-Muraigl, und in ähnlichem Verhältnis stehen auch die Windgeschwindigkeiten beider Orte während der Beobachtungsperioden selbst. Die Calmenzahl entspricht in Davos

im Juli/August	52	Proz.	aller	Beobachtungen
„ Oktober	82	„	„	„
„ Januar	83	„	„	„
„ März	72	„	„	„

gegenüber auf Muottas-Muraigl Null in allen diesen Zeitabschnitten mit Ausnahme des Oktober, welcher 18 Proz. aufwies.

Der sehr große Vorzug des geschützten Hochtales besteht aber nicht nur in der geringeren Windstärke, sondern auch in der definierten Richtung, in welcher der Wind wie durch einen Kanal das 2 bis 1,5 km breite langgestreckte Tal weitaus am häufigsten von Nordost nach Südwest durchweht, so daß ein senkrecht zu dieser Richtung stehendes, also nahezu nach Süden blickendes Haus den Wind vollkommen abhält und auf der Liegehalle der Süd- bis Südwestfront bei freier Exposition gegen die Sonne praktisch stets Windstille herrscht. Ein Pendeln um die (auch auf Muottas-Muraigl vorzugsweise vorhandene) Nord- und Südrichtung, wie es aus der Tabelle 1 durch die häufigen Nordost-, Südost- und Südwestwinde erkennbar wird, gibt es in Davos kaum je. Die Windgeschwindigkeit

im Vorlande (Zürich) steht laut Tabelle 1, wie es zu erwarten war, zwischen derjenigen von Davos und Muottas-Muraigl, und zwar der Davoser näher als der der Gipfelstation; die Calmenzahlen Zürichs erreichen nur 60 Proz. der Davoser.

Unterscheiden sich das 900 m niedriger gelegene geschützte Hochtal und die Kulmhöhe in Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit ganz gewaltig, kaum weniger als die 1500 m Höhe von der Ebene, so treten die Differenzen doch zurück gegen die der verschiedenen Windverhältnisse. Reicher Windschutz ist notwendig, damit gesunde und noch mehr kranke Menschen den Ansprüchen der niedrigen Temperatur und Trockenheit bei erwünscht langem Aufenthalte im Freien gewachsen bleiben.

Auf das interessante und viel behandelte Thema des Malojawindes muß noch kurz eingegangen werden, da dieser Wind dem Klima von Muottas-Muraigl während vieler Tagesstunden im Sommer und Frühherbst sein Gepräge gibt. Der Standort Muottas-Muraigl ist außerordentlich günstig für die Beobachtung dieses Windes, denn man kann sein Auftreten und Fortschreiten im Tale, insbesondere mit Hilfe eines Fernglases, an der Kräuselung der Seen auf gut zwei Meilen Distanz erkennen, und man gewinnt einen Anhalt auch für die relative Bewegung in Höhe und Tal durch die Zeit seines Auftretens auf Muottas Muraigl im Vergleich mit dem Beginn der Kräuselung auf dem fast unmittelbar zu seinen Füßen liegenden kleinen Statzer See. Nach solchen Beobachtungen stehe ich nicht an, mich zu der von Walter Mörikofer¹⁾ aufgestellten Theorie zu bekennen, nach welcher das Seengebiet des Oberengadins orographisch gar nicht zum Engadin gehört, sondern die oberste Stufe des Bergell bildet, so daß der Malojawind den normalen Talwind des Südhanges darstellt. Der Blick aus der Höhe auf das im Seengebiet kaum noch bemerkenswertes Gefälle zeigende Tal drängt diese Meinung ebenso auf wie der Vergleich mit den Verhältnissen des Davoser Tales, in welchem augenscheinlich als Folge des prähistorischen Bergsturzes bei Wolfgang (Kulm) und dadurch erfolgter Abschnürung des Davoser Tales gegen das Prättigau ganz ähnliche orographische und dadurch veranlaßte Windverhältnisse herrschen. Wie das Oberengadin zum Bergell, so gehört das Davoser Tal trotz der Wasserscheide bei Wolfgang (Kulm) zum Prättigau, soweit es die Windverhältnisse anlangt.

¹⁾ Jahresber. Naturf. Ges. Graubünden 63, 1924.

Etwa 9^a 30' setzt an warmen Sommertagen der Wind auf dem Silser See so kräftig ein, daß die Wellenkräuselungen in rund zwei Meilen Entfernung von der Muottas-Muraigl-Höhe erkennbar werden, und gut eine halbe Stunde später treten diese auch auf dem Silvaplanner See deutlich erkennbar (Wellenzug senkrecht zur Talrichtung) auf, der Wind ist also im Tale rund eine Meile in gut einer halben Stunde fortgeschritten (3,5 m/sec), und eine ähnliche Geschwindigkeit entwickelt der Wind im Tale auch weiterhin dergestalt, daß er am kleinen Statzer See etwa 10^a 45' schwach bemerkbar wird. Reichlich eine Viertelstunde vorher stürmt er aber schon ganz plötzlich und gleich mit voller Mächtigkeit von bisweilen 10 bis 15 m/sec in Muottas-Muraigl an, nur bei Beginn hie und da stoßweise, bald sogleich in gleichmäßiger mächtiger laminarer Strömung. Er schreitet hiernach also in der Höhe, wo die Reibung an der Erdoberfläche fortfällt, schneller fort als in der Tiefe, erreicht mehr (vermutlich viel mehr) als 700 m Höhe über der Talsohle, und er tritt in dieser Höhe heftiger und sogleich mit voller Stärke auf. Die Kräuselungen auf den Seen wachsen erst allmählich zu voller Höhe an, allmählicher als es wohl der Trägheit des in Bewegung zu setzenden Wassers entspricht. Eine den Abhang herabsteigende Luftbewegung (im Sinne von Fournets und Wengers Theorie der Talwinde) konnte vor Eintritt des Malojawindes nie bemerkt werden. Keineswegs ist der Malojawind gleich dem Föhn durch Wärme und Trockenheit charakterisiert; Temperatur und relative Feuchtigkeit wechseln nicht jäh bei seinem Eintreffen (vgl. S. 107 und 110), und sie pflegen sich auf Muottas-Muraigl, solange der Wind anhält, zwischen 13 und 15^o bzw. 40 und 50 Proz. zu bewegen. So beeinflußt der Malojawind auch keineswegs in ähnlichem Maße wie der Föhn Wachstum und Ernte (sonst fände man — wie im Vorderrheintal — in 1800 m Höhe noch Getreidebau), und dies im Verein mit der von Jahr zu Jahr recht wechselnden Häufigkeit seines Auftretens erklärt es wohl, daß in den alten, der meteorologischen Notizen keineswegs ermangelnden Annalen des Oberengadins von ihm nicht berichtet wird.

Faßt man den Malojawind als Talwind des Sommers auf, so scheint es vielleicht nicht ganz unberechtigt, die — wie oben nachgewiesen — in Muottas-Muraigl im Winter vorherrschenden Nordwinde als die die allgemeine Zirkulation über die Alpenkette zeitweise modifizierenden Bergwinde des Oberengadins anzusprechen (s. S. 13).

Der sommerliche Tagesgang der Windstärke unter dem Einfluß des Malojawindes, welcher übrigens nicht nur in lang anhaltenden

Schönwetterperioden, sondern auch an jedem geeigneten, auch einem Regentage unmittelbar folgenden Tage auftreten kann, ist nach obigem der pointierte Tagesgang der Ebene, er zeigt also starkes Anschwellen der Windstärke vom Morgen zum Mittag und Abschwellen zum Abend und zur Nacht. Die hier beistehende, aus den Juli/August-Beobachtungen abgeleitete kleine Tabelle spricht für sich selbst; zum Vergleich ist die aus den Werten des Oktober, in welchem der Malojawind nicht mehr auftritt, sich ergebende hinzugefügt.

Tagesgang der Windgeschwindigkeiten in Prozenten aller Beobachtungen.

Windgeschwindigkeit m/sec	Juli/August				Oktober			
	7 ¹ / ₂ ^a	1 ¹ / ₂ ^P	7 ¹ / ₂ ^P	total	7 ¹ / ₂ ^a	1 ¹ / ₂ ^P	7 ¹ / ₂ ^P	total
C	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	6,1	9,0	21,2
1 bis 2	15,1	6,0	12,0	33,1	15,1	9,0	6,1	30,2
3 " 6	12,0	12,0	18,1	42,1	6,1	18,2	18,2	42,5
7 " 10	3,2	12,0	3,2	18,4	6,1			6,1
11 " 14	3,2	3,2		6,4				
				100 Proz.				100 Proz.
Mittlere Windgeschwindigkeit m/sec	3,9	6,5	3,5		3,3	2,9	2,7	

Der gewaltige Auftrieb, welchen der schnell anstürmende Wind durch den Steilabhang von Muottas-Muraigl und die Hauswand, auf welche er senkrecht auffällt, erfuhr, reizten dazu, seine Stromlinien wenigstens roh zu verfolgen. Es ergaben sich bei etwa 7 m/sec Geschwindigkeit an ungestörter Stelle nur 1,8 m/sec in 1,5 m Höhe über der Plattform des Daches in 2 m Abstand von seinem, dem Wind senkrecht ausgesetzten Rand und 4 m/sec in 1,5 m Höhe in 4 m Abstand von ebendemselben Dachrande. Diese Zahlen geben einen kleinen Anhalt für den starken Windschutz, welchen kleine Unebenheiten des Bodens oder verstreute kleine Steine der Alpenflora zu gewähren imstande sind. Walter Mörikofer hat in der Zeit vom 15. August bis 29. September 1918 in Ergänzung von Prof. G. Senns botanischen Studien unter anderen meteorologischen Messungen Windgeschwindigkeiten auf Muottas-Muraigl bestimmt und zu dieser Zeit häufigeren und stärkeren Malojawind angetroffen, als er im Juli/August 1923 herrschte. Die mittleren täglichen Geschwindigkeiten von 6 bis 7 m/sec (nur am Tage, nicht des Nachts hat M. gemessen) decken sich freilich zufällig genau, aber Sturm-

stärken von 20 m/sec und mehr, bei denen man sich festhalten mußte, um nicht umgestoßen zu werden, kamen im Juli/August 1923 nicht vor. Die Windgeschwindigkeiten Mörkofers sind nicht direkt mittels zählenden Anemometers gemessen, sondern aus Angaben der Winddrucktafel mittels der sechsteiligen Beaufort-Skala entsprechenden mittleren Geschwindigkeiten in Metersekunden umgerechnet.

Über Form und Niederschläge ist vorläufig wenig auszusagen. Ihre genaue Messung bleibt der Zukunft vorbehalten, sie wird bei den lebhaften Luftbewegungen nicht ohne Schwierigkeiten sein. Die anhaltenden und starken Winde lassen es zu Nebelbildung oder stationärer Wolkenhaube wie häufig über Berggipfeln wohl kaum kommen, und die Sonnenscheindauer kann aus diesem Grunde und wegen des freieren Horizontes als mindestens gleich der der bevorzugtesten Stationen dieses Tales angesehen werden, dürfte also 2000 Stunden im Jahre ein wenig übersteigen.

Die winterliche Schneedecke erreicht nicht die in Davos gewohnte Höhe und ist infolge von Verwehungen ungleich verteilt, bleibt an den Abhängen meist unter einem Meter, sie dürfte wohl 7 Monate ohne Unterbrechung anhalten gegenüber 5 Monaten in Davos. Über Temperaturen der Erdbodenoberfläche wird in dem Abschnitt über physikalisch-physiologische Beobachtungen Einiges gesagt werden im Zusammenhang mit Temperaturen von Pflanzen und anderem.

In diesem Abschnitt sind aus einem freilich noch reichlich spärlichen und der Komplettierung noch sehr bedürftigen Material abzuleiten gesucht die für Muottas-Muraigl (2456 m Meereshöhe) geltenden normalen Mittelwerte der wesentlichsten meteorologischen Elemente sowie ihr Tages- und Jahresgang nebst Extremwerten, und es ist durch Vergleich der gefundenen Werte mit den für 900 und 2000 m tiefere Lagen (Davos und Zürich) geltenden nachgewiesen, daß die für die gesamte organische Natur entscheidenden Elemente der Lufttemperatur, der Lufttrockenheit und des Windes mit Aufstieg von der Davoser zur Muottas-Muraigl-Höhe reichlich ebenso schnell Extremwerten zustreben wie beim Aufstieg von Zürich nach Davos. Wie sich diese Werte summieren zu den für Physiologie und Therapie wichtigsten klimatischen Größen, nämlich den die notwendige Wärme- und Wasserproduktion bestimmenden „physiologischen Abkühlungs- und Austrocknungsgrößen“, wird im Abschnitt 5 betrachtet werden.

2. Strahlung.

Instrumentarium und Material.

Es wurde gemessen:

Die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung in Grammkalorien pro Quadratcentimeter und Minute mittels Michelsons Aktinometer Nr. 5100 und Nr. 15. Ersteres Instrument ist von der Temperatur unabhängig (Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 277), die Werte des letzteren sind an Hand einer Korrekturabelle umgerechnet, der Eichfaktor beider Instrumente wurde dauernd durch das Ångströmsche Kompensations-Pyrheliometer des Davoser Observatoriums kontrolliert. Beide Instrumente stammen aus der Moskauer Werkstatt Prof. Michelsons und sind in den Jahren 1908 und 1909 erbaut. Nachdem E. Stenz (*Études météorologiques et hydrographiques*, Heft 1, Warschau 1924) über eine Abhängigkeit der Angaben des Michelsonschen Aktinometers vom Luftdruck berichtet hatte, ist sogleich eine Vergleichsreihe zwischen dem Instrument Nr. 5100 und Ångströms Kompensations-Pyrheliometer auf Muottas-Muraigl in Ergänzung der großen Zahl in Davos vorgenommener durchgeführt; aus dieser vermag man eine solche Abhängigkeit nicht herauszulesen. Diese Angelegenheit wird noch des weiteren verfolgt. Vorläufig liegt kein Grund vor, an der Richtigkeit der hier gemeldeten Angaben der Michelsonschen Instrumente zu zweifeln. Die Davoser Pyrhelometerskala hat seit 1908 bis zur Gegenwart zweifellos so sicher gelegen wie nur irgend eine, denn das Prinzip, das Ångströmsche Kompensations-Pyrheliometer nur zu Kontrollzwecken, nicht zu laufenden Messungen zu benutzen, hat sich bestens bewährt. Die Beziehung zwischen Michelsons Aktinometer Nr. 5100 und Ångströms Kompensations-Pyrheliometer hat sich in 16 Jahren nicht merklich geändert, und das letztere Instrument ist innerhalb dieser Zeit dreimal kontrolliert, einmal am Potsdamer Observatorium und zweimal in Upsala.

Die Rot- + Ultrarotintensität der Sonnenstrahlung in $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$ mittels derselben Aktinometer unter 2 mm dickem Rotglas Schott F 4512. Die Durchlässigkeit dieses ist (Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 235ff.) aufs sorgsamste untersucht mittels eines Ultra-Spiegelspektrometers nach Rubens; die l. c. publizierte Kurve ist nach der kurzwelligeren Seite photometrisch noch vervollständigt und zeigt praktisch linearen Abfall zu Null zwischen 0,7 und 0,6 μ . Planimetrisch ausgewertet ergibt sich aus ihr für den im Mittel in der Sonnenstrahlung vorhandenen roten + ultraroten Spektralteil eine Durchlässigkeit von 85 Proz.; es ist daher durch Hinzuzählen von 17½ Proz. zu den gemessenen Werten die wahre, in der Sonnenstrahlung vorhandene Rot- + Ultrarotstrahlung errechnet und in die Tabellen eingeführt. Selbstverständlich wird je nach Sonnenhöhe und Wasserdampfgehalt der Atmosphäre diese Korrektur ein wenig um 17½ Proz. herum schwanken, aber im Rahmen der bei diesen Aktinometer- und Pyrhelometermessungen überhaupt erzielbaren

Genauigkeit ist diese Korrekturrechnung wohl erlaubt und zur Veranschaulichung der auf die verschiedenen Spektralteile entfallenden Intensitäten erwünscht. Zu dieser Korrekturrechnung ist freilich hinzuzufügen, daß — wie hier geschehen — eine genaue Auswertung der Durchlässigkeit eines jeden angewandten Filterexemplares notwendig ist, und es keineswegs erlaubt sein kann, auf die Durchlässigkeit jedes beliebigen von Schott ausgegebenen Filters F 4512 aus der l. c. gezeichneten Kurve zu schließen.

Der sichtbare Spektralteil der Sonnenstrahlung in $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$, roh abgeleitet aus der Differenz der gesamten und der roten + ultraroten Intensität.

Die von Sonne + Himmel, und auch vom Himmel allein, auf die Horizontalfläche fallende Intensität der Wärmestrahlung $< 3 \mu$ (also bis zum ultraroten Ende des Sonnenspektrums) mittels Ångströms Pyrheliometer in $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$.

Die nächtliche Ausstrahlung mittels Tulipan und, aus ihr sowie der Strahlung der schwarzen Fläche bei Lufttemperatur abgeleitet, die langwellige Wärmestrahlung des Himmels.

Gegen die Verwendung des Tulipan in der trockenen Atmosphäre von Muottas-Muraigl bestehen kaum Bedenken, nachdem die Konstanz der Beziehung Tulipan: Ångströms Pyrheliometer für die Davoser atmosphärischen Verhältnisse nachgewiesen ist (Monthly Weather Review, S. 349 und 350, Juni 1920; Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 313 und 314). Notwendig ist es, die Exposition des Instruments auf die Zeiten zu beschränken, in welchen die Sonne mindestens 6° unter dem Horizont steht.

Die ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung, und zwar neben der gesamten noch in einzelnen die auf den Spektralteil $> 320 \mu\mu$ und $< 320 \mu\mu$ entfallenden Einzelintensitäten, da ja der letztere Spektralteil mannigfache spezifische biologische Wirkungen ausübt. Die Trennung wurde vorgenommen mittels des Glasfilters, über dessen Durchlässigkeit (Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 323) berichtet worden ist. Zu den Messungen dienten zwei Cadmiumzellen, nämlich zeitweise die Davoser Standardzelle Cd_{II} (Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 6, 271ff., 1919; Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 319ff.; u. a. O.) und zeitweise die Cadmiumzelle Cd_I , welche gleich einer nicht unbedeutenden Zahl von Zellen verschiedener Observatorien durch Vergleichsmessungen an die Standardzelle angeschlossen worden ist.

Die von Sonne + Himmel, und auch vom Himmel allein, auf die Horizontalfläche fallenden Intensitäten der gesamten ultravioletten Strahlung mittels der soeben genannten Zellen. Stets wurde das vom Verfasser (Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 322 und 323) beschriebene elektrometrische Meßverfahren angewandt, doch sind zu Vergleichszwecken die Werte umgerechnet auf das bei der Standardzelle seit 1915 übliche galvanometrische Maß.

Die von einer 30° um den Zenit verlaufenden Himmelszone auf die Horizontalfläche fallende Intensität der ultravioletten Himmelsstrahlung in relativem Maß.

Die photochemische Ortshelligkeit, d. h. die Summen der von Sonne + Himmel auf die Horizontalfläche fallenden Strahlung, mittels des für meteorologische Zwecke aptierten Ederschen Graukeilphotometers dauernd registriert, ausgedrückt in relativen Lichtmengen der Ederschen Tabelle (Meteorol. Zeitschr. 1925, Märzheft).

Es liegen insgesamt vor:

32	Tagesreihen	der Gesamtintensität der Sonnenstrahlung,
26	„	„ Rot- + Ultrarotintensität der Sonnenstrahlung,
31	„	„ ultravioletten Intensität der Sonnenstrahlung,
14	„	„ kurzwelligen ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung von Sonne + Himmel,
21	„	„ ultravioletten Himmelsstrahlung,
38	„	„ photochemischen Ortshelligkeit,
32	„	„ Ausstrahlung.

Tabelliert sind (vgl. hierzu S. 90 bis 94) die Normalwerte, d. h. die bei wolkenlosem Himmel gefundenen Werte, soweit es das Material erlaubte:

1. Für den praktischen Gebrauch nach Tagesstunden, und zwar nach wirklicher Sonnenzeit. Zur Reduktion auf mitteleuropäische Zeit sind zu den in den Tabellen angegebenen Stundenzahlen hinzuzuzählen:

für die Periode 23. Juli bis 2. August 1923:	Differenz gegen 15° östlicher Länge $20' 30''$ + Zeitgleichung $6' 13''$ = $26' 43''$
für die Periode 2. bis 14. Oktober 1923:	Differenz gegen 15° östlicher Länge $20' 30''$ - Zeitgleichung $12' 20''$ = $8' 10''$
für die Periode 20. bis 27. Januar 1924:	Differenz gegen 15° östlicher Länge $20' 30''$ + Zeitgleichung $12' 1''$ = $32' 31''$
für die Periode 8. bis 13. März 1924:	Differenz gegen 15° östlicher Länge $20' 30''$ + Zeitgleichung $10' 15''$ = $30' 45''$
für die Periode 18. bis 19. Juni 1924:	Differenz gegen 15° östlicher Länge $20' 30''$ + Zeitgleichung $0' 55''$ = $21' 25''$

Beispielsweise gelten also die in den Tabellen für die Mittagszeit des Juli/August angegebenen Werte nicht für 12 Uhr, sondern für etwa 12 Uhr 27 Minuten.

2. Zur physikalischen Deutung der Durchlässigkeit der Atmosphäre für den gegebenen Ort und zwecks Vergleiches mit anderen

Orten sowie für die Ableitung des anschaulichen „Trübungs-faktors“ u. a. nach Sonnenhöhen, und zwar getrennt für Vormittag und Nachmittag.

3. Aus gleichen Gründen nach Luftmassen, wobei die in Zenitrichtung aufliegende Luftmasse = 1 gesetzt ist, auch wiederum getrennt für Vormittag und Nachmittag.

I. Sonnenstrahlung.

Sonnenscheindauer. Für das Strahlungsklima eines Ortes bestimmend ist in erster Linie die Sonnenscheindauer, denn sie entscheidet als „Häufigkeitsfaktor“ über die Quantität der vorhandenen Strahlung.

Die Sonnenscheindauer auf Muottas-Muraigl ist durch den natürlichen Horizont laut Fig. 3, S. 4, nur wenig und fast ausnahmslos in der frühen Morgenstunde vermindert. Wie eine genaue Durchrechnung gezeigt hat, verkürzt sich die mögliche Sonnenscheindauer in den diversen Beobachtungsperioden (bezogen auf ihren mittleren Tag) folgendermaßen:

Am 28. Juli	um 1 ^h 18'	auf 13 ^h 33'
„ 8. Oktober	„ 1 28	„ 9 43
„ 24. Januar	„ 1 22	„ 7 45
„ 11. März	„ 1 18	„ 10 10

also fast gleichmäßig stets um 1^h 20' pro Tag, und ein Blick auf die Fig. 3 zeigt, daß dies angenähert für sämtliche Tage des Jahres in gleicher Weise zutrifft. Im geschützten Davoser Hochtal beträgt am Observatorium dagegen die tägliche Einbuße an Sonnenstrahlung im Mittel 3 Stunden täglich, wechselnd mit der Jahreszeit von 2^h 29' bis 3^h 40', im Engadiner Hochtal dürfte auch an den sonnenreichsten Punkten die mögliche Sonnenscheindauer zwischen derjenigen von Muottas-Muraigl und Davos liegen.

Über die Abhängigkeit der Sonnenscheindauer von der Bewölkung kann zunächst mangels Zeichnungen eines Heliographen nicht mehr gesagt werden, als S. 18 schon geschehen ist; die wirkliche Sonnenscheindauer von Muottas-Muraigl dürfte aus den dort genannten Gründen auf mehr als 2000 Stunden jährlich zu schätzen sein, also ähnlich der der sonnenreichsten Orte der Schweiz.

Gesamtintensität der Sonnenstrahlung. Nach Tabelle 2a hat man auf Muottas-Muraigl zu allen Jahreszeiten zwischen 8 Uhr morgens und 4 Uhr nachmittags (im tiefsten Winter 9 Uhr morgens und 3 Uhr nachmittags) mit mittleren Intensitäten zu rechnen, die sich zwischen 1,30 und 1,55 Cal bewegen. Die auf die

einzelnen Tagesstunden entfallenden Werte wechseln im Laufe des Jahres nur wenig, mittags bleiben sie sich zu allen Jahreszeiten im Hochsommer wie im Hochwinter fast gleich (1,52 bis 1,54), ja an klaren, aber relativ feuchten Tagen des Hochsommers (Juni) liegen sie niedriger als im Hochwinter (Januar). Eine Depression um die Mittagszeit, wie sie sonst fast stets gefunden wird, tritt in keiner Jahreszeit hervor. Nur bei ganz niedriger Sonne (niedriger als 10^0) sinkt die Intensität unter 1 Cal. Die Tagesamplitude innerhalb der in praktischer Hinsicht fast allein interessierenden Tagesstunden von 8^p bis 4^a ist am größten im März (etwa 0,24), am kleinsten im Juli (0,18), also praktisch stets fast gleich, außer im tiefsten Winter, in dem sie innerhalb acht Tagesstunden sich noch ein wenig mehr ändert als im März innerhalb 10 Stunden. Die Vormittagswerte der Tabelle liegen im Sommer und Winter ein wenig niedriger, im Herbst und Frühjahr ein wenig höher als die Nachmittagswerte, diese kleinen Differenzen leiten sich aber, wie die Durchsicht der Einzelreihen lehrt, aus zufälligen Schwankungen der Witterung und Mittelbildung aus nicht stets ganz vollen Tagesreihen her, sind also nicht prinzipieller Natur. Als absolute Maxima J_{Max} der verschiedenen Perioden sind gefunden worden:

27. Juli 1923	1,564	bei	Sonnenhöhe	58,2 ⁰
12. Oktober 1923	1,529	„	„	35,9
24. Januar 1924	1,515	„	„	23,8
13. März 1924	1,565	„	„	40,2
18. Juni 1924	1,474	„	„	66,5

also wiederum bei nur kleinen Differenzen im März am größten, bei Sonnenhöchststand am kleinsten; das Hochwintermaximum hält zwischen beiden etwa die Mitte. Im Gegensatz zur Ebene hängt in dieser Meereshöhe und reinen Atmosphäre das Maximum keineswegs mehr vorzugsweise von der Sonnenhöhe ab, sondern von der (im Winter kleineren, im Sommer größeren) Entfernung der Sonne von der Erde und dem vom Winter zum Sommer ansteigenden Wasserdampfgehalt der Atmosphäre.

Die Summen der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlung, welche sich für die normalen (wolkenlosen) Tage aus Sonnenscheindauer und Intensität errechnen, sind in Tabelle 2a unter Q_{normal} aufgeführt und daneben unter $Q_{\text{hor.}}$ die auf die Horizontalfläche entfallenden Summen, welche sich aus Division der Q_{normal} -Werte durch den Sinus der zugehörigen Sonnenhöhe ergeben. Letztere steigern sich vom Winter über Frühjahr und Herbst, welche einander etwa gleich sind, zum Sommer im Verhältnis von 1 : 2 : 3,4.

Tabelle 2. Gesamtintensität

a) In Abhängigkeit

Zeit \ W. S. Z.	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	Mg
23. Juli bis 2. August 1923	1,250	1,357	1,429	1,488	1,516	1,536
2. bis 14. Oktober 1923 .		1,321	1,439	1,498	1,524	1,529
20. bis 27. Januar 1924 .			1,268	1,403	1,478	1,515
8. bis 13. März 1924 . .		1,307	1,445	1,510	1,540	1,544
18. bis 19. Juni 1924 . .		1,266	1,362	1,422	1,447	1,474

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

b) In Abhängigkeit

Zeit \ Sonnenhöhe	5 ⁰	10 ⁰	15 ⁰	20 ⁰	25 ⁰	30 ⁰
23. Juli bis 2. August 1923 {	0,750	1,045	1,123	1,210	1,275	1,322
			1,182	1,236	1,294	1,355
2. bis 14. Oktober 1923 . {	0,839	1,084	1,185	1,306	1,444	1,490
			1,220	1,327	1,394	1,459
20. bis 27. Januar 1924 . {	0,986	1,215	1,205	1,333	1,432	
			1,350	1,457		
8. bis 13. März 1924 . . {	0,799	1,043	1,068	1,263	1,438	1,482
			1,208	1,319	1,395	1,457
18. bis 19. Juni 1924 . . {	0,579	0,903				1,165
			1,083	1,186	1,247	1,308

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

c) In Abhängigkeit

Zeit \ Luftmasse	10,9	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
23. Juli bis 2. August 1923 {	0,765	0,804	0,858	0,922	1,005	1,081
2. bis 14. Oktober 1923 . {						1,216
						1,118
20. bis 27. Januar 1924 . {						1,236
						1,252
8. bis 13. März 1924 . . {	0,843	0,888	0,942	1,011	1,085	1,119
18. bis 19. Juni 1924 . . {						0,641	0,699	0,769	0,858	0,950

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

der Sonnenstrahlung $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$.

von der Tageszeit.

1P	2P	3P	4P	5P	6P	7P	J_{Maximum}	Q_{normal} g/cal	$Q_{\text{hor.}}$ g/cal
1,529	1,479	1,433	1,381	1,274	1,130		1,564	1161,5	685,9
1,519	1,473	1,387	1,237	0,897			1,529	817,3	373,7
1,497	1,430	1,284	0,979				1,515	649,1	198,3
1,529	1,489	1,403	1,256	0,919			1,565	835,8	396,5
1,474	1,453	1,424	1,371	1,270	1,122	0,731	1,474	1080,4	709,4

von der Sonnenhöhe.

35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	
1,372	1,408	1,438	1,477	1,502	1,520		
1,393	1,418	1,439	1,463	1,502	1,540		
1,514							
1,506							
1,529	1,550						
1,513	1,541						
1,236	1,304	1,339	1,391	1,414	1,440	1,449	
1,358	1,391	1,420	1,434	1,449	1,463		

absteigenden Ast.

von der Luftmasse.

4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,3	1,1
	1,147	1,195	1,252	1,322	1,419	1,477	
1,162	1,198	1,228	1,275	1,355	1,427	1,462	
1,291	1,331	1,378	1,428	1,490			
1,200	1,250	1,313	1,373	1,459			
1,315	1,360	1,416					
1,333	1,381	1,442					
1,234	1,290	1,351	1,418	1,482			
1,185	1,240	1,302	1,371	1,457			
				1,236	1,315	1,391	1,449
1,059	1,112	1,173	1,230	1,308	1,401	1,433	

absteigenden Ast.

Erst ein Vergleich mit den entsprechenden Werten anderer Orte orientiert über die Bedeutung dieser Zahlen. Zweckmäßig herangezogen werden, ähnlich wie in Teil I, Davos (1560 m), ferner (in Ermangelung von Zürich oder einem anderen ähnlich gelegenen Schweizer Orte nördlich der Alpen) Agra im Kanton Tessin oberhalb des Luganoer Sees in sonnenreicher günstiger Lage bei 565 m Meereshöhe sowie Potsdam (100 m).

In der Tabelle 3 sind für die genannten vier Orte zusammengestellt: Die Intensitätswerte zur Mittagszeit (J) sowie die während eines wolkenlosen Tages auf die Horizontalfläche fallenden Wärmesummen (Q) in Grammkalorien, und zwar stets der Reihe nach für die Perioden Juli/August, Oktober, Januar, März.

Tabelle 3.

Vergleich der Mittagsintensitäten und Wärmesummen der Sonnenstrahlung von Muottas-Muraigl und anderen Orten.

	J_{mittags}	$Q_{\text{hor.}}$
Muottas-Muraigl	1,536	686
	1,529	374
	1,515	198
	1,544	397
Davos	1,429	612
	1,447	286
	1,381	138
	1,487	359
Agra	1,242	530
	1,384	301
	1,325	174
	1,353	365
Potsdam	1,183	490
	1,167	216
	1,014	77
	1,121	262

Die Zahlen beziehen sich in jeder Rubrik der Reihe nach auf: Juli/August, Oktober, Januar, März.

Die Zunahmen der Intensitäten beim Aufstieg von der Ebene zu rund 500, 1500, 2500 m Höhe sind anhaltende und bedeutende, aber für die verschiedenen Jahreszeiten verschiedene,

im Sommer . . . 0,06 bzw. 0,18 bzw. 0,11, insgesamt 0,35 = 30 Proz.,
 „ Herbst. . . . 0,22 „ 0,06 „ 0,08, „ 0,36 = 30 „
 „ Winter 0,31 „ 0,06 „ 0,13, „ 0,50 = 50 „
 „ Frühjahr. . . . 0,23 „ 0,13 „ 0,06, „ 0,42 = 38 „

insgesamt im Winter rund 50 Proz., im Frühjahr 20 Proz. größer als im Sommer und Herbst. Im Jahresmittel scheint die klare Sonne in 2500 m Höhe um 37 Proz., zur ungünstigen Winterszeit sogar um 50 Proz. kräftiger als in der Ebene. Der größte Zuwachs tritt beim Übergang von der Ebene zur 500-m-Höhe ein, wozu freilich die Differenz der geographischen Breite Potsdam : Agra, rund 7°, mit beiträgt, und er ist hier im Sommer wesentlich (5 mal) kleiner als im Winter, was teilweise auf die Sonderlage von Agra (im Sommer vom Luganoer See aufsteigende, Schirmwirkung ausübende feuchte Luft) zurückzuführen ist. Der Aufstieg von 1500 zu 2500 m erbringt im Mittel etwa den gleichen Intensitätszuwachs wie der Aufstieg von 500 zu 1500 m, im Winter etwas mehr (infolge des im windgeschützten Hochtale zu manchen Tagesstunden sich einstellenden leichten Taldunstes), im Sommer etwas weniger. Das auf Muottas-Muraigl gefundene absolute Maximum deckt sich mit 1,565 fast vollkommen mit dem in Davos (freilich innerhalb 20 Jahren regelmäßiger Beobachtung) ermittelten.

Die Zunahme der Tagessummen (an wolkenlosen Tagen eingestrahlte Kalorienzahlen) von der Ebene zur Höhe hängt von der möglichen Sonnenscheindauer und daher von der Gestalt des natürlichen Horizontes ab und ist natürlich im windgeschützten Hochtal eine andere als auf einem Berggipfel oder Plateau. Dies muß bei Deutung der folgenden Zahlen berücksichtigt werden.

Zuwachs der Tagessummen beim Aufstieg von der Ebene zu rund 500, 1500 und 2500 m Höhe:

im Sommer . . .	41 bzw.	82 bzw.	73, insgesamt	196 =	40 Proz.
„ Herbst . . .	85 „	— 15 „	88, „	158 =	73 „
„ Winter . . .	97 „	— 36 „	60, „	121 =	158 „
„ Frühjahr. . .	103 „	— 6 „	38, „	135 =	52 „

Nach absoluten Kalorienzahlen wächst natürlich entsprechend den verschiedenen Tageslängen die gesamte Zunahme vom Winter zum Sommer, prozentual überragt dagegen der winterliche Zuwachs beim Aufstieg in die Höhe den der anderen Jahreszeiten, insbesondere des Sommers, ganz gewaltig. Gegenüber Potsdam erhält Muottas-Muraigl an einem klaren Wintertage 2½ mal größere Wärmezufuhr durch die Sonnenstrahlung. Im windgeschützten bergumrahmten Hochtal erreichen in den Jahreszeiten mit niedrigem Sonnenstande die täglichen Strahlungssummen trotz größerer Intensität nicht voll diejenigen eines in 500 m Höhe frei gelegenen Ortes. Gewaltig ist

daher der Sprung von 1500 zu 2500 m Höhe, nämlich rund 50 Proz. des Gesamtzuwachses zwischen Ebene und 2500 m Höhe im Winter und Herbst. In den Jahreszeiten mit hoch verlaufenden Tagesbogen der Sonne, also nur geringem Einfluß des natürlichen Horizontes, beträgt der Zuwachs auch der Strahlungssummen (ähnlich dem der Intensitäten) beim Aufstieg von 1500 zu 2500 m Höhe etwa ebensoviel wie beim Aufstieg von 500 zu 1500 m.

So eindrucksvoll diese auf die wolkenlosen Tage bezüglichen Vergleichszahlen auch sind, so ermöglichen sie doch nur eine beschränkte Vorstellung der wahren Verhältnisse, denn die heiteren Tage sind in der Ebene stets in der Minderzahl und verschwinden daselbst zu gewissen Zeiten des Winters fast ganz. Trotz seiner eingeschlossenen Tallage beträgt in Davos die Einstrahlung auf die Horizontalfläche in Wirklichkeit im Mittel aller Tage (unter Berücksichtigung der Bewölkung) im Winter dreimal soviel als in Potsdam, der Unterschied ist also im Mittel aller Tage viermal größer als an den seltenen wolkenlosen Tagen. Aus der Differenz der mittleren Intensitäten und der möglichen Sonnenscheindauer kann man, gleiche Bewölkungsziffer vorausgesetzt, die in Wirklichkeit auf die Horizontalfläche in Muottas-Muraigl von der Sonne einfallende Wärmesumme im Winter gut viermal höher schätzen als in Potsdam. Es bedarf regelmäßiger Registrierungen zur genauen Ermittlung dieser Zahlen.

Aus diesen Vergleichen der Intensitäten und Strahlungssummen der gesamten (spektralunzerlegt gemessenen) Sonnenstrahlung ergibt sich, daß der Anspruch des Strahlungsklimas beim Aufstieg von 1500 zu 2500 m Höhe reichlich um ebensoviel wächst als beim Aufstieg von 500 zu 1500 m.

Zur Beurteilung der Durchlässigkeit der Atmosphäre während der verschiedenen Jahreszeiten genügen die an der Erdoberfläche gemessenen Intensitäten nicht, denn sie hängen auch von dem Wechsel der Entfernung Sonne—Erde ab (die Erde steht bekanntlich im Winter der Sonne näher als im Sommer). Zur richtigen Beurteilung des Wechsels der Durchlässigkeit mit der Jahreszeit ist geeignet der Transmissionskoeffizient, welcher aus Tabelle 2c für Luftmasse 2 nach Reduktion der Werte auf mittlere Sonnenentfernung berechnet wurde (getrennt für Vormittag und Nachmittag) unter Benutzung des Solarkonstantenwertes 1,932, nicht reduziert auf Meeresniveau. Es ergaben sich folgende Werte des Transmissionskoeffizienten:

Tabelle 4.

Transmissionskoeffizienten der Gesamtstrahlung der Sonne für Luftmasse 2 (vgl. S. 38, 45, 60).

	Vormittag	Nachmittag
23. Juli bis 2. August 1923	0,840	0,850
2. bis 14. Oktober 1923	0,877	0,868
20. bis 27. Januar 1924	(0,854)	(0,865)
8. bis 13. März 1924	0,871	0,864
18. bis 19. Juni 1924	0,813	0,836

Die Januarzahlen konnten nur nach leichter Extrapolation errechnet werden, sie sind daher unsicher und in Klammern gesetzt.

Nur wenig wechselt hiernach in der Muottas-Muraigl-Höhe die Durchlässigkeit der Atmosphäre mit der Jahreszeit, sie erreicht im Oktober und März ein (auch für Januar vermutlich geltendes) sehr flaches Maximum, dagegen findet sich ein etwas tieferes Minimum an klaren, aber relativ feuchten Tagen des Hochsommers.

Die entsprechenden Werte (Mittel von Vor- und Nachmittag) der Transmissionskoeffizienten lauten für

	Davos	Agra	Potsdam
Juli/August	0,815	0,742	0,777
Oktober	0,840	0,817	0,813
Januar	0,866	0,840	0,830
März	0,840	0,797	0,808
Juni	0,807	0,767	0,789

sie sind weder untereinander noch mit den Werten von Muottas-Muraigl vergleichbar, da sie auf verschiedene Luftmassen bezogen und nicht auf Meeresebene reduziert sind, sie beweisen aber, daß bei ähnlichem Jahresgange die Schwankungen der Durchlässigkeit der Atmosphäre mit der Höhe abnehmen. Eine Ausnahme bildet der kleine Sommerwert Agras, welcher schon oben erklärt worden ist durch den im Sommer vom Luganoer See lebhaft aufsteigenden feuchten Luftstrom.

Zu Vergleichen besser geeignet bei großer Anschaulichkeit ist der von F. Linke (Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, Bd. X, Heft 2, 1922) eingeführte „Trübungsfaktor“, denn er besagt, wieviel ideale (also wasserdampf- und staubfreie) Atmosphären von 760 mm Luftdruck die gleiche Extinktion der Sonnenstrahlen bewirken würden wie die während der Beobachtung vorhandene trübe und feuchte Atmosphäre ohne irgend eine Voraussetzung

über die Art, wie die Schwächung der Strahlung in der Atmosphäre vor sich geht. Dieser Trübungsfaktor erweist sich, wie Linke nachgewiesen hat, im Gegensatz zum Transmissionskoeffizienten in hohem Maße unabhängig vom Sonnenstande. Aus Tabelle 2a er rechnen sich für Muottas-Muraigl folgende Stundenwerte des Trübungs faktors in den verschiedenen Jahreszeiten:

Tabelle 5.
Tagesgang des Trübungs faktors auf Muottas-Muraigl.

	7 ^a bis 8 ^a	8 ^a bis 9 ^a	9 ^a bis 10 ^a	10 ^a bis 11 ^a	11 ^a bis Mg	Mg bis 1 ^P	1 ^P bis 2 ^P
Juli/August .	1,93	1,85	2,01	1,92	1,88	1,80	1,81
Oktober . . .		1,36	1,45	1,50	1,56	1,53	1,58
Januar . . .			1,34	1,40	1,36	1,28	1,30
März . . .		1,51	1,52	1,55	1,59	1,63	1,64
Juni		2,58	2,46	2,35	2,33	2,14	2,04

	2 ^P bis 3 ^P	3 ^P bis 4 ^P	4 ^P bis 5 ^P	5 ^P bis 6 ^P	6 ^P bis 7 ^P	7 ^P bis 8 ^P	Mittel
Juli/August .	1,97	1,99	1,75	1,84	1,62		1,86
Oktober . . .	1,60	1,62	1,59	1,41			1,52
Januar . . .	1,32	1,30	1,12				1,30
März	1,63	1,67	1,66	1,55			1,59
Juni	2,17	2,13	2,06	2,03	1,89	1,90	2,17

Wenn man sich vergegenwärtigt, daß 1,00 der Trübungsgrad der idealen Atmosphäre von 760 mm ist, so springt ohne weiteres aus allen Zahlen der Tabelle eine stets (außer etwa an relativ feuchten Tagen des Hochsommers) außerordentlich große Durchlässigkeit der Atmosphäre in die Augen. Ausgesprochen ist das Maximum des Januars und das Minimum des Sommers; Herbst und Frühjahr halten die Mitte. Der Tagesgang verläuft in den verschiedenen Jahreszeiten verschieden: Während im Herbst und Frühjahr die Trübung bis etwa 3^h bis 4^h nachmittags zunimmt, was durch den normalen Auftrieb leicht erklärt wird, vermindert sie sich im Hochsommer und Hochwinter gerade umgekehrt vom Vormittag zum Nachmittag. Ersteres erklärt sich wohl durch Einsetzen des Maloja-windes, welcher die Luft mächtig durchmischt und dadurch homogener und strahlungsdurchlässiger macht.

Als Maximalwert der Durchlässigkeit ist im Hochwinter ge-messen worden:

am 24. Januar 1924, 4^P 6' bei 3,9^o Sonnenhöhe, 0,917 cal, $T = 1,087$.

Hier also war bis auf wenige Prozente die theoretisch größtmögliche Reinheit der Atmosphäre erreicht, bei welcher sie nur aus Luftmolekülen ohne jede Spur von Beimengung zusammengesetzt ist. Es folgten:

am 25. Januar 1924, 8^a 27' bei 9,9° Sonnenhöhe, 1,199 cal, $T = 1,269$,
 „ 25. „ 1924, 12^p 21' „ 24,2° „ „ 1,422 „ $T = 1,422$.

Die absolute Feuchtigkeit und Temperatur betrug am

24. Januar 1924	12 ^p 20'	0,74 mm	— 4,9°
	6 ^p 1'	0,51 „	— 6,5
25. Januar 1924	7 ^a 41'	0,13 „	— 6,8
	12 ^p 4'	0,30 „	— 5,8

Es ist interessant zu sehen, daß das Minimum des Trübungs-faktors nicht zusammenfällt mit dem ganz exorbitanten geringsten Feuchtigkeitsgrad (0,13 mm), sondern ihm vorausgeht, und daß er schon beträchtlich ansteigt zu der Zeit, da am Erdboden das Minimum der Feuchtigkeit gemessen wurde. Es kann ja auch unmöglich stets eine strenge Parallelität beider Werte bestehen, denn der Feuchtigkeitsgehalt auch der höheren Luftschichten entscheidet über den Trübungsgrad, und er kann von dem der unteren Luftschichten eventuell wesentlich abweichen. So wohl auch im vorliegenden Falle, wo unter dem Einfluß einer Teildepression über der südlichen Nordsee der Druck über Zentraleuropa ein wenig abgenommen hatte und eine in den Morgenstunden des 25. Januar durch Zentralfrankreich gehende Böenlinie vorzudringen begann gegen die Schweiz.

Weitgehend parallel mit dem Trübungs-faktor gehen Himmelsfarbe und im besonderen zarteste Aureolenerscheinungen um die Sonne (auf beides wird erst in Abschnitt 4 eingegangen werden). Nur im Januar war von letzteren und von Tyndalleffekten absolut nichts wahrnehmbar, wie bereits in der Wetterbeschreibung S. 7 hervorgehoben worden ist.

Es lohnt sich, den Minimalwert des Trübungs-faktors von 1,087 noch in Verbindung zu setzen zu dem Standort, an dem er gemessen wurde. Dieser liegt ja in 2456 m Meereshöhe, über ihm liegt nur noch der 0,742te Teil der 760 mm (Quecksilber) schweren Atmosphäre, welche als Einheit angenommen ist, es übte also zur Zeit der Messung nur der $(1,087 \times 0,742 =)$ 0,807te Teil einer idealen Atmosphäre strahlungsschwächende Wirkung aus.

In der folgenden kleinen Tabelle 6 sind die Mittelwerte der in Muottas-Muragl in vier Beobachtungsperioden gefundenen mittleren Trübungs-faktoren vergleichsweise zusammengestellt mit den entsprechenden von Davos, Agra und Potsdam, und zwar 1. wie

gewohnt bezogen auf eine ideale Atmosphäre im Gewicht von 760 mm (Quecksilber), 2. bezogen auf eine ideale Atmosphäre im Gewicht der über diesen Orten lagernden Atmosphären:

Tabelle 6.
Jahreszeitenmittel des Trübungsfaktors.

	Muottas-Muraigl	Davos	Agra	Potsdam
1. Bezogen auf das Atmosphärgewicht von 760 mm.				
Juli/August	1,86	2,11	2,84	2,75
Oktober	1,52	1,74	1,84	2,35
Januar	1,30	1,49	1,60	1,83
März	1,59	1,84	2,19	2,22
2. Bezogen auf das Atmosphärgewicht des Beobachtungsortes.				
Juli/August	1,38	1,75	2,65	2,71
Oktober	1,13	1,44	1,71	2,32
Januar	0,96	1,24	1,49	1,81
März	1,18	1,53	2,04	2,19

Die zu 2. aufgeführten, unmittelbar miteinander vergleichbaren Zahlen stellen außerordentlich wichtige strahlungsklimatische Konstanten dar, denn sie sagen in jedem Falle aus, wieviel idealen, ausschließlich aus Luftgasen bestehenden Atmosphären die in Wirklichkeit über dem Beobachtungsorte liegende Atmosphäre entspricht (bestimmt durch die Durchlässigkeit für Sonnenstrahlung).

Bei fast gleichem Jahresgange (Minimum Winter, Maximum Sommer) übertrifft hiernach die Muottas-Muraigl-Atmosphäre zu allen Jahreszeiten fast gleichmäßig viel die der anderen Orte an Durchlässigkeitsvermögen, nämlich

Davos um 15 Proz.,
Agra „ 35 „
Potsdam „ 46 „

und ihre wirkliche Durchlässigkeit beträgt in Muottas-Muraigl

28 Proz. mehr als in Davos,
70 „ „ „ „ Agra,
94 „ „ „ „ Potsdam.

Man kann nun mit Linke noch weiterhin versuchen, den Trübungsfaktor zu zerlegen in seine Einzelkomponenten. Die Schwächung der durchfallenden Sonnenstrahlung ist ja auf drei Ursachen zurückzuführen: 1. die Zerstreuung an den Luftmolekülen der reinen Luftgase, 2. die selektive Absorption, hauptsächlich durch Wasserdampf, 3. die Reflexion an in der Luft suspendierten

Staub- und Kondensationspartikeln. Die erste dieser Größen, die Zerstreuung an den Molekülen einer 760 mm (Quecksilber) schweren, aus reinen Luftgasen bestehenden Atmosphäre ist gemäß der Definition des Trübungs-faktors gleich 1, und die Absorption durch Wasserdampf ist ableitbar aus den Beobachtungsdaten selbst, denn bei gegebener Luftmasse liegen die in einem Koordinatensystem einander zugeordneten Werte des Feuchtigkeitsgehaltes (in Millimetern Dampfdruck) und des Trübungs-faktors auf einer geraden Linie, und man kann somit die Zunahme des Trübungs-faktors pro 1 mm Feuchtigkeit für jede Luftmasse errechnen. Subtrahiert man nun die beiden auf molekulare Zerstreuung durch die Luftgase und auf die Absorption durch den Wasserdampf entfallenden Anteile vom Gesamtbetrage des Trübungs-faktors, so erhält man auch den vom suspendierten Staub und Kondensationsprodukten (kurz bezeichnet mit „Dunst“) reflektierten Teil. Auf diese Weise findet man:

Tabelle 7.

Anteil der drei trübenden Wirkungen am Trübungs-faktor auf Muottas-Muraigl.

	Juli/August	Oktober	Januar	März
Diffuse Zerstreuung an den Molekülen . . .	1,00 (1,00)	1,00 (1,00)	1,00 (1,00)	1,00 (1,00)
Absorption durch Wasserdampf	0,49 (0,29)	0,33 (0,20)	0,09 (0,12)	0,21 (0,15)
Dunst	0,37 (1,33)	0,13 (0,46)	0,20 (0,26)	0,36 (1,35)
Trübungs-faktor	1,86 (2,62)	1,46 (1,66)	1,29 (1,38)	1,57 (2,50)

In Klammern sind die auf das Taunus-Observatorium (820 m Meereshöhe) bezüglichen Parallelzahlen hinzugefügt. Man erkennt, daß insbesondere der Dunstanteil in der Hochgebirgshöhe noch wesentlich kleiner ist als im Mittelgebirge, und daß bemerkenswerterweise dieser Anteil an beiden Orten ein Maximum außer im Sommer, wo es zu erwarten war, im März erreicht.

Rot- + Ultrarotintensität der Sonnenstrahlung. Der unter dem Glasfilter Schott F 4512 gemessene rote + ultrarote Spektralteil der Sonne enthält infolge seiner großen Ausdehnung von etwa 650 bis 2500 $\mu\mu$ fünfmal soviel Wellenlängen wie das sichtbare Spektrum und etwa achtzehnmal soviel wie das ultraviolette. Dies bringt es mit sich, daß er den Hauptteil der gesamten Sonnenenergie umfaßt, obwohl das Energiemaximum der Sonne nicht in ihn fällt, außer bei etwa ganz tiefstehender Sonne.

Tabelle 8. Rot- + Ultrarotintensität

a) In Abhängigkeit

Zeit \ W. S. Z.	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	Mg
23. Juli bis 2. August 1923	0,833	0,882	0,911	0,954	0,975	0,985
2. bis 14. Oktober 1923			0,943	0,980	1,029	1,059
20. bis 27. Januar 1924		0,927	0,987	1,012	1,018	1,020
8. bis 13. März 1924		0,832	0,868	0,896	0,911	0,926

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

b) In Abhängigkeit

Zeit \ Sonnenhöhe	5 ^o	10 ^o	15 ^o	20 ^o	25 ^o	30 ^o
23. Juli bis 2. August 1923	0,616	0,785	0,781	0,798	0,850	0,870
2. bis 14. Oktober 1923			0,795	0,833	0,868	0,897
20. bis 27. Januar 1924	0,792	0,906	0,932	0,962	0,986	1,006
8. bis 13. März 1924	0,818	0,925	0,939	0,983		
18. bis 19. Juni 1924	0,679	0,818	0,919	0,956	0,956	0,985
	0,509	0,821	0,891	0,926	0,858	0,785
		0,699	0,788	0,834		0,879

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

c) In Abhängigkeit

Zeit \ Luftmasse	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
23. Juli bis 2. August 1923		0,646	0,678	0,714	0,763	0,788
2. bis 14. Oktober 1923						
20. bis 27. Januar 1924		0,841	0,856	0,895	0,934	0,939
8. bis 13. März 1924						0,705	0,730	0,761	0,801	0,841
18. bis 19. Juni 1924		0,545	0,579	0,618	0,674	0,723

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

der Sonnenstrahlung $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$.

von der Tageszeit.

1 ^P	2 ^P	3 ^P	4 ^P	5 ^P	6 ^P	7 ^P	J_{Maximum}	Q_{normal} gcal	$Q_{\text{hor.}}$ gcal
0,975	0,947	0,920	0,904	0,845	0,792		1,014	740	437
1,043	1,000	0,961	0,811				1,040	455	139
1,019	0,999	0,961	0,906	0,748			1,036	586	278
0,940	0,926	0,905	0,893	0,865	0,804	0,596	0,915	740	486

von der Sonnenhöhe.

35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	
0,887	0,899	0,917	0,945	0,968	0,976		
0,905	0,918	0,924	0,938	0,960	0,979		
1,023	1,017						
1,015	1,036						
0,815	0,847	0,855	0,868	0,891	0,912	0,908	
0,889	0,894	0,899	0,909	0,922	0,933	0,942	

absteigenden Ast.

von der Luftmasse.

4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,3	1,1
0,794	0,786	0,795	0,834	0,870	0,906	0,947	
	0,807	0,826	0,858	0,897	0,918	0,938	
0,955	0,966	0,986					
0,968	0,980	1,006					
0,901	0,929	0,952	0,976	1,006			
0,881	0,901	0,920	0,947	0,985			
				0,785	0,852	0,872	0,908
0,774	0,800	0,825	0,851	0,879	0,895	0,908	9,941

absteigenden Ast.

Tabelle 9. Verhältnis $\frac{\text{Rot- + Ultrarot-}}{\text{Gesamt-}}$ Strahlung in Abhängigkeit

Zeit	Sonnenhöhe				
	5 ⁰	10 ⁰	15 ⁰	20 ⁰	25 ⁰
23. Juli bis 2. August 1923 . . . {	0,821	0,751	0,696	0,659	0,666
2. bis 14. Oktober 1923 . . . {			0,673	0,674	0,671
20. bis 27. Januar 1924 . . . {	0,827	0,774	0,720	0,692	0,686
8. bis 13. März 1924 {		0,784	0,716	0,696	
18. bis 19. Juni 1924 {	0,851	0,766	0,728	0,700	0,686
		0,787	0,738	0,701	
	0,879	0,774	0,729	0,704	0,687

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

In Tabelle 8 sind (analog Tabelle 2) die Rotintensitäten der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlung der Reihe nach unter a), b), c) nach Tagesstunden, Sonnenhöhen und Luftmassen, für Vor- und Nachmittag getrennt, gesammelt (für die Tagesstunden gilt das S. 21 Gesagte). Hinzugefügt sind auch wiederum die Maxima der Intensitäten ($J_{\text{Max.}}$) und die auf die senkrechte und horizontale Fläche an wolkenlosen Tagen fallenden Summen (Q_{normal} und $Q_{\text{hor.}}$) der Rotstrahlung in Grammkalorien. Tabelle 9 enthält die Verhältniszahlen Rot/Gesamt nach Sonnenhöhen geordnet. Aus den S. 19/20 angegebenen Gründen wurde es für erlaubt gehalten, die hinter dem Filter gemessenen Größen durch Hinzurechnung von 17½ Proz. als wahre, in der Sonnenstrahlung enthaltene Rot- + Ultrarotwerte in die Tabellen (auch in die Tabelle 9) einzuführen. Leider ist die Oktoberperiode bei diesen Messungen ausgefallen, da das Rotglas anderwärts benötigt wurde.

Nach Tabelle 9 beträgt der Rotgehalt der Sonnenstrahlung nach rohem Überschlag zwei Drittel der gesamten Sonnenstrahlung, er steigt, wie erwartet, in allen Jahreszeiten mit sinkender Sonne, aber zwischen 60 und 20⁰ nur sehr langsam, schnell erst unterhalb 15 bis 10⁰. Vor- und Nachmittagswerte unterscheiden sich in keiner Jahreszeit, das Maximum fällt in den Winter (März und Januar sind sich sehr ähnlich), das Minimum in den Juli/August, doch sind die Unterschiede recht gering. Der Wasserdampf, welcher, wie vom Verfasser schon 1919¹⁾ auf Grund seiner Davoser Messungen hervor-

¹⁾ Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 6, 275; Die Wissenschaft 63, 49 und 50 (Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges. in Braunschweig).

von der Sonnenhöhe (korrigiert für Absorption durch das Filter).

30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
0,658 0,661	0,646 0,650	0,639 0,647	0,638 0,642	0,639 0,640	0,645 0,639	0,643 0,636	
0,679 0,676	0,667 0,671	0,656 0,667					
0,673 0,672	0,660 0,656	0,650 0,643	0,639 0,633	0,624 0,635	0,630 0,637	0,635 0,638	0,626 0,626

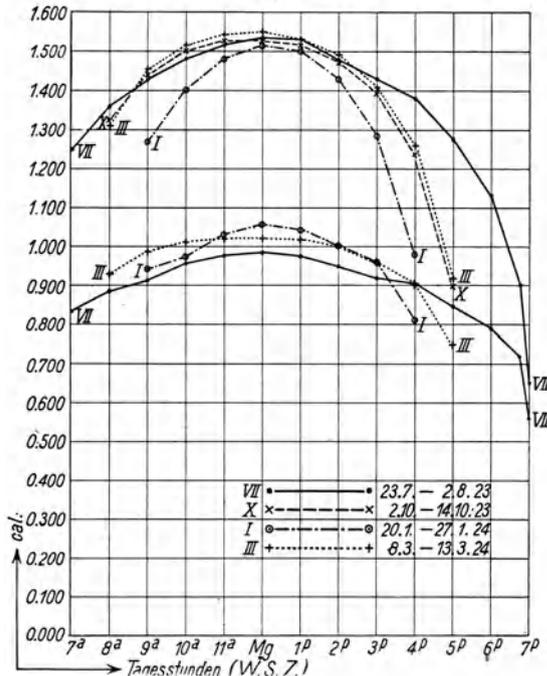
gehoben ist, den Jahres- und Tagesgang des ultraroten Spektralteiles im strikten Gegensatz zum kurzwelligen im wesentlichen bestimmt, ist in der Muottas-Muraigl-Höhe schon so gering und schwankt so wenig, daß sein Einfluß sich fast nur bei großen, von der Sonne durchstrahlten Luftmassen geltend macht, bei höherem Stande ist die Sonne auch für das Auge stets gleichmäßig gelblich-weiß.

Das Tagesmaximum der Rotintensität (Tabelle 8a) fällt (wie bei der Gesamtintensität) zu allen Jahreszeiten auf die Mittagsstunde, es fehlt also ein merklicher, die Strahlung herabsetzender Auftrieb; Vor- und Nachmittag verlaufen (wie bei der Gesamtstrahlung) im allgemeinen symmetrisch. Aus Fig. 4, welche den Tagesgang der gesamten und der Rotstrahlung für die verschiedenen Beobachtungsperioden in Kurvenform darstellt, ergibt sich auf den ersten Blick, daß die Rotstrahlung gleichmäßiger verläuft als die Gesamtstrahlung, sich langsamer während des Tages ändert. Die Amplitude beträgt im Winter zwischen 9^a und Mittag für Rot 13 Proz., für gesamt 19 Proz., für die Differenz beider (welche etwa der Helligkeit entspricht) 38 Proz.; in den anderen Jahreszeiten sind die Amplituden wesentlich kleiner, halten aber stets in den verschiedenen Spektralteilen dieselbe Reihenfolge ein. Ferner erkennt man aus der Figur — was des Interesses wahrlich nicht entbehrt —, daß die Rotstrahlung ihren höchsten Absolutwert während der Mittagsstunden (11^a bis 2^p) des Winters erreicht; die Winterkurve, welche für Gesamtstrahlung am niedrigsten liegt, übersteigt für Rotstrahlung zu vielen Tagesstunden alle anderen, und fast genau umgekehrt verhält sich die Sommerkurve.

Die Abhängigkeit der Logarithmen der Rotintensitäten von der Luftmasse (Tabelle 8c) ist zu allen Jahreszeiten befriedigend linear; aus ihnen errechnen sich folgende Werte der Transmissionskoeffizienten:

für Juli/August	0,952	gegenüber für gesamt	0,845	(s. S. 29)
„ Januar	0,970	„ „ „	(0,860)	
„ März	0,955	„ „ „	0,867	

Fig. 4.



Tagesgang der Gesamtstrahlung (obere Kurvenschar) und Rotstrahlung (untere Schar) in $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$.

Durch Extrapolation auf Luftmasse 0 ergibt sich hieraus ein mittlerer Wert der Solarkonstante für den roten + ultraroten Spektralteil von 1,068¹⁾.

¹⁾ Vor Abschluß dieser Arbeit erschienen von P. Götz (Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 477, und Monographie „Das Strahlungsklima von Arosa“. Berlin, J. Springer, 1926) und von W. Milch (Gerlands Beitr. z. Geophys. 1927, S. 66 bis 107) Ableitungen von Trübungsfaktoren ge-

Als Maximalwert ist 1,040 gemessen worden, und zwar an dem schon S. 30/31 besprochenen Tage exorbitanter Trockenheit, dem 24. Januar 1924, 11^a 17' bei 23,2^o Sonnenhöhe. Diesem Werte entspricht, Richtigkeit der Solarkonstante 1,068 vorausgesetzt, ein Transmissionskoeffizient 0,989. Die weißeste Sonne kleinsten Rotgehaltes (0,621) fand sich bei 60^o Sonnenhöhe am 1. August 1923 um 11^a 20' und bei 66,5^o Sonnenhöhe am 18. Juni 1924 um 12^p 10' bei Cumuli führendem Himmel.

Die auf die Horizontalfläche entfallenden Tagessummen (Grammkalorien) der Rotstrahlung und der Gesamtstrahlung verhalten sich an wolkenlosen Tagen im

Juli/August	wie	437 : 686,	also mittlerer Rotgehalt	0,637
Januar	„	139 : 198,	„	0,702
März	„	278 : 397,	„	0,699

In Tabelle 10 sind die in Muottas-Muraigl im Hochsommer und Hochwinter gefundenen Rotgehalte und Rotintensitäten der Sonnenstrahlung wiederum verglichen mit den in Davos, Agra und Potsdam

trennter Spektralteile, welche sie auf verschiedenen Wegen zur Bestimmung eines Wertes der Solarkonstante des roten + ultraroten Spektralteils führte. Götz errechnet für sie den Wert 1,135, Milch 0,893 (gegenüber 1,068, abgeleitet aus direkten Messungen auf Muottas-Muraigl). Die gewaltige Diskrepanz klärt sich nur zu bescheidenem Teile auf durch die Überbewertung der Durchlässigkeit des Rotfilters durch Götz (er rechnet 20 statt 17¹/₂ Proz. zu den gemessenen Rotwerten hinzu), sie muß einen tieferen Grund haben, und man wird ihn in den nicht ganz geringen Bedenken suchen müssen, die man gegen die Ableitung und den Gebrauch des Trübungs-faktors geltend machen kann, als da sind:

Voraussetzung der Richtigkeit und Allgemeingültigkeit von Abbots Transmissionskoeffizienten für trockene Luft.

Wohlgelungener Ausgleich der zur Ableitung der Solarkonstante aufgenommenen Spektrogramme im Bereich der Wasserdampfbanden.

Nichtberücksichtigung der selektiven Absorption durch den (wechselnd großen) Kohlensäure- und Ozongehalt der Luft.

Bedenken gegen Übertragung des Trübungs-faktors von Ort zu Ort, wie sie Otto Hölper (Zeitschr. f. Geophys. 1924, S. 253) in die Worte kleidet: „Der Vergleich der Trübungs-faktoren verschiedener Beobachtungsorte untereinander hat eine weit weniger einfache Bedeutung als die des Vergleichs bloßer Zahlengrößen. Die Schwankungen der Trübungs-faktoren an einem bestimmten Beobachtungsorte sind durch die Beziehung auf eine diesem eigentümliche Einheit denen eines anderen Beobachtungsortes nicht kommensurabel“.

Tabelle 10.

Vergleich der Rotintensitäten und des Rotgehaltes der Sonnenstrahlung von Muottas-Muraigl und anderen Orten.

		Rotintensitäten $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$				Rotgehalt $\left(\frac{\text{Rot} + \text{Ultrarot}}{\text{gesamt}}\right)$			
Sonnenhöhen		60°	40°	20°	10°	60°	40°	20°	10°
Zeit									
Juli/August (Sommer).									
Muottas-Muraigl . . .		0,978	0,909	0,816	0,785	0,639	0,643	0,666	0,751
Davos		0,896	0,870	0,816	0,821	0,646	0,661	0,705	0,761
Agra		0,752	0,711	0,584	0,450	0,614	0,638	0,701	0,785
Potsdam		(0,753)	0,719	0,602	0,429	0,646	0,666	0,746	0,844
Januar (Winter).									
Muottas-Muraigl . . .				0,973	0,916			0,694	0,779
Davos				0,972	0,851			0,717	0,810
Agra				0,851	0,732			0,687	0,744
Potsdam				0,670	0,517			0,765	0,831
Süd-Passat (April) . .			0,707	0,660			0,601	0,671	
Süd-Subtropen (April)			0,810	0,723			0,639	0,704	
Nord-Passat (Juni) . .		0,780	0,743	0,610		0,645	0,672	0,735	

Feuchte Tropen, Sonnenhöhe 90°. Rotintensität 0,702. Rotgehalt 0,580.

gefundenen (also rund Höhenstufen von 2500 : 1500 : 500 : 0 m Meereshöhe). Hinzugefügt sind noch die von P. Perlewitz während seiner Reise nach dem La Plata auf dem Atlantik im April 1924 in der Süd-Passat- und Süd-Subtropen-Zone und im Juni in der Nord-Passat-Zone gemessenen Werte (Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 108 bis 111) sowie die von L. Gorczynski im Meeresniveau bei Bangkok und auf dem Indischen Ozean im Mai bis Juli 1923 bei annähernd Zenitstand der Sonne gesammelten¹⁾. Alle Werte sind reduziert auf wahren Rotgehalt der Sonnenstrahlung und können (bis auf Gorczynskis Werte) unmittelbar miteinander verglichen werden, denn die in Muottas-Muraigl, Davos, Agra und auf dem Atlantik benutzten Rotfilter waren identisch und das Potsdamer Filter durch Parallelmessungen²⁾ an dies Filter angeschlossen. Gorczynski hat ein Filter gleicher Provenienz und Fabriknummer (Schott F 4512) von 4 mm Stärke benutzt und seine Durchlässigkeit analog der (Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 309) vom Verfasser erstmals durch-

¹⁾ Wiadomosci Meteorologicznych r. 1923.

²⁾ Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 309.

geführten Rechnung berücksichtigt, welche sich deckt mit der späterhin von ihm (Meteorol. Zeitschr. 1926, S. 344) genauer spezifizierten.

Der Rotgehalt nimmt hiernach, wie zu erwarten war, mit dem Aufstieg vom Meeresniveau ab, weil in der Höhe die kurzwelligere Strahlung weniger zerstreut wird als in der Ebene. Eine Ausnahme macht gemeiniglich nur Agra, wo der Rotgehalt fast dauernd außergewöhnlich niedrig bleibt. Da die Luft hier keineswegs besonders feucht ist, muß man wohl die Deutung in besonders reiner, am Südfuße der Alpen rege absinkender Luft suchen. Das Strahlungsklima Agras hat nach Süring von September bis mindestens Ende März durchaus Gebirgscharakter, etwa einer Höhenlage von 1400 m entsprechend.

Schwankungen des Rotgehaltes der Sonnenstrahlung erfolgen, wie schon Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 110 betont, mehr unter dem Wechsel des Wasserdampfgehaltes der Luft infolge Absorption als unter dem Wechsel der Meereshöhe infolge molekularer Zerstreuung. Daher findet sich in der Nord-Passat-Zone wohl ein ähnlicher Rotgehalt wie in Potsdam, dagegen in der wasserdampfreichen Süd-Passat-Zone und, im Extrem, in den feuchten Tropen ein weit geringerer Rotgehalt als in der Hochgebirgshöhe.

Die Rotintensitäten nehmen, den Gesamtintensitäten entsprechend, mit der Höhe dauernd zu, trotz kleiner Abnahme des Rotgehaltes, mit einziger Ausnahme von Agra, in welchem sich der geringe Rotgehalt der Sonnenstrahlung derart auswirkt, daß die Rotintensitäten des Sommers denen von Potsdam fast gleichbleiben. Der reiche Wasserdampfgehalt der Süd-Passat-Zone und noch mehr der feuchten Tropen drückt dagegen die Rotintensität weit herab, dergestalt, daß sie unter dem Äquator selbst bei Zenitsonne nicht größer ist als bei 40° Sonnenhöhe in mittleren Breiten in der Ebene und fast 30 Proz. geringer als auf der Muottas-Muraigl-Höhe bei hohem Sonnenstande. Also die Rotstrahlung der Sonne ist es wahrlich nicht, welche dem Europäer in den feuchten Tropen gefährlich wird, und die Gesamtstrahlung von Sonne + Himmel auch nicht, wie mittels des Graukeilphotometers während etlicher Jahre durchgeführte Parallelmessungen (Meteorol. Zeitschr. 1927, Oktober) bewiesen haben. Beim Aufstieg von Davos nach Muottas-Muraigl (etwa 1500 zu 2500 m) ändern sich, wie die Tabelle beweist, Rotgehalt und Rotintensität nur ganz unbedeutend, was mit Rücksicht auf den Hauptzweck dieser Studie schließlich noch hervorgehoben sei.

Tabelle 11. Helligkeit der Sonnenstrahlung

a) In Abhängigkeit

Zeit \ W. S. Z.	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	Mg
23. Juli bis 2. August 1923	0,417	0,475	0,518	0,534	0,541	0,551
2. bis 14. Oktober 1923						
20. bis 27. Januar 1924			0,325	0,423	0,449	0,456
8. bis 13. März 1924		0,380	0,458	0,498	0,522	0,524
18. bis 19. Juni 1924		0,434	0,494	0,526	0,536	0,548

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

b) In Abhängigkeit

Zeit \ Sonnenhöhe	5°	10°	15°	20°	25°	30°
23. Juli bis 2. August 1923	0,134	0,260	0,342	0,412	0,425	0,452
2. bis 14. Oktober 1923			0,387	0,403	0,426	0,458
20. bis 27. Januar 1924	0,194	0,299	0,401	0,470	0,474	
8. bis 13. März 1924		0,290	0,411	0,410		
18. bis 19. Juni 1924	0,120	0,250	0,344	0,410	0,452	0,476
		0,222	0,317	0,393	0,439	0,472
	0,070	0,204	0,295	0,352	0,389	0,380
						0,429

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

c) In Abhängigkeit

Zeit \ Luftmasse	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
23. Juli bis 2. August 1923		0,158	0,180	0,208	0,242	0,293
2. bis 14. Oktober 1923						
20. bis 27. Januar 1924		0,189	0,216	0,227	0,251	0,297
8. bis 13. März 1924						0,294
18. bis 19. Juni 1924		0,138	0,158	0,181	0,210	0,278
						0,244
		0,096	0,120	0,151	0,184	0,227

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

(Beleuchtungsstärke der zu den Strahlen senkrechten Fläche $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$).

von der Tageszeit.

1P	2P	3P	4P	5P	6P	7P	Q_{normal} gcal	$Q_{\text{hor.}}$ gcal
0,554	0,532	0,513	0,477	0,429	0,338		398	249
0,454	0,430	0,323	0,168				176	59
0,510	0,490	0,442	0,350	0,171			265	119
0,534	0,527	0,519	0,478	0,405	0,318	0,135	390	256

von der Sonnenhöhe.

35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	
0,485	0,509	0,521	0,532	0,534	0,544		
0,488	0,500	0,515	0,525	0,542	0,561		
0,506	0,533						
0,498	0,505						
0,421	0,457	0,484	0,523	0,523	0,528	0,541	
0,469	0,497	0,521	0,525	0,527	0,530	0,562	

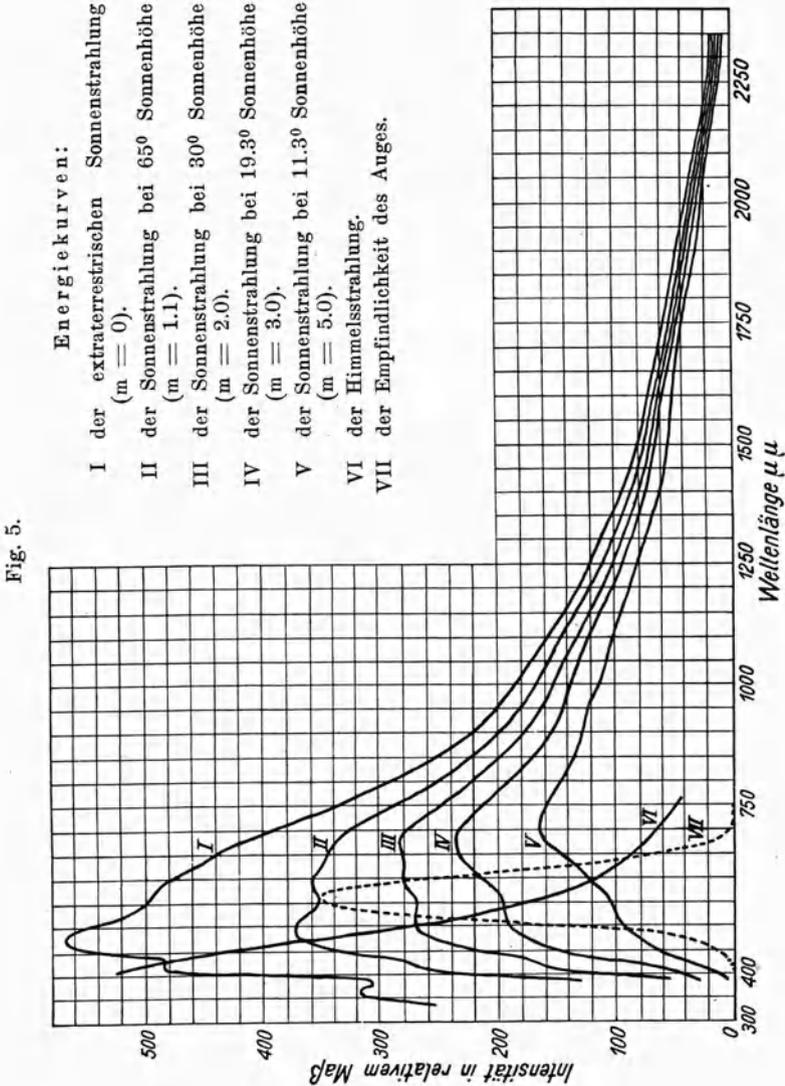
absteigenden Ast.

von der Luftmasse.

4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,3	1,1
0,368	0,361	0,400	0,418	0,452	0,513	0,530	
	0,391	0,402	0,417	0,458	0,509	0,524	
0,360	0,394	0,430					
0,365	0,401	0,436					
0,333	0,361	0,399	0,442	0,476			
0,304	0,339	0,382	0,424	0,472			
				0,451	0,463	0,519	0,541
0,285	0,312	0,348	0,379	0,429	0,506	0,525	

absteigenden Ast.

Die Helligkeit der Sonne. Die Differenz von Gesamtintensität und roter + ultraroter Intensität wird man annähernd identifizieren können mit der physiologisch empfundenen Hellig-



keit, worauf vom Verfasser schon (Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 110) hingewiesen worden ist. Zwar greift das bis rund 650 μm durchlässige Rotfilter ein wenig in den sichtbaren Spektralteil hinein,

so daß bei solchen Differenzverfahren zu wenig, und zwar, wie die von H. H. Kimball in der Monthly Weather Review 1924, S. 473 publizierte, hier wiedergegebene (auch die Empfindlichkeitskurve des Auges enthaltende) Fig. 5 zeigt, kaum 3 Proz. zu wenig Helligkeit gemessen wird; dieser Fehler wird aber kompensiert, wie die Figur gleichzeitig beweist, durch im Blau und Violett reichere Intensität der Sonnenstrahlung, während die Maxima der Empfindlichkeit des Auges und des Sonnenspektrums sich bei Sonnenhöhen von 30 bis 60° annähernd decken¹⁾.

In Tabelle 11 sind analog den Tabellen 2 und 8 der Reihe nach unter a), b), c) die Helligkeiten der normal auffallenden Sonnenstrahlung nach Tagesstunden, Sonnenhöhen und Luftmassen, für Vor- und Nachmittag getrennt, gesammelt; für die Tagesstunden gilt wiederum das S. 21 Gesagte. In Tabelle 12 ist für alle Tagesstunden die auf die Horizontalfläche auffallende Helligkeit (also Stundenwerte der Tabelle 11 a, dividiert durch die zugehörigen Sonnenhöhen) aufgeführt, und zwar in dem allen bisher besprochenen Tabellen zugrunde liegenden Kalorienmaß und außerdem in relativem Maß, wobei das absolute Maximum (Sommer mittags) = 1000 gesetzt wurde.

Wie schon S. 37 bei Besprechung der Fig. 4 erwähnt wurde und die Tabelle 11 a des näheren beleuchtet, ist die Amplitude dieses kurzwelligeren Teiles der gesamten Sonnenstrahlung wesentlich größer als die der gesamten oder gar roten Strahlung, im übrigen verläuft auch diese Helligkeitsstrahlung im allgemeinen vor- und nachmittags annähernd symmetrisch mit auf die Mittagszeit fallendem Maximum. Als Transmissionskoeffizienten errechnen sich aus Tabelle 11 c für

	Helligkeit	Gesamt	Rot	Helligkeit : Gesamt : Rot
Juli/August	0,841	0,845	0,952	1,000 : 1,005 : 1,132
Januar	0,832	0,859	0,970	1,000 : 1,032 : 1,166
März	0,825	0,867	0,955	1,000 : 1,051 : 1,157

s. S. 29 u. 38.

¹⁾ Schwerlich ist es hiernach berechtigt, den aus der Differenz des gesamten Sonnenspektrums und des vom Rotfilter durchgelassenen Spektrums sich ergebenden Spektralteil mit „Grünblau“ zu bezeichnen, wie es Götze (l. c.) tut. Da das Rotfilter zwischen 0,700 und 0,600 fast linear zu Null abfällt, ist seine Grenze nach der kurzwelligen Seite hin mit 0,650 anzunehmen. Außer Blau und Grün gehört also das ganze Gelb und noch ein Teil des Orange zu dem aus diesem Grunde nach Fig. 5 mit „Helligkeit“ bezeichneten Spektralgebiet.

es werden also naturgemäß von der langwelligen Rot- + Ultrarotstrahlung stets mehr, von der kurzwelligen Helligkeitsstrahlung stets weniger durchgelassen als von der Gesamtstrahlung, und zwar, wie schon erwähnt, in Abhängigkeit vom Wasserdampfgehalt der Atmosphäre im Winter relativ mehr rote, im Sommer relativ mehr Helligkeitsstrahlung.

Die auf die Horizontalfläche an wolkenlosen Tagen entfallenden Helligkeitssummen betragen:

	Helligkeit	Gesamt	Rot	Helligkeit : Gesamt : Rot
Juli/August	249	686	437	1,000 : 2,755 : 1,755
Januar	59	198	139	1,000 : 3,356 : 2,356
März	119	397	278	1,000 : 3,336 : 2,336

also Wechsel der Helligkeitssummen wolkenloser Tage vom Sommer zum Winter etwa gleich 4,2 : 1 und Helligkeitsanteil an der Gesamtstrahlung etwa ein Drittel. Die die Horizontalfläche betreffenden Werte der Tabelle 12 geben annähernd den Tagesgang der Ortshelligkeit (Helligkeit der horizontalen Fläche) an wolkenlosen Tagen an. Die Zahlen können freilich zunächst nur als roher Anhalt dienen, denn abgesehen von den S. 44/45 gemachten Einschränkungen ist ja die Helligkeitsstrahlung des Himmels in ihnen nicht berücksichtigt. Nach den in Davos gefundenen Zahlen beträgt solche einschließlich des Reflexes von den umgebenden schneebedeckten Höhen im Jahresmittel an wolkenlosen Tagen nur 11,5 Proz., und sie muß in Muottas-Muraigl prozentual noch geringer sein, denn mit fernerem Aufstieg von 1500 zu 2500 m Höhe nimmt die Helligkeitsstrahlung des Himmels ab, und außerdem fällt die Reflexion von schneebedeckten Abhängen fort. Durch einige photometrische Messungen der Ortshelligkeit können die gesamten Relativwerte der Tabelle 12 mit für die praktische Anwendung genügender Genauigkeit überführt werden in Absolutwerte (lux).

Die Ortshelligkeit steigert sich nach Tabelle 12 vom Morgen (Erscheinen der Sonne über dem Berg) zum Mittag, anfangs schneller, dann sehr langsam, auf etwa den dreifachen (Davos fast vierfachen) Wert. Das Tagesmaximum fällt stets streng auf die Mittagszeit, An- und Abstieg erfolgen symmetrisch, nur im März liegt (wohl schwerlich prinzipiell, sondern infolge zufälliger Witterungsverhältnisse) der Nachmittag ein wenig niedriger. Die Mittagswerte schwanken vom Winter zum Sommer (24. Januar zu 28. Juli) im Verhältnis von 1 : 2,7 (Davos 1 : 3,1). Das Jahresmaximum fällt

mit dem Sonnenhöchststande zusammen, übertrifft die Werte des Juliendes aber nicht wesentlich, das Minimum gehört dem Hochwinter an. Wie die hier in Klammern hinzugefügten Vergleichszahlen von Davos besagen, sind die Helligkeitsschwankungen in der 2500-m-Höhe noch geringer als in 1500 m Höhe, welche — wie mancherorts nachgewiesen (beispielsweise: Jahresamplitude der mittäglichen Helligkeit an wolkenlosen Tagen in Davos 3,2 mal kleiner als in Kiel) — vor der Ebene durch große Gleichmäßigkeit der Helligkeit im Tages- und Jahreslaufe ausgezeichnet ist. Die Absolutwerte der Helligkeit von Muottas-Muraigl und Davos sind aus oben angegebenem Grunde noch nicht vergleichbar.

Ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung. Diese wurde, wie schon S. 20 gesagt, mittels Cadmiumzelle photoelektrisch gemessen, und zwar in ihrer Gesamtheit und hinter einem das ultraviolette Spektrum $< 320 \mu\mu$ nicht mehr durchlassenden Glasfilter. Die benutzten Zellen Cd_I und Cd_{II} sind im Jahre 1914 von Elster und Geitel angefertigt und auf ihre Empfindlichkeit nach der (Physik. Zeitschr 1914, S. 6) von ihnen beschriebenen Methode mittels eines aus vier verschiedenen Filtern bestehenden, Strahlen

Tabelle 12.
Tagesgang der Ortshelligkeit (Beleuchtungsstärke der horizontalen Fläche durch Sonne und wolkenlosen Himmel) von Muottas-Muraigl in verschiedenen Jahreszeiten (in relativem Maß, Maximum = 1000 gesetzt).

Zeit	W. S. Z.											Tages- summe		
	7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	Mg	1 ^p	2 ^p	3 ^p	4 ^p	5 ^p		6 ^p	7 ^p
25. Juli bis 2. August 1923	346	547	739	874	957	1000	980	871	732	550	356	165		8117
2. bis 14. Oktober 1923			144	277	354	380	358	281	143	29				1966
20. bis 27. Januar 1924		229	409	554	654	682	639	546	394	211	45			4363
8. bis 13. März 1924														
18. bis 19. Juni 1924	346	537	743	899	985	1030	981	901	781	591	376	188	35	8393

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

bis zu 350 bzw. 366 bzw. 390 bzw. $> 390 \mu\mu$ durchlassenden Filtersatzes untersucht. Hinter dem bis zu $366 \mu\mu$ durchlässigen Filter geht der Galvanometerausschlag auch vor der Quecksilberlampe „sehr nahe auf Null zurück“. Die Zellen reagieren also auf das gesamte Ultraviolett von $366 \mu\mu$ abwärts und, da aus Uviolglas bester Qualität von nur $\frac{1}{3}$ mm Wandstärke hergestellt, noch herab bis zu $260 \mu\mu$ ungeschwächt und teilweise noch bis $240 \mu\mu$ (s. Physik. Zeitschr., l. c.). Energisch steigt die Empfindlichkeitskurve freilich erst an bei etwa $313 \mu\mu$, und dieser interessanteste kurzwellige Teil der Kurve ist daher auf des Verfassers Veranlassung von Dr. Vahle des näheren an zwei recht verschiedenen, aus Vor- und Nachkriegszeit stammenden Zellindividuen untersucht und (Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 274) publiziert. Man wird die Empfindlichkeitskurven der Zellen Cd_I und Cd_{II} in dem kurzwelligen Spektralteil identifizieren können mit derjenigen der daselbst mit Cd_2 bezeichneten, deren Empfindlichkeit von 313 zu $290 \mu\mu$ (dem äußersten Ende des Sonnenspektrums) sich etwa versiebenfacht, um von dort an bis zum Maximum bei $260 \mu\mu$ sich noch ferner zu verdoppeln. Infolge der geringen Empfindlichkeit der Zellen gegenüber dem langwelligen Ultraviolett mißt man selbst vor der Sonne, in welcher die ultraviolette Intensität nach Fabry und Buissons¹⁾ freilich in der Hafenstadt Marseille

¹⁾ Astrophys. Journ. 54, Dezember 1921.

Anmerkung: In der schon S. 38 erwähnten, während der Niederschrift dieser Arbeit erschienenen Monographie über das „Strahlungsklima von Arosa“ erhebt P. Götz Bedenken gegen die Verwendung der Cadmiumzelle. In Meteorol. Zeitschr. 1927, Heft 3, und Strahlentherapie 1927 ist auf einige wesentliche Punkte dieser Einwendungen vom Verfasser geantwortet worden: Von Götz als Ermüdung gedeutete Erscheinungen sind an Cadmiumzellen dem Verfasser trotz seiner vielen 13jährigen Erfahrungen mit diesen Zellen unbekannt geblieben, wie auch Elster und Geitel selbst bei einer eine Stunde langen Dauerbelichtung unter Spannung gehaltener Cadmiumzellen sie nicht gefunden haben (Physikal. Zeitschr. 1914, S. 4). Empfindlichkeitsänderungen sind außer bei schwerer Überlastung wohl nur bei mechanischer Beschädigung des Zellenbelags durch starken Stoß möglich; die Cadmiumzellen sind viel robuster als die Alkalizellen, man kann ihnen weit mehr zumuten, insbesondere auch stärkere Exposition gegen strahlende Wärme, die bei den Alkalizellen durchaus vermieden werden muß. Vollkommen zustimmen wird man Götz' Urteil, man messe sicherer im spektralzerlegten ultravioletten Licht die Intensitätsvariationen einzelner Wellenlängen, aber außerordentlich kostbarer und komplizierter Apparaturen bedarf es, um vor der Sonne ein absolut reines ultraviolettes Spektrum zu erhalten, und aus solchen Messungen die für biologische Zwecke gesuchten Integralwerte (Intensitäten des ge-

Tabelle 13.
Ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Tageszeit.

Masseinheit: Für a), b) und Klammerwerte von c) Davoser Galvanometerskala (1 Teil = $3,5 \cdot 10^{-11}$ Amp.), für nicht eingeklammerte Werte von c) relatives Maß, Maximum = 1000 gesetzt.

Zeit	W. S. Z.	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	Mg	1P	2P	3P	4P	5P	6P	J ^a Maximum	Q _{normal}	Q _{hor.}
a) Gesamt.																
23. Juli bis 2. August 1923		87,2	198,6	320,9	421,6	492,5	504,7	468,1	415,6	325,6	208,7	91,2	19,6	539,9	3511,0	2075,0
2. bis 14. Oktober 1923			28,9	101,3	178,9	230,0	241,5	228,6	171,0	91,3	28,0	2,3		252,7	1287,7	588,5
20. bis 27. Januar 1924				19,1	63,0	83,5	97,4	87,6	64,2	23,1	7,7			122,7	436,3	133,1
8. bis 13. März 1924			43,8	117,4	182,0	263,5	285,8	261,4	171,6	100,3	40,4			292,5	1444,5	684,7
18. bis 19. Juni 1924			371,0	572,0	574,9	585,1	538,6	448,6	358,1	258,1	141,2	35,8		653,3	3628,1	2383,7
b) < 321 $\mu\mu$.																
23. Juli bis 2. August 1923		187,8	307,4	406,1	475,6	487,1	451,9	401,4	314,1	199,2	85,1	17,6				
2. bis 14. Oktober 1923			26,3	96,2	171,0	219,7	229,8	218,1	162,8	85,9	25,9					
20. bis 27. Januar 1924				14,9	55,5	72,7	84,8	76,2	58,1	20,1						
8. bis 13. März 1924			38,7	106,6	167,5	245,3	266,2	243,2	157,8	89,9	34,1					
18. bis 19. Juni 1924			354,1	483,8	556,0	565,5	519,7	431,0	342,6	245,3	133,1	33,1				
c) 366—321 $\mu\mu$.																
23. Juli bis 2. August 1923		357 (7,0)	551 (10,8)	689 (15,5)	791 (16,5)	862 (16,9)	898 (17,0)	825 (16,2)	724 (14,2)	587 (11,5)	485 (9,5)	311 (6,1)	102 (2,0)	974 (19,1)	7011	4145
2. bis 14. Oktober 1923			133 (2,6)	260 (6,1)	403 (7,9)	525 (10,3)	597 (11,7)	536 (10,5)	418 (8,2)	276 (5,4)	107 (2,1)			607 (11,9)	3191	1457
20. bis 27. Januar 1924				214 (4,2)	388 (7,5)	551 (10,8)	607 (11,9)	582 (11,4)	311 (6,1)	153 (3,0)				607 (11,9)	2696	823
8. bis 13. März 1924			260 (6,1)	551 (10,8)	740 (14,6)	929 (18,2)	1000 (18,2)	929 (18,2)	704 (13,8)	531 (10,4)	321 (6,3)	71 (1,4)		1071 (21,0)	5910	2800
18. bis 19. Juni 1924				862 (16,9)	928 (18,2)	964 (18,9)	1000 (18,9)	964 (18,9)	898 (17,6)	791 (16,5)	653 (12,8)	413 (8,1)	138 (2,7)	1086 (21,3)	7181	4719

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

Tabelle 14. Ultraviolette Intensität d

Maßeinheit: Für a), b) und Klammerwerte von c) Davoser Galvanometerskala (1 Teil =

Sonnenhöhe	5°	10°	15°	20°	25°	30°
a) Gesamt.						
23. Juli bis 2. August 1923	0,3	5,4	23,6 28,4	59,5 60,1	102,1 108,1	158,8 163,5
2. bis 14. Oktober 1923	2,6	9,3 10,5	31,7 30,7	74,7 76,1	119,4 118,3	179,9 172,9
20. bis 27. Januar 1924	8,2	4,4 16,3	35,0 30,6	74,7 77,7	121,7	
8. bis 13. März 1924	0,2	6,1 10,2	30,1 29,9	65,3 54,4	112,3 94,9	155,1 139,7
18. bis 19. Juni 1924		4,7	25,0	54,7	116,2	181,0
b) < 321 $\mu\mu$.						
23. Juli bis 2. August 1923		4,7	25,7	56,0	94,0 101,3	148,7 154,7
2. bis 14. Oktober 1923		8,4 9,8	28,9 28,6	70,5 71,7	113,8 112,2	172,0 164,7
20. bis 27. Januar 1924		1,4 14,7	29,6 26,2	66,5 70,9		
8. bis 13. März 1924	0,0	6,0	26,1 24,1	58,1 46,7	101,9 84,8	142,0 127,3
18. bis 19. Juni 1924				50,0	108,8	171,5
c) 366 bis 321 $\mu\mu$.						
23. Juli bis 2. August 1923		36 (0,7)	138 (2,7)	209 (4,1)	413 (8,1) 347 (6,8)	515 (10,1) 449 (8,8)
2. bis 14. Oktober 1923		46 (0,9) 36 (0,7)	143 (2,8) 107 (2,1)	214 (4,2) 225 (4,4)	286 (5,6) 311 (6,1)	403 (7,9) 418 (8,2)
20. bis 27. Januar 1924		153 (3,0) 82 (1,6)	276 (5,4) 225 (4,4)	418 (8,2) 347 (6,8)		
8. bis 13. März 1924	10 (0,2)	214 (4,2)	204 (4,0) 296 (5,8)	367 (7,2) 393 (7,7)	531 (10,4) 515 (10,1)	668 (13,1) 633 (12,4)
18. bis 19. Juni 1924				240 (4,7)	378 (7,4)	485 (9,5)

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den absteigenden Wert.

Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.

10⁻¹¹ Amp.), für nicht eingeklammerte Werte von c) relatives Maß, Maximum = 1000 gesetzt.

35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
216,2	279,7	340,5	407,4	456,6	506,7	
227,7	289,8	345,2	395,9	437,1	478,9	
236,1						
233,5						
202,2	287,2					
198,9	289,2					
	(343,3)	348,5	400,6	476,9	560,8	581,7
235,8	287,2	335,8	385,1	433,1	483,1	560,2
205,4	267,5	326,3	391,9	440,4	489,1	
218,2	279,0	333,0	382,4	421,6	462,0	
225,6						
222,8						
186,4	267,6					
183,9	269,6					
	(329,1)	331,6	383,0	458,7	542,6	562,8
223,6	273,0	320,9	368,9	416,2	464,9	540,6
551	622	724	791	826	898	
(10,8) 485	(12,2) 551	(14,2) 622	(15,5) 689	(16,2) 791	(17,6) 862	
(9,5)	(10,8)	(12,2)	(13,5)	(15,5)	(16,9)	
536						
(10,5) 531						
(10,7)						
806	1000					
(15,8) 765	(19,6) 1000					
(15,0)	(19,6)					
	724	862	898	929	929	964
622	(14,2) 724	(16,9) 760	(17,6) 826	(18,2) 862	(18,2) 929	(18,9) 1000
(12,2)	(14,2)	(14,9)	(16,2)	(16,9)	(18,2)	(19,6)

absteigenden Ast.

Tabelle 15. Ultraviolette Intensität der Sonne:

Maßeinheit: Für a), b) und Klammerwerte von c) Davoser Galvanometerskala (1 Teil = 3,5

Luftmasse Zeit	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0
a) Gesamt.							
24. Juli bis 2. August 1923					2,0	10,8	18,9
2. bis 14. Oktober 1923		4,2	5,4	7,5	9,6	15,2	25,0
20. bis 27. Januar 1924		9,3	10,7	12,6	14,9	19,8	28,0
8. bis 13. März 1924					2,3	12,8	28,7
18. bis 19. Juni 1924						5,8	26,9
						10,1	23,0
b) < 321 $\mu\mu$.							
24. Juli bis 2. August 1923					1,3	9,4	22,3
2. bis 14. Oktober 1923						13,8	25,4
20. bis 27. Januar 1924						14,7	25,4
8. bis 13. März 1924						8,2	25,5
18. bis 19. Juni 1924					13,7	17,5	24,0
							25,2
					1,9	10,2	21,4
c) 366 bis 321 $\mu\mu$.							
24. Juli bis 2. August 1923					36 (0,7)	71 (1,4)	138 (2,7)
2. bis 14. Oktober 1923						71 (1,4)	133 (2,6)
20. bis 27. Januar 1924						61 (1,2)	97 (1,9)
8. bis 13. März 1924					143 (2,8)	189 (3,7)	260 (5,1)
18. bis 19. Juni 1924					61 (1,2)	117 (2,3)	204 (4,0)
	7 (0,14)	21 (0,41)	36 (0,7)	71 (1,4)	199 (3,9)	235 (4,6)	179 (3,5)
							281 (5,5)

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

strahlung in Abhängigkeit von der Luftmasse.

10^{-11} Amp.), für nicht eingeklammerte Werte von c) relatives Maß, Maximum = 1000 gesetzt.

3,5		3,0		2,5		2,0		1,5		1,3		1,1	
33,8		54,7		89,2		158,8		300,7		409,5			
	37,8		57,4		94,6		163,5		308,7		398,7		
43,4		67,7		105,9		179,9							
	43,4		70,2		105,2		172,9						
45,7		68,6											
	43,4		70,9										
39,7		60,1		98,0		155,1							
	37,0		50,8		82,8		139,7						
								344,5		403,3		582,4	
	33,8		50,0		97,3		181,0		304,0		387,2		562,7
						148,7		287,9		394,0			
	34,4		53,3		88,5		154,7		297,2		385,2		
40,4		63,7		100,8		172,0							
	40,6		66,2		99,6		164,7						
39,6		60,9											
	38,3		64,4										
34,8		53,1		88,6		142,0							
	30,7		43,2		73,2		127,3						
								329,6		385,7		563,5	
	31,1		45,9		90,5		171,5		289,8		371,0		543,1
						515		653		791			
	174		209		311	(10,1) 449		(12,8) 587		(15,5) 689			
	(3,4)		(4,1)		(6,1)	(8,8)		(11,5)		(13,5)			
153		204		260		403							
(3,0)	143	(4,0) 204		(5,1) 286		(7,9) 418							
	(2,8)	(4,0)		(5,6)		(8,2)							
311		393											
(6,1)	260	(7,7) 332											
	(5,1)	(6,5)											
250		357		480		668							
(4,9)	323	(7,0) 388		(9,4) 490		(13,1) 633							
	(6,3)	(7,6)		(9,6)		(12,4)							
								760		898		964	
	138		209		347		485	(14,9)		(17,6) 826		(18,9) 1000	
	(2,7)		(4,1)		(6,8)		(9,5)		724	(16,2)		(19,6)	

absteigenden Ast.

an nur drei heiteren Tagen durchgeführten spektralphotometrischen Untersuchungen von $314:300:295:290 \mu\mu$ im Verhältnis von $560000:33000:625:1$ (für Zenitsonne) abnimmt, auch ohne Filter praktisch nur kurzwelliges, durch biologische Wirkungen ausgezeichnetes Ultraviolett $< 320 \mu\mu$, wie der Vergleich der Tabellen 13a bis 15a mit 13b bis 15b beweist. Die Differenzen betragen bei hoher

.....

samten zwischen 320 und dem Ende des Sonnenspektrums liegenden ultravioletten Spektralteils) abzuleiten, stellt eine kaum bezwingbare, jedenfalls so mühsame und zeitraubende Arbeit dar, daß es unmöglich wäre, ein so großes Material zusammenzutragen, wie es zur Verfolgung dieser schwankenden Größe erwünscht und nötig ist. Man dürfte für biologische Zwecke durchaus genügend sicher mit der Cadmiumzelle filterlos oder mittels des Glasfilters messen und sollte daher diese leicht zu handhabende und viel leistende Apparatur nicht komplizieren. Freilich bedarf es selbstverständlich für Parallelmessungen mit verschiedenen Zellen genauer Abstimmungen derselben bei verschiedenen Sonnenhöhen, ein Verfahren, welches in Davos schon für eine stattliche Zahl von Beobachtern durchgeführt ist.

Götz leitet aus seinem mit der Cadmiumzelle Cd_I gesammelten Material ab, daß bei Messungen ohne Filter der optische Schwerpunkt wandere:

bei hoher Sonne . . .	auf	309 $\mu\mu$,
„ 40°	„	313 „
„ 20	„	317 „
„ 10	„	319 „

also praktisch $5 \mu\mu$ um einen mittleren Schwerpunkt von $314 \mu\mu$ schwanke. Der Verfasser hat schon 1919 (Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 6, 281) aus seinen hauptsächlich mit der Cadmiumzelle Cd_{II} angestellten Beobachtungen den mittleren optischen Schwerpunkt $315 \mu\mu$ errechnet, was zu dem obigen Resultat Götz' ganz gut stimmt, und er ist freudig überrascht, daß die Schwankungen um diesen mittleren Schwerpunkt nicht mehr betragen als $5 \mu\mu$. Wieviel mögen sie wohl bei dem weitverbreiteten Rotfilter Schott F 4512 betragen, auf dessen Angaben der ganze Abschnitt S. 33 bis 41 beruht? Wäre es das Zehnfache ($50 \mu\mu$), so würde das den Verfasser nicht wundern. Auch bei jedem anderen Filter, selbst bei den vom Verfasser jüngst (Meteorol. Zeitschr. 1927, Heft 3) empfohlenen, schmalere definiertere Spektralteile als die Glasfilter ausschneidenden Gelatinefiltern wird man mit beträchtlichen Schwankungen des optischen Schwerpunkts bei wesentlich wechselnder Sonnenhöhe zu rechnen haben. Stellt man größere Ansprüche, so muß man das Filterverfahren durch spektrophotometrische Apparaturen ersetzen, aber dann auch deren Kompliziertheit und Kostbarkeit in den Kauf nehmen, wenn man — wie doch durchaus erforderlich — ein reines Spektrum haben will. Nun sagt Götz, gerade im Ultraviolett müßten solche Schwankungen des optischen Schwerpunktes vermieden werden, weil hier die Intensitätsverhältnisse (wie oben)

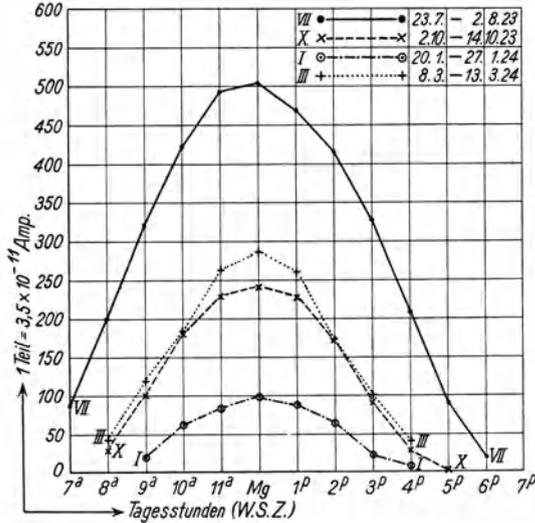
Sonne (60°) nur etwa 3 Proz., bei mittlerer Sonne (35°) etwa 6 Proz., bei niedriger Sonne (15°) etwa 12 Proz., sie sind den Tabellen 13c bis 15c in Klammern beigelegt. Es dürfte daher genügen, die nachfolgenden Betrachtungen im wesentlichen an die ohne Filter gemessenen, unter a) in den Tabellen 13, 14, 15 aufgeführten Gesamtintensitäten anzuschließen, diese also identifizierend mit denen der

der einzelnen Spektrallinien der Sonne außerordentlich wechseln, wie auch (für biologische Zwecke) die Intensitätsverhältnisse in der von Hausser und Vahle festgelegten Empfindlichkeit der Oberhaut, definiert durch das Lichterythem. Abgesehen davon, daß auch in anderen Teilen des Spektrums, insbesondere dem Ultrarot — heute noch unbekannt — biologische Effekte an sehr schmale Spektralteile gebunden sein könnten, wäre hierauf wohl mit der Frage zu antworten: „Glauben Hausser und Vahle oder sonst jemand, daß die von ihnen durch insgesamt sieben, zwischen 313 und 253 $\mu\mu$ liegende Quecksilberlinien bestimmte Kurve so zu verallgemeinern und anzuwenden sei, daß sie sich nicht, sei es allgemein oder individuell, um einige $\mu\mu$ nach rechts oder links verlagern könnte?“ Was — als glücklicher Zufall, wie ich wiederholt betont habe — übrigbleibt, ist, daß die Empfindlichkeitskurve der Cadmiumzelle mit ihrem bei etwa 320 $\mu\mu$ einsetzenden jähen Anstieg und (vor der Sonne infolge des Aufhörens ihres Spektrums, vor der Quecksilberlampe oder ähnlichen, das Ultraviolett bevorzugenden Bestrahlungslampen infolge des Aufhörens der Durchlässigkeit des Uviolglases) folgendem jähen Abfall weitgehend parallel geht den, wie inzwischen bewiesen, nicht nur für die Erythembildung, sondern für viele biologische Prozesse geltenden Empfindlichkeitskurven. Die Cadmiumzelle mißt daher, wie ich es (Strahlentherapie 22, 82, 1926) genannt habe, für biologische Zwecke gleichzeitig quantitativ und qualitativ, indem sie innerhalb des an sich eng begrenzten ultravioletten Spektralbezirkes auf biologisch größere Reizstrahlen stärker reagiert als auf die übrigen.

Inwieweit Götz' Irrtum, er habe mit Zelle Cd_1 nur ultraviolette Strahlung bis zur Wellenlänge 321 $\mu\mu$, also bei Anwendung des Glasfilters nur die Wellenlänge 321 $\mu\mu$ gemessen (statt in Wirklichkeit das ganze langwellige Ultraviolett bis zu 366 $\mu\mu$), sich auswirkt auf seine gesamten Ableitungen des Ozongehalts der Atmosphäre, kann hier im einzelnen nicht erörtert werden. Da in den, bis zu 366 $\mu\mu$ reichenden Spektralteil die breiten, nach Fowler und Strutt benannten, bis 350 $\mu\mu$ sich ausdehnenden Ozonbanden fallen, desgleichen sehr viele, insbesondere bei 330 $\mu\mu$ sich häufende Fraunhofersche Linien, fehlt seine für diese penible Aufgabe unerläßliche Grundvoraussetzung, welche in dem Vergleich des Intensitätswechsels einer der Absorption durch Ozon nicht (oder kaum) unterliegenden Wellenlänge mit Intensitätswechsel von der Absorption stark unterworfenen Spektralbezirken basiert. Es hätte doch wohl auch vorweg stützig gemacht haben sollen, daß nach Götz' direkten Messungen auf die alleinige Wellenlänge 321 $\mu\mu$ je nach Sonnenhöhe 3 bis 12 Proz. des gesamten, auf die Cadmiumzelle wirkenden

biologisch am meisten interessierenden ultravioletten Sonnenstrahlen der Wellenlänge $320 \mu\mu$ bis zur letzt vorhandenen Wellenlänge — dies um so mehr, als die Messungen der ultravioletten Gesamt-

Fig. 6.



Tagesgang der ultravioletten Sonnenstrahlung

[in Davoser Galvanometereinheiten (1 Teil = $3,5 \cdot 10^{-11}$ Amp.).]

intensität zuverlässiger ausfallen als die der hinter dem Glasfilter ange-
stellten ultraviolettlangwelligen nur sehr kleinen Intensitäten und daher

ultravioletten Sonnenspektrums entfallen, was nach der Empfindlichkeitskurve der Cadmiumzelle (schätzungsweise) bedeuten würde, daß der Intensitätswert dieser einen Wellenlänge bei von 60 zu 15° wechselnden Sonnenhöhen 30 bis 120 Proz. der gesamten zwischen $320 \mu\mu$ und dem Ende des Sonnenspektrums liegenden Intensität ausmachen müßte — eine Unmöglichkeit, trotz des oben erwähnten starken Intensitätsabfalls im alleräußersten Ultraviolett, wie unter anderem der erste Blick auf jede der vom Verfasser in den Jahren 1907 bis 1909 durchgeführten photographischen Dauerregistrierungen des Endspektrums der Sonne beweist. Auch die Größe des ausgelösten Photostromes (Größenordnung 10^{-9} bei hoher Sonne) hätte vor der von P. Götz gegebenen Deutung warnen müssen; wunderschön wäre eine solche außerordentliche Empfindlichkeit der Cadmiumzelle, und es würde ihren schon heute großen Anwendungsbereich gewaltig erweitern, aber leider besteht sie nicht.

auch der kurzwelligigen, aus der Differenz beider gebildeten. Bei den recht kleinen Intensitäten der ultraviolettlangwelligen Strahlung und dadurch notwendig werdender längerer Expositionszeit fallen die durch Isolationsverluste bedingten, nur schwer sicher zu erfassenden Korrekturen zu manchen Zeiten bedeutend ins Gewicht.

Die kurzwelligultravioletten Sonnenintensitäten (Tabellen 13a, 14a, 15a) unterscheiden sich von denen der übrigen Spektralteile durch sehr viel größere Schwankungen im Tages- und Jahreslaufe:

	Ultraviolett	Gesamtintensität	Helligkeit	Rot + Ultrarot
Von 9 ^a zum Mittag im Winter .	5,10	1,19	1,38	1,13
Sonnenhöhe 15 zu 60°	17,30	1,21	1,51	1,14
Sonnenhöhe 20 zu 60°	7,60	1,13	1,30	1,06
Mittags Sommer zu Winter . .	6,00	1,02	1,21	0,93

Die auf die Horizontalfläche im Sommer und Winter an wolkenlosen Tagen fallenden Strahlungssummen verhalten sich wie

Ultraviolett	Helligkeit	Rot + Ultrarot
15,59 : 1	4,35 : 1	3,15 : 1

Das Tagesmaximum fällt stets streng auf den Mittag, der Anstieg zu ihm erfolgt vor- und nachmittags im allgemeinen symmetrisch. Fig. 6 zeigt den Tagesgang der ultravioletten Strahlung in den vier Beobachtungsperioden, und ein Vergleich dieser Kurvenschar mit den in Fig. 4, S. 38, für Gesamtintensität und Rot- + Ultrarotintensität gezeichneten bringt eindringlich die außerordentlich viel größere Variabilität der (biologisch wichtigen) ultravioletten Sonnenstrahlung zum Ausdruck und den großen Wechsel der spektralen Zusammensetzung der Sonnenstrahlung im Tages- und Jahreslaufe. Zur zahlenmäßigen eindrucksvollen Dokumentierung desselben sind diese wechselnden Werte des Rot- + Ultrarot- und Ultraviolettgehaltes der Sonne tabelliert (Tabelle 16) unter Annahme eines Verhältniswertes von 1,000 für $\frac{\text{Ultraviolett}}{\text{Rot} + \text{Ultrarot}}$ in der mittäglichen Sommersonne.

Tabelle 16.

Wechsel des Ultraviolett- und Rot- + Ultrarotgehalts der Sonnenstrahlung mit Tages- und Jahreszeit, bei Gleichsetzung beider für den Sonnenhöchststand (19. Juni mittags).

Zeit	W. S. Z.					
	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	Mg
23. Juli bis 2. August 1923 . . .	0,17	0,36	0,56	0,70	0,80	0,81
2. bis 14. Oktober 1923						
20. bis 27. Januar 1924			0,03	0,10	0,13	0,15
8. bis 13. März 1924		0,08	0,19	0,28	0,41	0,44
18. bis 19. Juni 1924		0,45	0,68	0,89	0,99	1,00

Zeit	W. S. Z.					
	1 ^P	2 ^P	3 ^P	4 ^P	5 ^P	6 ^P
23. Juli bis 2. August 1923 . . .	0,76	0,69	0,56	0,37	0,17	0,04
2. bis 14. Oktober 1923						
20. bis 27. Januar 1924	0,13	0,10	0,04	0,02		
8. bis 13. März 1924	0,41	0,27	0,17	0,07		
18. bis 19. Juni 1924	0,91	0,77	0,63	0,46	0,26	0,07

In den dem Aufenthalt im Freien im allgemeinen dienenden Tagesstunden sinkt hiernach der Ultraviolettgehalt der Sonne selbst im Sommer vom Mittag zum Morgen und Abend auf 45 Proz., zum Wintermittag auf 15 Proz., zum Wintermorgen auf 3 Proz. herab.

Ist somit für diese Strahlung mehr als für alle übrigen entscheidend die Sonnenhöhe, so besteht doch daneben unverkennbar ein Jahresgang, dergestalt, daß bei gleichen Sonnenhöhen das Maximum in den Winter, das Minimum in den Sommer fällt, wie es in Davos seit 1908 alljährlich gefunden worden ist. Gleichfalls übereinstimmend mit den Davoser langjährigen Befunden liegen bei gleichen Sonnenhöhen die Herbstwerte (Oktober) wesentlich über den Frühjahrswerten (März). Die Muottas-Muraigl-Beobachtungen bestätigen also aufs neue: „Die Herbstsonne ist reicher an ultravioletten Strahlen, die Frühjahrs- sonne reicher an roten und ultraroten Strahlen.“ Die mittägliche Wintersonne zeigte sich nach S. 37 als die rot- + ultrarotreichste des ganzen Jahres, dagegen besitzt sie nur ein Sechstel der ultravioletten Intensität der mittäglichen Sommersonne, die spektrale Zusammensetzung der Sonnenstrahlung ist also zu beiden Jahreszeiten grundverschieden: Im Winter bei nur 1 Proz. geringerer

Gesamtintensität und sogar 6 Proz. größerer Rotintensität ein $6\frac{1}{2}$ mal kleinerer Ultraviolettgehalt als im Sommer. Derartige Zahlen müssen doch bei Sonnenkuren als begleitend gewertet werden.

Als Maximalwerte sind gefunden worden:

539,9	im Juli,	Sonnenhöhe	61,5°,	S ₄ B ₀
252,7	„ Oktober,	„	36,3°,	S ₄ B ₁ Ci
122,7	„ Januar,	„	24,2°,	S ₄ B ₃ Ci-Str.
292,5	„ März,	„	39,4°,	S ₄ B ₂ Ci
653,3	„ Juni,	„	61,3°,	S ₄ B ₃ Cu

sie hängen also stark von der Sonnenhöhe ab, im Gegensatz zu denen der Gesamtintensität (s. S. 23).

Ein Vergleich mit den in Davos gefundenen Parallelzahlen zeigt nun den großen Unterschied, welcher gerade in dieser biologisch überaus wichtigen ultravioletten Strahlung zwischen der 1500-m- und 2500-m-Höhe besteht. Es steigern sich im Mittel die

bei 65°	gefundenen Werte	. . . . .	um	37	Proz.,
„ 50	„	„	. . . . .	„	45
„ 30	„	„	. . . . .	„	66
„ 20	„	„	. . . . .	„	158

(vgl. dagegen Tabelle 3, S. 26, und Tabelle 10, S. 40)

und zwar im Sommer mehr als im Winter, im Frühjahr mehr als im Herbst, doch ist es wohl unsicher, ob ein solcher Jahreszeiteinfluß stets in gleicher Weise gefunden würde, denn das insgesamt 31Tagesreihen umfassende Material ist doch noch zu klein zu solcher Entscheidung, und auch die Mittel, welche hier allein zum Vergleich herangezogen sind, könnten noch zu abhängig sein von Zufälligkeiten der Witterung.

Es erhöhen sich die Mittagswerte in Muottas-Muraigl gegenüber Davos

im Juli	. . . . .	um	29	Proz.
„ Oktober	. . . . .	„	34	„
„ Januar	. . . . .	„	91	„
„ März	. . . . .	„	59	„

Diese Zahlen genügen zum Beweis, daß die Schwankungen der ultravioletten Intensität mit der Höhe das Vielfache der Schwankungen der Gesamtintensität und der Rotintensität ausmachen, welche S. 26 und 41 mit etwa 9 Proz. für gesamt, fast 0 Proz. für Rot + Ultrarot festgelegt worden sind. Die soeben angegebenen

Prozentwerte besagen gleichzeitig, daß die Steigerungen um so größer sind, je tiefer die Sonne steht, daß also die Jahres- und Tagesamplitude mit der Höhe beträchtlich abnimmt und in 2500 m Höhe eine viel größere Gleichmäßigkeit der ultravioletten Strahlung besteht als in 1500 m Höhe. So steigern sich in Davos im Mittel die ultravioletten Intensitäten von 15 zu 60° Sonnehöhe im Verhältnis 1:24,6 (Muottas-Muraigl 1:17,3), und der Ultraviolettgehalt der Mittagssonne schwankt vom Sommer zum Winter in Davos im Verhältnis 9:1 (Muottas-Muraigl 6,5:1). Entsprechend größer zeigen sich denn auch die aus Tabelle 15a für zwischen 1,3 und 3,0 liegende Luftmassen errechneten, nicht reduzierten Transmissionskoeffizienten im Ultraviolett:

	Muottas-Muraigl	Davos
Juli/August	0,327	0,239
Oktober	0,359	0,296
Januar	0,430	0,375
März	0,421	0,262

Freilich vergleicht man, wie schon Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 321 geraten und wie es oben geschehen ist, besser die bei gleichen Sonnenhöhen gefundenen Intensitäten als die Werte der Transmissionskoeffizienten, denn diese errechnen sich aus größeren und kleineren Schichtdicken verschieden, und zwar deshalb, weil mit steigender Sonne stets neue kürzeste Wellenlängen in der Strahlung auftreten.

Die recht wichtige und häufig aufgeworfene Frage nach der Zunahme der ultravioletten Intensität mit der Höhe gab mit den Anlaß, der lichtelektrischen Station Arosa (1860 m) zum Leben zu verhelfen und sie sowie Agra (565 m) im Tessin mit Cadmiumzellen des Davoser Observatoriums auszustatten, damit durch Jahresreihen Vergleiche möglich würden, sie gab auch Anlaß zu einer Exkursion vom 12. bis 18. September 1923 in das Berner Oberland zwecks Simultanmessungen auf Jungfrauoch (3457 m), Kleine Scheidegg (2070 m) und Interlaken (565 m). An dieser beteiligten sich wiederum mit größtem Eifer Dr. P. Götz und Dr. Fritz Loewe, wofür ihnen auch hier nochmals gedankt sei. Dank gebührt auch der Direktion der Jungfraubahn, welche durch Gewährung von Freifahrkarten die Expedition unterstützte. Leider führte am zweiten Tage einsetzendes schlechtes Wetter zu einem frühzeitigen Abbruch der Messungen und nicht befriedigenden Resultaten.

Die Ergebnisse des ganzen Materials sind kurz zusammengefaßt in Tabelle 17:

Tabelle 17.

Zunahme der (filterlos gemessenen) ultravioletten Sonnenstrahlung mit der Höhe pro 100 m in Prozenten.

September 1923.

Sonnenhöhe	Interlaken (565 m)	Scheidegg (2070 m)	Interlaken (565 m)
	Scheidegg (2070 m)	Jungfrauoch (3457 m)	Jungfrauoch (3457 m)
45°	2,1	4,5	3,9
30	2,7	2,9	3,4
20	—	—	7,2

Jahresmittel.

Sonnenhöhe	Agra (565 m)
	Davos (1560 m)
60°	4,8
45	3,9
30	1,0
20	— 2,3

Steigerung im Sommer kleiner als im Winter, bei kleinen Sonnenhöhen sogar Abnahme, Frühjahr > Herbst.

Mittel von 4 Beobachtungsperioden.

Sonnenhöhe	Davos (1560 m)
	Muottas-Muraigl (2456 m)
60°	4,4
45	5,4
30	7,3
20	17,5

Steigerung im Sommer > Winter, im Frühjahr > Herbst.

Man erkennt, daß Regelmäßigkeiten aus diesen Werten (trotz doch insgesamt ziemlich umfangreichen Materials) wahrlich nicht herauszufinden sind, was den geringen Wert einzelner, zur Lösung dieser Aufgabe bisher angestellter stichprobenartiger Messungen beleuchtet. Einige Charakteristika sind aber aus den Zahlen herauszulesen:

1. Die prozentualen Zunahmen werden um so gleichmäßiger gefunden, je höher die Sonne steht.
2. Sie nehmen nicht, wie erwartet sein dürfte, an allen Orten mit höher steigender Sonne ab. Dies trifft nur zu für das Verhältnis Muottas-Muraigl : Davos, während für Davos : Agra gerade das Gegenteil gilt, und für Interlaken : Scheidegg der Sonnenhöhenwechsel nur wenig Änderung erbringt.

3. Im Frühjahr scheinen die Differenzen der Intensitäten von Höhe und Ebene größer zu sein als im Herbst.
4. Am Nordfuß und Südfuß der Alpen scheinen grundsätzliche Unterschiede zu bestehen, denn Agra zeigt ausgesprochen inversen Gang zu Davos, seine Ultraviolettintensitäten sind relativ am größten bei niedriger Sonne, ja sie übersteigen bei 20° Sonnenhöhe in allen Jahreszeiten die des 1000 m höher gelegenen Davos.

Alles dürfte sich einheitlich erklären durch die große Wirkung, welche Dunstschichten auf die ultraviolette Strahlung ausüben, und durch die verschiedenartigen Schichtungen und den verschiedenen Gehalt der Luft an trockenem Dunst. Diese ändern sich mit Wechsel des Ortes und der Zeit sehr verschiedenartig, in Abhängigkeit in erster Linie von der Durchlüftung. Die Abnormität, welche im Ultraviolett bei Agra zu beobachten ist, erinnert an die gleiche, welche S. 41 für Ultrarot festgestellt ist; die Sonne des Tessins hätte danach geringeren Ultrarot-, größeren Ultraviolettgehalt, sie ähnelt daher, wie schon R. Süring betont hat, in relativ niedrigen Höhenlagen der Sonne der Hochgebirgshöhen — wohl infolge der an dem steileren Südabhang der Alpen reger absinkenden Höhenluft. In der Ebene, insbesondere in Meeresnähe, wird im allgemeinen die stärkere und gleichmäßige Durchmischung der Luft bei regeren Winden die Bildung von Dunstschichten hintanhaltend und somit günstig wirken auf die durchfallende ultraviolette Strahlung, und es dürfte dort häufig geringere Zunahme der ultravioletten Intensität mit der Höhe gefunden werden als im Gebirge. In diesem Sinne könnte auch eine Briefnachricht Th. Auréns über bei gleicher Sonnenhöhe ähnlich hoch gemessene Werte im Gebirge und am Seestrande Schwedens zu deuten sein. Eines dürfte aus diesen Parallelmessungen sicher herausgesprungen sein, nämlich daß kein Strahlenbereich derart von Ort zu Ort und von Zeit zu Zeit schwankt wie der ultraviolette, und daß daher gerade Messungen in diesem biologisch wichtigsten Spektralteil für lichtklimatische Untersuchungen dringend zu empfehlen sind¹⁾.

¹⁾ In seiner (l. c.) inzwischen erschienenen Arbeit betont auch P. Götz, daß die Vergleichszahlen, welche er zwischen dem am Rheintal- und am Ausgange des Plessurtales gelegenen, gut durchlüfteten Chur (590 m) und Arosa (1860 m) gefunden hat, besonders günstige sein dürften und nicht zu verallgemeinern sind. Er fand dort im Jahresmittel pro 100 m Höhendifferenz folgende Steigerungen der ultravioletten Sonnenintensitäten: bei 60° Sonnenhöhe 2,7 Proz., bei 45° 2,4 Proz., bei 30° 3,8 Proz., bei 20° 6,9 Proz., was in guter Überein-

Die langwellige ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung.

Diese ist, wie erinnert sei, hinter einem das Sonnenspektrum bei $320 \mu\mu$ abschneidenden, also nur Wellenlängen $> 320 \mu\mu$ durchlassenden Glasfilter mittels der gegenüber dem kurzwelligen Ultraviolett für langwelliges Ultraviolett der Wellenlänge 320 bis $366 \mu\mu$ sehr viel unempfindlicheren Cadmiumzelle gemessen. Die Differenzen des von der Cadmiumzelle gemeldeten kurzwelligen und langwelligen Ultravioletts sind in Tabelle 13c, 14c, 15c in Klammern gesetzt, während die entsprechenden, auf den Maximalwert = 1000 bezogenen Zahlen uneingeklammert aufgeführt sind. So melden diese Tabellenzahlen in relative m, in keiner Weise auf die Werte der Tabellen 13 bis 15a bis b bezüglichem Maß den Tages- und Jahresgang, und dies ist das einzige, freilich sehr wichtige, was mit dieser Apparatur erzielbar ist. Leicht irreführend ist die Betrachtung der (nur zur Dokumentierung der Ableitung der Relativwerte und zwecks Vergleichs mit anderen Orten) in Klammern gesetzten Differenzen, nach ihnen würde ja die Intensität des langwelligen ultravioletten Spektralteiles der Sonne nur wenige Prozente ausmachen, während sie in Wirklichkeit ein gar nicht abzuschätzendes Vielfaches der kurzwelligen ultravioletten Strahlung darstellt. Zur Reduktion der langwelligen und der kurzwelligen ultravioletten Intensitäten auf gleiches Maß würde es bedürfen der genauen Kenntnis 1. des Verlaufes der Empfindlichkeitskurve der Cadmiumzelle zwischen 313 und $366 \mu\mu$, 2. des jeweiligen äußersten Endes des ultravioletten Spektrums zur Zeit der Beobachtung.

Die langwelligen ultravioletten Intensitäten der Sonnenstrahlung verhalten sich recht abweichend von den kurzwelligen. Die Amplituden betragen nach Tabelle 13c und 15c

im Winter von 9^a bis Mittag	3,0
bei von 15 zu 60^0 steigender Sonne	6,3
„ „ 20 „ 60^0 „ „	4,1
mittags vom Sommer zum Winter	1,4

Diese Schwankungen sind zwar wesentlich größer (s. S. 57) als die der Gesamtintensität und der Helligkeit, aber viel kleiner als die des kurzwelligen Ultravioletts. Entsprechend wachsen die auf die Horizontalfläche an wolkenlosen Tagen fallenden langwelligen ultravioletten Strahlungssummen vom Winter zum Sommer auf das 5,04fache (gegenüber Rot 3,15fach, Helligkeit 4,35fach, kurz-

stimmung steht mit einigen vom Verfasser im Herbst 1924 und Frühjahr 1925 in dem Chur benachbarten, in fast gleicher Meereshöhe gelegenen Ragaz durchgeführten Messungen. Auch nach Götz' Befund zeigt sich die Steigerung im Frühjahr größer als im Herbst; im Winter war sie kleiner als im Sommer.

wellig Ultraviolett 15,59fach). Der Tagesgang ist der gleiche wie in den anderen Spektralteilen, nämlich Maximum mittags, Anstieg und Abstieg zum Maximum zwar nicht immer symmetrisch, aber teils vormittags, teils nachmittags ein wenig jäh, was teilweise durch die den Messungen der kleinen Intensitäten anhaftenden Ungenauigkeiten erklärt werden muß. Im Jahresgange wird bei gleichen Sonnenhöhen das Maximum zwar auch im Winter gefunden und das Minimum bei kleinen Sonnenhöhen im Sommer, aber die Frühjahrswerte überwiegen die Herbstwerte im Gegensatz zum Befunde im kurzwelligen ultravioletten Spektralteil, und zwar so bedeutend, daß man die Ursache kaum im Mangel des Meßverfahrens oder in Witterungszufälligkeiten suchen kann. Auch in Davos sind in etlichen Jahren die Frühjahrswerte der langwelligen ultravioletten Sonnenintensität als die größten des Jahres gefunden.

Zu der Muottas-Muraigl-Höhe steigern sich von Davos aus die Werte der langwelligen ultravioletten Strahlung im Jahresmittel

bei 60° Sonnenhöhe	um 28 Proz.,
„ 45 „	„ 34 „
„ 30 „	„ 47 „
„ 20 „	„ 58 „

also nur $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ soviel wie im kurzwelligen Ultraviolett (s. S. 59), was nicht korrespondiert mit dem von P. Götz¹⁾ aus Vergleichsmessungen zwischen Arosa und Chur gezogenen Schluß, daß das langwellige Ultraviolett in der Zwischenschicht mehr absorbiert werde als das kurzwellige. Die Steigerung ist im Frühjahr wiederum stärker als im Herbst, aber, entgegengesetzt dem Befunde im kurzwelligen Ultraviolett, stärker im Winter als im Sommer, was durch die bei niedrigen Sonnenhöhen, also sehr kleinen Intensitäten, stark vermehrte Fehlermöglichkeit der Methode gedeutet werden könnte. Für die Höhendifferenz Agra : Davos ergibt sich: An klaren Tagen (Föhn) ist die Steigerung mit der Höhe für langwelliges Ultraviolett bei allen, außer den kleinsten, Sonnenhöhen wesentlich geringer als für kurzwelliges Ultraviolett, an Tagen mit Dunst ist es dagegen umgekehrt, und zwar ganz besonders bei den niedrigsten Sonnenhöhen, also die Intensität gerade des langwelligen Ultravioletts ist hiernach am meisten abhängig vom Dunstgehalt der Luft.

Die außerordentlich jähren Schwankungen des kurzwelligen Ultravioletts, wie sie hier in den Messungen der Praxis im Tages-

¹⁾ Verh. d. Schweiz. Naturf. Ges. 1924, S. 110.

und Jahreslaufe sich kundgeben, erklären sich durch den S. 54 zahlenmäßig aufgeführten außerordentlich schnellen Intensitätsabfall der letzten in dem Sonnenspektrum vorhandenen Wellenlängen, welche zu einem wesentlichen Teile im Tages- und Jahreslaufe erscheinen und wieder verschwinden. Für Davos sind die entsprechenden Daten hierfür durch mehrjährige Dauerregistrierungen festgelegt in den Tabellen 19 bis 23 (Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1911). Dies Erscheinen und Verschwinden hängt in erster Linie von der Sonnenhöhe, also der von den Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurückgelegten Weglänge, ab, daneben aber von anderen Faktoren, unter denen die Absorption durch das in hohen Atmosphärenschichten unter der Wirkung kurzwelliger Sonnenstrahlung (der Menge nach zeitlich schwankend) gebildete Ozon sicherlich der wichtigste sein dürfte. Diese von der Sonnenhöhe unabhängigen Schwankungen der ultravioletten Sonnenintensität ausschließlich durch den Wechsel des Ozongehaltes zu erklären, lehnte der Verfasser schon 1919 ab, indem er¹⁾ noch sechs andere Möglichkeiten der Erklärung gab:

1. Rayleighs Formeln führen zu dem Schluß, daß von der einkommenden Strahlung der Sonne sowohl die kleinsten als auch die größten Wellenlängen letzten Endes verlorengehen. Die im Sommer und Herbst unter Wärmewirkung erfolgende Lockerung der Atmosphäre, auf welche wir aus mannigfachen, durch die Beobachtung belegten Gründen schließen, dürfte den Effekt haben, daß insbesondere kurzwellige Strahlen tiefer in die Atmosphäre eindringen, weniger zum Weltenraum zurückzerstreut werden und daher relativ reicher bis zur Erdnähe vordringen.
2. In der gelockerten Atmosphäre des Sommers und Herbstes befinden sich die Gase unter geringerem Druck und in geringerer Konzentration, was nach Lenards Untersuchungen nicht ohne Einfluß sein kann auf die chemische Umsetzung unter der Wirkung der ultravioletten Strahlen und sich vermutlich darin zeigen wird, daß im Sommer und Herbst die ultravioletten Strahlen in reicherm Maße die Atmosphäre passieren.
3. Dopplereffekt an elektrischen Strahlen der höchsten Atmosphärenschichten.
4. Jahresgang der Kondensationen in Höhe von 10 bis 12 km (nachgewiesen vom Referenten in „Dämmerungs- und Ringerscheinungen“, Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 5, Nr. 5, 1917).

¹⁾ Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 6, 286 bis 288, 1919.

5. Staubmassen, welche in der Ekliptikebene liegen.
6. Unter der Annahme einer Linsenform der Atmosphäre haben die Sonnenstrahlen auf ihrem Wege zu mittleren geographischen nördlichen Breiten im April und Mai dickere Schichten der Erdatmosphäre zu durchsetzen als im Oktober und November.

Punkt 1. und 2. scheinen besonders beachtenswert, seitdem G. M. B. Dobson aus den von Fabry und Buisson experimentell festgestellten Absorptionskoeffizienten des Ozons und dem Intensitätswechsel der kurzwelligsten ultravioletten Linien des Sonnenspektrums die Schwankungen des Ozongehaltes der hohen Atmosphäre dauernd zu verfolgen unternommen und dabei eine enge Beziehung zwischen Ozongehalt und atmosphärischem Druck gefunden hat. Die Korrelation der kurzwelligen Strahlungsintensität muß nach des Verfassers Meinung außer zum Ozongehalt in enger Beziehung stehen zu der (mit Druck- und Temperaturdifferenzen parallelen) mehr oder weniger gelockerten Atmosphäre und damit verbundenen größeren oder kleineren Durchlässigkeit derselben für die kurzwelligsten Wellenlängen. Hier ist Makrophysik im Spiel, nicht die Mikrophysik des Laboratoriumsexperimentes¹⁾.

Vor Abschluß der Korrekturen dieser Arbeit erscheint in Zeitschr. f. Geophys. 1927, Heft 4, Otto Hölpers „Intensitätsverteilung im ultravioletten Sonnenspektrum“, in welcher er mit vorgeschrittener Apparatur etliche wichtige Befunde des Verfassers aus den Jahren 1907 bis 1910 bestätigt und ähnliche Einsprüche gegen zu einseitige Gleichsetzung der Schwankungen der Intensität der Sonnenstrahlung im äußersten Ultraviolet mit dem Ozongehalt erhebt, wie es der Verfasser schon 1919 und neuerdings (Meteorol. Zeitschr. 1927, Heft 3) in Entgegnung auf Götz' Ableitungen getan hat. Hölpers bestätigt das stoßweise Auftreten gewisser Strahlengruppen im äußersten Ultraviolet des Sonnenspektrums, welches den Verfasser zur Aufstellung der Tabellen 22 und 23 in seiner „Studie“ im Jahre 1911 geführt hat, die Auflockerung der Atmosphäre im Jahreslaufe und ihre Wirkung auf das Durchlässigkeitsvermögen der Atmosphäre für die kleinsten Wellenlängen, wenn er diese auch entsprechend den hier S. 62 für das langwelligere Ultraviolet angestellten Betrachtungen in dem wechselnden Dunstgehalt der unteren Atmosphärenschichten sucht statt in den in hohen Höhen unter der Wirkung kurzwelliger ultravioletter Strahlung je nach Druck und Konzentration verschieden zahlreich auftretenden Kondensationen, und als notwendige Folge solcher Auflockerung

¹⁾ Über das von P. Götz geübte Meßverfahren des Ozongehaltes der Atmosphäre ist auf Anmerkung S. 55 zu verweisen.

Luftdruckschwankungen, zu denen daher die rechnerisch aus den Intensitätsschwankungen der letzten Spektrallinien abgeleiteten Ozonmessungen naturgemäß in Korrelation stehen müssen. Wertvollst und in mannigfacher Hinsicht entscheidend ist Hölpers Nachweis der Verkleinerung des Intensitätsverhältnisses zweier Linien mit weiter sich ausdehnendem Spektrum; sie entspricht dem stoßweisen Auftreten gewisser Strahlengruppen.

Die Untersuchungen dieses Abschnittes führten zu dem Schluß, daß mit dem Aufstieg von der 1500-m- zu der 2500-m-Höhe die Steigerung der Sonnenintensität im Ultraviolett, und zwar besonders in dem biologisch wichtigsten kurzwelligen Ultraviolett, weitaus größer ist als in allen anderen Spektralbezirken, daß diese Steigerung aber recht unregelmäßig von Ort zu Ort und von Zeit zu Zeit stattfindet, abhängig vom Dunstgehalt der Luft. Dieser beeinflußt mehr noch als das kurzwellige das langwellige Ultraviolett, weil das erstere auch von anderen Faktoren, darunter den Schwankungen des Ozongehaltes in hohen Atmosphärenschichten, mitbestimmt wird. Ultraviolett- und Ultrarotgehalt wechseln in verschiedenem (bisweilen entgegengesetztem) Sinne mit Tages- und Jahreszeit: Bei nur 1 Proz. geringerer Gesamtintensität und sogar 6 Proz. größerer Rot-Ultrarotintensität besitzt auf Muottas-Muraigl die mittägliche Wintersonne nur ein Sechstel des Ultraviolettgehaltes der mittäglichen Sommersonne.

II. Himmelsstrahlung.

Das über Himmelsstrahlung vorliegende Material ist gegenüber dem die Sonnenstrahlung betreffenden dem Umfange nach naturgemäß beträchtlich geringer, da für Gewinnung der Normalwerte vollkommen oder fast vollkommen wolkenloser Himmel, nicht nur freie Sonne, Vorbedingung ist. Differiert auch die Zahl der Tagesreihen nach S. 21 nicht beträchtlich, so bestehen für die Himmelsstrahlung innerhalb dieser Tagesreihen leider häufig klaffende Lücken.

Kurzwellige ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung. Das bei wolkenlosem Himmel mit Ängströms Pyranometer gesammelte Material reicht leider nicht aus zur Ableitung der Sommerwerte der Himmelsstrahlung (ausschließlich Sonne), und für alle Perioden mußten Vor- und Nachmittagswerte vereinigt werden, denn es wirken gerade bei dieser Strahlung Reflexionen von hellen Wolken auch nur kleiner

Tabelle 18.

Intensitäten und Stundensummen der kurzwelligen ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung von Sonne + Himmel in Wirkung auf die Horizontalfäche nach Abhängigkeit von der Tageszeit.

a) Intensitäten $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2} \right)$.

Zeit	W. S. Z.	a) Intensitäten $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2} \right)$										Mg	Maximum
		5 ^a und 7 ^p	6 ^a und 6 ^p	7 ^a und 5 ^p	8 ^a und 4 ^p	9 ^a und 3 ^p	10 ^a und 2 ^p	11 ^a und 1 ^p					
23. Juli bis 2. August 1923 .	0,105	0,368	0,537	0,769	1,120	1,430	1,588	1,590	1,590	1,590	1,590	1,590	1,590
2. bis 14. Oktober 1923 . .			0,114	0,363	0,689	0,950	1,104	1,159	1,159	1,159	1,159	1,297	1,297
20. bis 27. Januar 1924 . . .				0,065	0,392	0,660	0,812	0,863	0,863	0,863	0,863	0,863	0,863
8. bis 13. März 1924			0,190	0,451	0,754	0,997	1,161	1,223	1,223	1,223	1,223	1,287	1,287

b) Stundensummen (gcal).

Zeit	W. S. Z.	b) Stundensummen (gcal)										Mg	Tages- summe
		Tagesstunden (wahre Sonnenzeit), endigend mit											
		5 ^a und 7 ^p	6 ^a und 6 ^p	7 ^a und 5 ^p	8 ^a und 4 ^p	9 ^a und 3 ^p	10 ^a und 2 ^p	11 ^a und 1 ^p					
23. Juli bis 2. August 1923 .		3,2	14,2	27,2	39,2	56,7	76,5	90,4	95,2	95,2	805,2		
2. bis 14. Oktober 1923 . .				3,4	14,3	31,6	49,2	61,6	67,9	67,9	456,0		
20. bis 27. Januar 1924 . . .					2,0	13,7	31,6	44,2	50,3	50,3	283,6		
8. bis 13. März 1924				5,7	19,3	36,2	52,5	64,8	71,6	71,6	500,2		

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

Tabelle 19.

Intensitäten und Stundensummen der kurzwelligen ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung allein des Himmels in Wirkung auf die Horizontalfäche nach Abhängigkeit von der Tageszeit.

Zeit	a) Intensitäten $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2} \right)$.										Mg	Maximum
	5 ^a und 7 ^p	6 ^a und 6 ^p	7 ^a und 5 ^p	8 ^a und 4 ^p	9 ^a und 3 ^p	10 ^a und 2 ^p	11 ^a und 1 ^p			Mg		
23. Juli bis 2. August 1923 .			0,026	0,067	0,080	0,083	0,088				0,090	
2. bis 14. Oktober 1923 . .				(0,057)	0,057	0,066	0,080				0,085	
20. bis 27. Januar 1924 . . .				0,035	0,054	0,068	0,088				0,090	
8. bis 13. März 1924												

Zeit	b) Stundensummen (gcal).										Mg	Tages- summe
	Tagesstunden (wahre Sonnenzeit), eudigend mit												Mg
	5 ^a und 7 ^p	6 ^a und 6 ^p	7 ^a und 5 ^p	8 ^a und 4 ^p	9 ^a und 3 ^p	10 ^a und 2 ^p	11 ^a und 1 ^p			Mg	Tages- summe	
23. Juli bis 2. August 1923 .			0,78	2,79	4,41	4,89	5,13				5,34	46,68
2. bis 14. Oktober 1923 . .				1,71	3,42	3,69	4,38				4,95	36,30
20. bis 27. Januar 1924 . . .				1,05	2,67	3,66	4,68				5,34	34,80
8. bis 13. März 1924												

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

Dimensionen schwer irritierend. Nach Abhängigkeit von der Tageszeit sind gesammelt in Tabelle 18a und 18b die Normalwerte der Intensitäten und der Summen der Sonnen- und Himmelsstrahlung auf die Horizontalfläche, und in Tabelle 19a und 19b dieselben Größen für die Himmelsstrahlung allein.

Letztere korrespondieren nicht gut mit den Werten, welche man ableitet aus der Differenz der auf die Horizontalfläche von Sonne + Himmel fallenden Intensität und der aus der normal auffallenden Sonnenstrahlung durch Multiplikation mit dem Sinus der Sonnenhöhe errechneten horizontalen Komponente der Sonnenstrahlung, und zwar aus zweifachem Grunde, deren erster in den gegebenen Beobachtungsbedingungen liegt, während der zweite als allgemeingültig größerer Beachtung wert ist: 1. Es war gar nicht zu vermeiden, daß auch Werte in die Tabellen eingingen, welche bei Bewölkung der Stärke 1 bis 2 gemessen worden sind. Bei der sehr geringen Wärmestrahlung des wolkenlosen Hochgebirgshimmels und dem großen Reflexionsvermögen der an heiteren Tagen auftretenden hellen (meist Cumuli) Wolken tritt durch solche, auch wenn sie nur kleine Ausdehnung besitzen, leicht eine relativ große Steigerung der Wärmestrahlung des sonst wolkenlosen Himmels auf die Horizontalfläche ein; 2. die Abschirmung des Pyranometers erbringt unvermeidliche Fehler, denn es muß einschließlich seiner Glocke in dem Schatten stehen, weil sonst deren Reflexion und Brechung böse Fehler hineinbringen würde, und bei seinen nicht geringen Dimensionen (9 cm Durchmesser besitzt die Glocke des hier verwandten ersten Modells des Ångströmschen Pyranometers) werden zusammen mit der Sonne beträchtliche Teile des in Sonnennähe stärkst strahlenden Himmels abgeschattet, welche auf die Horizontalfläche um so wirksamer sind, je höher die Sonne steht; daher wachsen auch die Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung mit steigender Sonne. (Gesetzt, das fälschlich abgeschirmte Himmelsstück besäße 1 Proz. der Sonnenstrahlung, also etwa 0,015 cal bei normalem Auffall oder 0,013 cal bei horizontalem Auffall bei 60° Sonnenhöhe, so bedeutet das etwa 16 Proz. der unter solchen Verhältnissen gemessenen Himmelsstrahlung, was für lichtklimatische Verhältnisse wohl vernachlässigt werden kann, weil schwerlich jemals der Mensch oder ein sonstiges bestrahltes Objekt scharf mit dem Vollschatten der Sonne abschneiden wird, aber für geo- und astrophysikalische Deutungen von außerordentlicher Bedeutung ist.) Dieser letztere Fehler ist allen Pyranometertypen eigen, und er fällt um so schwerer ins Gewicht, je größer die Dimensionen sind, aber in dem Wunsche, diese zu verkleinern, verfällt man in einen anderen, unter gewissen Verhältnissen noch größeren Fehler, denn die Eigenstrahlung der bei Einstrahlung sich über Lufttemperatur erwärmenden, bei Ausstrahlung unter dieselbe erkaltenden Glasglocke wirkt um so stärker auf den Aufnahmekörper, je näher sie ihm steht. Diesbezüglich ist das von L. Gorczynski jüngst empfohlene Solarimeter (welches im übrigen den Vorteil besitzt, daß die Thermosäule in hermetisch geschlossener trockener

Luft liegt) am ungünstigsten, und es dürfte eine charakteristische, mit demselben in Davos aufgenommene Reihe Allgemeininteresse erwecken; sie wird daher hier wiedergegeben:

Messung von Sonnen- und Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel mittels pile solarimétrique unter Glashalbkugel.
Davos, 13. Dezember 1926, horizontale Exposition:

Zeit W. S. Z.	Sonnenhöhe	Millivolt
2 ^P 29'	12,4 ⁰	1,021
54	9,8	0,588
3 8	8,2	0,381

Sonne hinter Berg 3^P 9' bis 3^P 11' (also Instrument in Schatten tretend).

3 ^P 11'	7,9 ⁰	— 0,065
14	7,5	— 0,022
20	6,8	0,000
29	5,7	0,022
49	3,1	0,022
4 10	0,3	— 0,014
31	— 2,7	— 0,065
47	— 5,1	— 0,079

Die bei Eintritt des Instruments in den Schatten (Sonne hinter Berg) einsetzende Ausstrahlung zeigt zunächst negative Werte (3^P 11' bis 3^P 14'), um, sich allmählich ausgleichend, über Null (3^P 20') in die tatsächlich vorhandene kleine positive Einstrahlung 0,02 überzugehen, welche dann bei Sinken der Sonne unter den Horizont in den tatsächlich vorhandenen negativen, der Ausstrahlung entsprechenden Ausschlag übergeht. Der Ausgleich hat mehr als eine Viertelstunde gedauert.

Der Tagesgang beider Strahlungen, Sonne + Himmel ($S + H$) und Himmel allein (H), zeigt regelmäßigen Anstieg zum Mittagmaximum, die Amplituden beider sind aber gänzlich voneinander verschieden, die Himmelsstrahlung verläuft viel gleichmäßiger und variiert vom frühen Morgen zum Mittag je nach der betrachteten Jahreszeit 2- bis 6 mal weniger.

Es wachsen die Intensitäten:

	$S + H$	H
Von 9 ^a bis Mittag im Winter auf den Mittags vom Winter zum Sommer	2,20 fachen Wert	1,50 fachen Wert
auf den	1,84 fachen Wert	
Die Tagessummen vom Winter zum Sommer auf den	2,80 fachen Wert	

Die Amplituden sind bei der Wärmestrahlung auf die Horizontalfläche nur etwa zwei Drittel so groß wie für die Orshelligkeit (s. S. 46/47).

Die strahlenvermehrnde Wirkung der Wolken tritt am meisten hervor, wenn bei nicht hohem Sonnenstande helle Cumuli in Zenit-

nähe auftreten. So wurde am 5. Oktober 1923 bei 18° Sonnenhöhe $S_4 B_5$ Cu eine um 31 Proz. über normal gesteigerte Wärmestrahlung von $S + H$ gemessen. Wie strahlungsfähig die Wolken auch bei stark herabgesetzter Helligkeitsstufe der Sonne bleiben, mögen folgende Beispiele beleuchten:

23. Juli 1923: 12^p 38' bei $S_2 B_{10}$ A-Str, Cu,
nur 15 Proz. weniger als normal.

21. Januar 1924: 2^p 33' bei $S_{1-2} B_{8-9}$ A-Str, Cu,
normal, also als wenn die Sonne bei wolkenlosem Himmel
geschieden hätte.

Die Wolken bewahren im Hochgebirge, außer an schweren Gewitter- und Regentagen des Sommers und bei niedrigem Stratus, ihre Helligkeit und meist weiße Farbe, sie wirken daher psychisch nicht deprimierend, sondern im Gegenteil erhebend und sind im anthropoklimatischen Sinne vollkommen anders zu bewerten, als die in der Meteorologie üblichen Bewölkungsziffern glauben machen¹⁾.

Der Anteil, welchen Sonnen- und Himmelsstrahlung bei wolkenlosem Himmel an der Erwärmung der Horizontalfläche nehmen in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe, gibt folgende Tabelle kund:

Tabelle 20.

Verhältnis der Bestrahlungsstärke der Horizontalfläche durch Sonne und Himmel (S/H) an wolkenlosen Tagen.

Sonnenhöhe	
10°	4,3
15	6,0
20	8,9
25	9,4
30	10,2
35	11,3
40	12,7

Stets also überwiegt stark die Sonnenstrahlung, und ihr Einfluß wächst mit zunehmender Sonnenhöhe. Leider ließ sich dies Verhältnis nicht zu hohen Sonnenhöhen im Hochsommer verfolgen, infolge auftretender irritierender heller Wölkchen. Dies Verhältnis wirkt sich dahin aus, daß an wolkenlosen Tagen Sonne und Himmel nach folgenden Vergleichszahlen auf die Horizontalfläche einstrahlen:

S/H im Oktober (Tagessumme)	8,77 : 1
„ „ Januar („)	6,81 : 1
„ „ März („)	13,38 : 1

¹⁾ Knoche, Zeitschr. f. d. ges. physik. Therap. 32, 1926.

Im Hochsommer wäre diese Verhältniszahl infolge des hohen Tagesbogens der Sonne natürlich noch viel größer.

Ein Vergleich mit dem 900 m tiefer gelegenen Davos ist nur an Hand der daselbst in den Jahren 1920/22 regelmäßig durchgeführten Registrierungen möglich, und er zeigt, soweit es Strahlung von $S + H$ anlangt, sowohl für die Mittagsintensitäten als auch für die Tagessummen im Mittel einen Zuwachs mit der Höhe von etwa 9 Proz., während die Himmelsstrahlung an beiden Orten annähernd die gleiche, bei niedriger Sonne in Davos (infolge der den Horizont beschränkenden Berge) kleiner ist, wie die folgende, nach Sonnenhöhen geordnete kleine Tabelle zeigt, welche auch noch über andere Orte berichtet.

Tabelle 21.

Wärmestrahlung nur des Himmels auf die Horizontalfläche $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right)$, geordnet nach Sonnenhöhen für verschiedene Orte.

Sonnenhöhe	Muottas-Muraigl	Davos	Helsingfors, 60° 10' nördlicher Breite	Hump Mountain, 36° 8' nördlicher Breite (1460 m)	Calama, 22° südlicher Breite (2260 m)
5 ⁰	0,021		0,039		0,031
10	0,044		0,070	0,043	0,048
15	0,064	0,038	0,091	0,055	0,063
20	0,069	0,050	0,106	0,060	0,076
25	0,080	0,075	0,113	0,066	0,088
30	0,082	0,078	0,121	0,072	
35	0,087	0,080	0,128	0,076	
40	0,092			0,094	

Das über vollkommen wolkenlose Tage vorliegende Vergleichsmaterial von auf mittlerer Höhe und in der Ebene gelegenen Orten ist beschränkt. Herangezogen konnten nur werden die von H. Lunelund sorgsam durchgeführten Messungen aus Helsingfors [Finnland]¹⁾, also fast im Meeresniveau, und die von A. F. Moore und L. H. Abbot in Hump Mountain (Nordcarolina, 1460 m Meereshöhe) und in Calama (Chile, 2260 m Meereshöhe) ausgeführten²⁾. Von den finnischen sind nur diejenigen Werte in die Tabelle eingegangen, welche Lunelund an allerklarsten Tagen des Winters und des Frühjahrs gefunden hat; von den amerikanischen Werten fallen die in Hump Mountain gesammelten in den Spätherbst (August bis November), die in Calama beobachteten in den Hochsommer (Dezember). Wenn man die bei Sonnenhöhen oberhalb 20⁰ zusammengetragenen, vom natürlichen Horizont nicht mehr wesentlich beeinflussten Größen miteinander

¹⁾ Soc. Scient. Fennica 3, 5, 1926.

²⁾ Smiths. Misc. Collect. 71, Nr. 4, 1920.

vergleicht, findet man die Werte bei größeren Höhenlagen, zumal bei Berücksichtigung der verschiedenen Jahreszeiten, in denen sie gesammelt sind, zufriedenstellend zueinander stimmend, dagegen auch die ausgesuchtesten Werte der Ebene beträchtlich (etwa 50 Proz.) höher liegend.

Mehr noch als der Vergleich der Himmelsstrahlung allein lehrt derjenige des Verhältnisses der Anteile, welche Sonne und Himmel an der Wärmestrahlung auf die Horizontalfläche nehmen; zu diesem Vergleich können auch noch die aus Washington publizierten Zahlen herangezogen werden.

Tabelle 22.

Verhältnis der Wärmestrahlung von Sonne und Himmel (S/H) auf die Horizontalfläche an wolkenlosen Tagen für verschiedene Orte.

Sonnenhöhe	Muottas-Muraigl	Davos	Helsingfors	Hump Mountain	Calama	Washington	
						Winter	Sommer
10 ⁰	4,3	3,9	2,3	3,7	4,4	1,7	1,5
15	6,0	6,2	3,2	5,3	5,4	2,5	1,7
20	8,9	8,5	3,7	6,9	7,1	3,5	2,4
25	9,4	10,2	4,1	7,6	8,4	4,2	2,8
30	10,2	11,5	4,6	8,8	9,6	5,0	3,1
35	11,3	12,8	5,5	9,7	11,4	5,9	3,4
40	12,7			10,6		6,7	3,7

Aus diesem Vergleich springt gleichzeitig die in der Ebene gegenüber der Höhe sehr verminderte Sonnen- und sehr vermehrte Himmelsstrahlung hervor, und gleichzeitig aus den Washingtoner Zahlen der Einfluß der Jahreszeit, die Ungunst des Winters gegenüber dem Sommer.

Wie sich diese bisher für gleiche Sonnenhöhen verglichenen Zahlen auswirken auf die im Laufe des Tages und Jahres an wolkenlosen Tagen auf die Horizontalfläche einfallende Sonnen- und Himmelsstrahlung, kann aus dem Vergleich der Muottas-Muraigl-Werte mit solchen, welche in Stockholm von A. Ångström gewonnen sind¹⁾, entnommen werden.

	Tagessummen cal $S + H$		Tagessummen cal H		$S : H$	
	Muottas-Muraigl	Stockholm	Muottas-Muraigl	Stockholm	Muottas-Muraigl	Stockholm
Juli/August.	805	188		13		13,2
Oktober . .	456	73	47	26	8,8	1,8
Januar . . .	284	26	36	13	6,8	1,0
März	500	114	35	28	13,4	3,0

¹⁾ Tidskrift Svenska Sällskapt for Antropologi 1924, Heft 1.

gehenden Strahlung vergleicht, denn sie übertrifft diese um das 3- bis 4fache. Zu allen Jahres- und Tageszeiten hat, vorausgesetzt, daß die Ausstrahlung Tag und Nacht gleich ist (s. unten), in der Muottas-Muraigl-Höhe der Wärmestrom an wolkenlosen Tagen ausgehende Richtung von der Erde zum Himmel, und er ist von solcher Größe, daß er in den frühen Morgen- und späten Abendstunden durch die Wärmezufuhr seitens der tiefstehenden Sonne kaum kompensiert wird. Rechnerisch wird auf diese Verhältnisse an Hand der Totalsummen sogleich eingegangen werden, eine Tabellierung nach Tagesstunden (Tabelle 18 abzüglich ausgehender Strahlung) ist leider nicht möglich, da die zur Berechnung der stündlichen A -Werte nötigen stündlichen Lufttemperaturen fehlen.

Die Ausstrahlung (A) ist, wie insbesondere der Vergleich von Juli/August mit Juni lehrt, mehr von der Feuchtigkeit der Atmosphäre als von ihrer Temperatur abhängig, die Wärmestrahlung der Atmosphäre (E) dagegen hauptsächlich von der Temperatur. Da sich Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt in ihrer Wirkung auf die Ausstrahlung entgegenarbeiten, so ist der Jahresgang von A klein. Umgerechnet auf gleiche Temperaturen — es ist zwecks Verwendung in Abschnitt 5 die Körpertemperatur des Menschen ($A_{36,5}$) gewählt —, zeigt die Ausstrahlung das Maximum im Winter, das Minimum im Sommer. Der Gang der Ausstrahlung innerhalb der Nacht ist in zwei Nächten (24./25. Januar und 13./14. März) in rohen Zügen verfolgt, er zeigte die bekannte Erscheinung: Maximum des Abends, Minimum des Frühmorgens. In die erste dieser beiden Nächte fiel die S. 31 besprochene exorbitante Trockenheit (25. Januar 7^a 41' 0,13 mm), und dementsprechend wurde als Spätabendwert dieser Nacht das gewaltige Ausstrahlungsmaximum 0,376 gemessen bei $-6,5^{\circ}$ C Lufttemperatur, welchem eine Ausstrahlung bei Körpertemperatur von 0,684 cal und eine effektive Wärmestrahlung der Atmosphäre von nur 0,037 cal entspricht. Danach hätte die mittlere Temperatur der gegenstrahlenden Atmosphäre nur $-127,2^{\circ}$ C betragen — eine schier unglaubliche Zahl, wäre sie nicht begleitet von einem bis auf wenige Prozente die theoretisch größtmögliche Reinheit der Atmosphäre beweisenden Trübungsfaktor von 1,087 (S. 31), gemessen am Spätnachmittag des 24. Januar, welchem in 2456 m Höhe ein Durchlässigkeitsvermögen von 0,96 idealen Atmosphären entspricht. Ist auch der Trübungsfaktor aus der kurzwelligen in der Sonne enthaltenen Strahlung abgeleitet, so muß er schon allein infolge der gemeinsamen Beziehung zur Feuchtigkeit weitgehend parallel gehen den Ausstrahlungswerten der lang-

äußeren Einflüssen durch massiven Kupferzylinder geschützte empfindliche Thermosäulen. Eine Registriervorrichtung hat jüngst A. Angström (Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt 3, Nr. 12, 1927) beschrieben; von großer Bedeutung könnte dies Instrument werden, wenn sich seine Angaben durch Vergleichsmessungen an klimatisch sehr verschieden gearteten Orten als allgemeingültig erweisen.

Tabelle 24.

Totaler Wärmeumsatz durch Strahlung an klaren Tagen auf Muottas-Muraigl. Tagessummen in Grammkalorien.

Zeit	Von $S + H$ eingehende Strahlungssumme	Ausgehende Strahlungssumme	Gewinn + Verlust -
23. Juli bis 2. August 1923	805	412	+ 393
2. bis 14. Oktober 1923 .	456		
20. bis 27. Januar 1924 .	284	354	- 70
8. bis 13. März 1924 . .	500	354	+ 146

Bei dauernd wolkenlosem Himmel erbringen hiernach nur die Monate tiefsten Sonnenstandes einen Wärmeverlust durch Strahlung. Im Juli wird an wolkenlosen Tagen von der eingehenden Strahlung fast genau die Hälfte einbehalten und die andere wiederum als Strahlung abgegeben.

Ganz falsch wäre es aber, diese Rechnung auf die tatsächlichen Verhältnisse in der Natur übertragen zu wollen, beruht sie doch auf den Angaben, welche die praktisch alle Strahlen absorbierende und emittierende schwarze Fläche macht, sie berücksichtigt also nicht das Reflexionsvermögen der Erdoberfläche, im vorliegenden Falle insbesondere des Schnees. Führt man für die Einstrahlung bei Schneelage die Absorption des Schnees 0,3 und bei fehlendem Schnee die Absorption von Wiese und Gestein 0,9 ein, während die langwellige Ausstrahlung unverändert bleibt (denn nach J. Maurers Messungen und aus theoretischen Gründen strahlt der Schnee annähernd wie eine schwarze Fläche, und gleiches dürfte auch von der Vegetations-, Humus- und Gesteindecke anzunehmen sein), so erhält man:

	Juli/August	Januar	März
Eingestrahlt	725	85	150
Ausgestrahlt	412	354	354
Differenz	+ 313	- 269	- 204

Danach wurden von der gesamten (von der schwarzen Fläche angezeigten) Einstrahlung im Juli/August einbehalten 39 Proz. und

welligen Wärmestrahlung der Erde. Schlecht passen die Zahlen freilich zu Lindeman und Dobsons aus Sternschnuppenbeobachtungen abgeleiteter Hypothese einer Temperatur von $+27^{\circ}$ in 60 bis 160 km Atmosphärenhöhe (Meteorol. Zeitschr. 1926, S. 454) und es ist wohl gut, ihre Verifikation durch wiederholte Messungen abzuwarten, zumal das nächst höchste beobachtete Maximum nicht einmal voll 0,300 erreicht hat.

Das Material reicht nicht aus, um den Einfluß der Wolken nach Bewölkungsziffer, Wolkenart und Wolkenhöhe auf die Ausstrahlung im einzelnen abzuleiten, nur die Minima machen die Aussage, daß bei nebelartigem Stratus die Einbuße der Ausstrahlung etwa 80 Proz. beträgt gegenüber dem unter gleichen Feuchtigkeits- und Temperaturverhältnissen bei Wolkenfreiheit gefundenen A -Werte, was dem Befunde in Davos (Meteorol. Zeitschr. 1922, S. 315) entspricht.

Totaler Wärmeumsatz durch Strahlung. Aus den in Tabelle 18 niedergelegten mittleren Einstrahlungswerten von Sonne + Himmel an wolkenlosen Tagen auf die Horizontalfäche und den als A_M in Tabelle 23 bezeichneten, auf die mittlere Tages-temperatur sich beziehenden Ausstrahlungswerten ist nun der gesamte Wärmeumsatz durch Strahlung an wolkenlosen Tagen ableitbar unter der Annahme, daß die langwellige Strahlung des Taghimmels der des Nachthimmels entspricht — eine Annahme, welche nach Beobachtungen während Sonnenfinsternissen begründet ist. Tabelle 24 enthält die einfache Rechnung.

Hier sei eingeschaltet, daß nach des Verfassers Erfahrung die heutige Publikationsart von Wärmestrahlung der Sonne, des Himmels und der Erde, gemessen mit Pyrheliometern und Pyranometern, bei den der Materie Fernerstehenden (Botanikern und Medizinern) nicht selten zu Irrtümern geführt hat, indem nicht genügend betont worden ist, daß sich diese Messungen nur auf die kurzwellige ($< 3 \mu$) in der Sonnenstrahlung vorhandene Wärmestrahlung beziehen, aber daneben stets die langwellige, von den unter Glasglocke liegenden Pyranometern nicht angezeigte Wärmestrahlung besteht, welche bei Messung der Strahlung der Erdoberfläche, vielmehr aber wohl noch bei derjenigen des Himmels, sowohl am Tage als auch in der Nacht außerordentlich ins Gewicht fällt, wofür die hier gerade behandelte Rechnung ein ziffernmäßiges Beispiel bietet. Außerordentlich wichtig wäre daher, daß neben den zurzeit allmählich weitere Verbreitung findenden Registrierungen der Einstrahlung von Sonne + Himmel mittels Pyranometers auch die Ausstrahlung gemessen, oder besser dauernd registriert und in Rechnung gesetzt werde. Zu diesem Zwecke kann das von W. H. Dines konstruierte Äther-Differential-Radiometer dienen oder — wie in Davos — von

als Strahlung durch Reflexion und Ausstrahlung wieder abgegeben 61 Proz., während im Januar und März außer der ganzen eingehenden Strahlung noch fernere 95 bzw. 41 Proz. ausgestrahlt werden. Genügende Vergleichszahlen liegen nur vor von Davos und Stockholm.

Tabelle 25.

Vergleich von Ausstrahlung und Wärmeumsatz verschiedener Orte an wolkenlosen Tagen.

Zeit	Ausstrahlung $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$			24 stündiger Wärmeumsatz durch Strahlung ohne Berücksichtigung der Reflexion (gcal)		
	Muottas-Muraigl	Davos	Stockholm	Muottas-Muraigl	Davos	Stockholm
Juli/August	0,261	0,189	0,154	+ 393	+ 489	— 67
Oktober . .		0,207	0,161		+ 112	— 180
Januar . . .	0,248	0,179	0,161	— 70	— 43	— 232
März	0,245	0,215	0,174	+ 146	+ 196	— 149
Juni	0,212	0,185	0,156		+ 643	— 49

Die Ausstrahlung steigert sich hiernach beim Aufstieg von 1560 m zu 2456 m Höhe im Mittel um 29 Proz. (bei relativ wenig geänderten Verhältnissen der Temperatur und Feuchtigkeit), und zwar am wenigsten zur kalten Jahreszeit, in der die Feuchtigkeitsdifferenzen am kleinsten sind, dagegen nur um 19 Proz. beim Aufstieg vom Meeresniveau zur 1560-m-Höhe (bei freilich grundsätzlich geänderter Temperatur und Feuchtigkeit). Die Änderung des totalen Wärmeumsatzes mit der Höhe nimmt einen hiervon grundsätzlich abweichenden Verlauf: Die 1560-m-Höhe ist hierbei die bevorzugteste, sie behält wesentlich mehr (zu allen Jahreszeiten etwa 27 Proz. mehr) Strahlung ein als die 2456-m-Höhe, und das nördlich in der Ebene gelegene Stockholm verliert an klaren Tagen (infolge geringer Wärmezufuhr seitens einer niedrig stehenden Sonne und relativ großer Ausstrahlung bei niedrigen Lufttemperaturen) im Mittel etwa so viel Wärme, wie Muottas-Muraigl an Strahlungszufuhr gewinnt. Die Unterschiede sind am beträchtlichsten im Sommer, fallen aber physiologisch vielleicht im Winter bei an sich niedrigen Temperaturen und geringer Strahlungszufuhr am meisten ins Gewicht.

Wohlverstanden gelten diese Vergleichszahlen nur für wolkenlose Tage und Nächte, und solche beschert — wie man sieht, in großer Weisheit — die Vorsehung dem hohen Norden nicht häufig. Die schützende Atmosphäre erhöht nach Emdens Rechnung im Winter die Temperatur des 50. Breitenkreises um 33°, die des 60. Breitenkreises um 57°, und zwar besonders dadurch, daß infolge der all-

gemeinen Zirkulation der Atmosphäre in dieser Jahreszeit aus den äquatorialen Gebieten mit großen Wärmemengen beladene, strahlungsfähige, wolkenreiche Luftmassen in die höheren Breiten geführt werden.

Aus diesem, die von Sonne und Himmel eingehende kurzwellige und von der Erde ausgehende langwellige Wärmestrahlung in Wirkung auf die Horizontalfläche behandelnden Abschnitt ist vorzugsweise festzuhalten, daß bei Aufstieg von der Davoser zur Muottas-Muraigl-Höhe die eingehende Strahlung etwa 9 Proz. Steigerung erfährt, welche ausschließlich von der Sonnen-, nicht der Himmelsstrahlung herrührt, und daß die langwellige ausgehende Strahlung ganz wesentlich mehr (29 Proz.) zunimmt, und zwar in der warmen Jahreszeit mehr als in der kalten. Aus beiden ergibt sich für Muottas-Muraigl ein wesentlich und in allen Jahreszeiten fast gleichmäßig (um 27 Proz.) gesteigerter Wärmeumsatz.

Ultraviolette Himmelsstrahlung. Das mittels der Cadmiumzelle filterlos gesammelte, aber nach S. 55 doch im wesentlichen nur das biologisch wirksamste Ultraviolett $< 320 \mu\mu$ betreffende Material ist niedergelegt nach Abhängigkeit von der Tageszeit in Tabelle 26 und nach Abhängigkeit von der Sonnehöhe, getrennt für Vor- und Nachmittag, in Tabelle 27, und zwar in beiden Tabellen unter a) für die von Sonne + Himmel ($S + H$) und unter b) für die allein vom Himmel (H) auf die Horizontalfläche fallenden Intensitäten. Im Januar sind leider keine zuverlässigen Messungen der ultravioletten Himmelsstrahlung (ausschließlich Sonne) gewonnen worden.

Wie die Sonnenstrahlung, so variiert auch die Himmelsstrahlung und infolgedessen auch die Summe beider im Ultraviolett weit mehr als in irgend einem anderen Spektralteile. Das Maximum fällt bei im allgemeinen wohl vor- und nachmittags symmetrischem Anstieg pointiert auf die Mittagszeit sowohl für $S + H$ als auch für H . Die Mittagsintensitäten wachsen vom Winter zum Sommer für $S + H$ auf den 5,0fachen Wert (gegenüber 2,6 für Ortshelligkeit, Tabelle 12, und 1,8 für Wärmestrahlung, Tabelle 18), und entsprechende Verhältnisse ergeben sich für alle in diesen Tabellen korrespondierenden Zahlen. Die ultraviolette Himmelsstrahlung schwankt weniger als die ultraviolette Sonnenstrahlung, wenn der Unterschied auch nicht entfernt so groß ist wie bei der Wärmestrahlung (Tabelle 18 verglichen mit Tabelle 19). Daher nimmt das Verhältnis

$$\frac{\text{Ultraviolette Sonnenstrahlung}}{\text{Ultraviolette Himmelsstrahlung}}$$

Tabelle 26.

Ultraviolette Intensität der Sonnen- + Himmelsstrahlung und allein der Himmelsstrahlung
in Wirkung auf die Horizontalfläche nach Abhängigkeit von der Tageszeit.

Maßeinheit: Davoser Galvanometerskala (1 Teil = $3,5 \cdot 10^{-11}$ Amp.)

Zeit	W. S. Z.											
	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	Mg	1 ^p	2 ^p	3 ^p	4 ^p	5 ^p	6 ^p
a) Sonnen- + Himmelsstrahlung.												
23. Juli bis 2. August 1923	110,2	254,2	436,4	598,4	714,9	746,8	689,8	591,2	439,4	273,7	140,2	42,5
2. bis 14. Oktober 1923						466,0	423,6	295,7	152,2	69,8		
20. bis 27. Januar 1924						150,3	140,4	105,6	54,0	9,2		
8. bis 13. März 1924			160,0	230,5								
18. bis 19. Juni 1924			462,1	633,5	750,0	779,3						
b) Himmelsstrahlung.												
23. Juli bis 2. August 1923	72,6	139,8	207,2	252,0	284,9	295,2	281,4	257,2	207,2	152,1	100,2	36,3
2. bis 14. Oktober 1923						304,3	273,7	191,8	104,0	52,0		
20. bis 27. Januar 1924												
8. bis 13. März 1924			115,6	145,1								
18. bis 19. Juni 1924			189,5	214,7	234,0	241,4						

Über Reduktion der wahren Sonnenzeit (W. S. Z.) auf mitteleuropäische Zeit s. S. 22.

Tabelle 27. Ultraviolette Intensität
und allein der Himmelsstrahlung in Wirkung auf die

Maßeinheit: Davoser Galvanometer-

Zeit	Sonnenhöhe				
	5°	10°	15°	20°	25°
	a) Sonnen- +				
23. Juli bis 2. August 1923		21,6	52,4	112,1	126,0
2. bis 14. Oktober 1923		9,8	47,4	130,0	152,2
20. bis 27. Januar 1924		33,8	75,1	119,9	157,0
8. bis 13. März 1924				117,5	159,6
18. bis 19. Juni 1924					
	b) Himmels-				
23. Juli bis 2. August 1923		20,7	45,0	91,5	82,8
2. bis 14. Oktober 1923		8,1	39,5	92,2	105,3
20. bis 27. Januar 1924					104,0
8. bis 13. März 1924				95,1	115,2
18. bis 19. Juni 1924					

In jeder Rubrik bedeuten die Zahlen links oben den aufsteigenden, die Zahlen rechts unten den

mit steigender Sonne in dem von Tabelle 28 angezeigten Maße zu:

Tabelle 28.

Verhältnis der ultravioletten Sonnen- und Himmelsstrahlung
(S/H) in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.

Zeit	10°	15°	20°	25°	30°
23. Juli bis 2. August 1923	0,043	0,164	0,225	0,478	0,662
2. bis 14. Oktober 1923		0,200	0,250	0,489	0,550
8. bis 13. März 1924			0,236	0,385	0,528

Zeit	35°	40°	45°	50°	55°	60°
23. Juli bis 2. August 1923	0,815	0,982	1,110	1,260	1,368	1,476
2. bis 14. Oktober 1923						
8. bis 13. März 1924						

der Sonnen- + Himmelsstrahlung
Horizontalfläche nach Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.

Skala (1 Teil = $3,5 \cdot 10^{-11}$ Amp.).

30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°
Himmelsstrahlung.							
191,6	276,1	362,8	459,8	553,8	638,3	730,6	
214,7	291,1	376,2	461,6	550,2	629,2	701,2	
243,4	378,0						
208,1							
		(392,9)	431,1	504,7	601,9	710,1	764,8
Strahlung.							
112,2	152,1	183,0	219,1	241,7	264,2	291,8	
132,9	160,5	189,9	217,5	246,9	271,1	286,5	
157,0	244,0						
136,2							
		172,2	184,7	197,8	211,3	224,5	237,6

absteigenden Ast.

Die Tabelle zeigt gleichzeitig, einen wie gewaltigen Anteil im Ultraviolett die Himmelsstrahlung an der gesamten UV-Strahlung hat: Bis zu etwa 45° Sonnenhöhe überwiegt die Himmelsstrahlung, erst bei höher steigender Sonne die Sonnenstrahlung, während nach Tabelle 22 die Wärmestrahlung des Himmels bei 45° Sonnenhöhe nur etwa den 13. Teil von der der Sonne ausmacht und dieser auch bei niedrigsten Sonnenhöhen nie gleichkommt. Das zerstreute Tageslicht ist eben relativ am reichsten an ultravioletter Strahlung. Der für die ultraviolette Sonnenstrahlung gefundene Jahresgang, nach welchem bei gleicher Sonnenhöhe die Herbstwerte über den Frühjahrswerten liegen, scheint auch für die Himmelsstrahlung zuzutreffen, doch reicht das mangelhafte Material zur vollen Entscheidung nicht aus.

Ein Vergleich mit freilich aus den Jahren 1916/17 stammendem Davoser Material führt zu dem Schluß, daß beim Aufstieg von 1560

zu 2456 m die ultraviolette Intensität der Himmelsstrahlung abnimmt, und zwar um rund 10 Proz. Das Verhältnis S/H ist nämlich laut Tabelle 28 und Tabelle 53 der Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst., Bd. VI, in Muottas-Muraigl wesentlich größer als in Davos, nämlich um

66	Proz.	bei	60°	Sonnenhöhe,
88	„	„	50°	„
101	„	„	30°	„
92	„	„	20°	„

und dies im Verein mit der S. 59 konstatierten Zunahme der ultravioletten Sonnenintensität führt zu dem Resultat, daß die ultraviolette Himmelsstrahlung auf Muottas-Muraigl

85	Proz.	bei	60°	Sonnenhöhe	}	im Mittel rund 90 Proz.
77	„	„	50°	„		
83	„	„	30°	„		
134	„	„	20°	„		

derjenigen von Davos ausmacht. Man wird das Resultat wahrlich nicht als voll gesichert gelten lassen und verallgemeinern können, aber bei Fortsetzung der Beobachtungen berücksichtigen müssen. Bei im Mittel etwa 66 Proz. Zunahme der Sonnenstrahlung (S. 59), 10 Proz. Abnahme der Himmelsstrahlung und einem mittleren Verhältnis der Anteile von Sonnen- und Himmelsstrahlung von 0,80 ergibt sich eine Zunahme der gesamten ultravioletten Strahlung (von Sonne und Himmel in Wirkung auf die Horizontalfläche) von 23 Proz. beim Aufstieg von Davos nach Muottas-Muraigl gegenüber nur 9 Proz. für die von Sonne und Himmel eingehende kurzwellige Wärmestrahlung (s. S. 73).

Weiter fortschreitend zur 3450-m-Höhe von Jungfraujoch, findet man (freilich nach den Messungen nur eines einzelnen Herbsttages, des 13. September 1923, verglichen mit den Oktoberwerten von Muottas-Muraigl) eine weitere beträchtliche Abnahme der ultravioletten Himmelsstrahlung, nämlich

27	Proz.	bei	35°	Sonnenhöhe	}	im Mittel etwa 20 Proz. ¹⁾ .
10	„	„	30	„		
26	„	„	20	„		

¹⁾ In seinem schon S. 38 und 45 erwähnten, während der Niederschrift dieser Arbeit erschienenen „Strahlungsklima von Arosa“ bespricht P. Götz die vom Verfasser schon 1919 (Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 6, 222 und 223) ausführlich erörterten Schwierigkeiten, welche die ungenügende Diffundierung der Sonnenstrahlen durch die für die Messungen benötigte Quarzplatte verursacht. Er stellt ein neues Beleuchtungsgesetz für diese Quarzplatte auf, welches doch nur empirisch gefunden sein kann, ohne anzugeben, welche Lichtquelle er hierbei

Einen Beitrag zu der Frage der Abnahme der ultravioletten Himmelsstrahlung mit der Höhe bieten noch Messungen, welche auf Muottas-Muraigl und in Agra mit gleicher Apparatur vorgenommen sind und sich allein auf eine 30° um Zenit verlaufende Himmelszone beziehen. Bei dieser konnte das diffundierende Quarzglas fortgelassen werden und damit fallen mögliche Einwände gegen die völlige Richtigkeit der bisher besprochenen Werte der ultravioletten Himmelsstrahlung fort. Die Tabelle 29 bringt die Muottas-Muraigl-Werte und in Klammern die korrespondierenden Werte des etwa 1900 m niedriger gelegenen Agra.

Tabelle 29.

Vergleich der ultravioletten Strahlung einer 30° um Zenit verlaufenden Himmelszone zwischen Muottas - Muraigl (2456 m) und Agra (565 m) in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.

Maßeinheit: Davoser Galvanometerskala (1 Teil = $3,5 \cdot 10^{-11}$ Amp.).

Zeit \ Sonnenhöhe	Sonnenhöhe							
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
Juli/August	2,2	(6,4) 4,8	(10,9) 10,1	(16,1) 16,0	(23,2) 21,5	(31,1) 27,4	(38,7) 37,2	(46,8)
Oktober	(—)	(6,9) 5,6	(14,9) 11,7	(20,7) 15,8	(26,7) 20,6	(32,9)	(—)	
Januar		(7,0) 8,4	(12,9) 9,8	(19,6) 14,3	20,7	27,2	33,2	

Die in Klammern gesetzten Zahlen beziehen sich auf Agra.

benutzt hat. Gleichmäßige Beleuchtung durch künstliche Lichtquellen konstanter Intensität bietet im Ultraviolett nach des Verfassers Erfahrung Schwierigkeiten, und er kann daher nicht ohne weiteres annehmen, daß sein zur Ermittlung der Durchlässigkeit der Quarzplatte die ultraviolette Himmelstrahlung selbst verwendendes Verfahren gegen das von P. Götz geübte zurücksteht. Wie l. c. beschrieben, haben 36 bei Sonnenhöhen, welche zwischen 5 und 65° variierten, durchgeführte Meßreihen zur Ermittlung des Durchlässigkeitsfaktors gedient, welche mit Ausnahme der hohen Sonnenhöhen (55 bis 65°) gut zueinander stimmten. Die bei letzteren auftretenden, bis zu 10 Proz. Abweichungen erbringenden Werte sind auf Differenz der Durchlässigkeit des Quarzglas für kürzere (in Sonnenferne auftretende) und längere (in Sonnennähe auftretende) ultraviolette Strahlen gedeutet. P. Götz kommt auf Grund seines für ultraviolette Himmelsstrahlung ungleich größeren Materials zu dem Schluß, daß in 1860 m Höhe die ultraviolette Himmelsstrahlung ein wenig intensiver ist als in 560 m Höhe, und daß erst in Höhen über 2500 m eine merkliche Abnahme der ultravioletten Himmelsintensität stattfindet.

Man wird auch aus diesen Zahlen eine in Muottas-Muraigl kleinere ultraviolette Himmelsstrahlung herauslesen und die Differenz im Mittel (mit etwa 10 Proz.) ähnlich finden wie die zwischen Davos und Muottas-Muraigl festgestellte. Danach wäre die ultraviolette Himmelsstrahlung in 565 m und in 1560 m Höhe etwa dieselbe und nähme erst oberhalb dieses Höhenniveaus allmählich ab.

Der Einfluß höherer Wolken des Altocumulus- und Cirrus-niveaus auf die Bestrahlung der Horizontalfläche ist im Ultraviolett weitaus kleiner als im sichtbaren Spektrum oder gar im Ultrarot, denn einmal regt die (umgekehrt proportional der vierten Potenz der Wellenlänge erfolgende) vielfache Diffusion an den Luftmolekülen die zwischen den hohen Wolken und der Erdoberfläche befindliche Luftschicht beträchtlich zur Selbststrahlung im Ultraviolett an, so dann ist die Sonnenstrahlung gegenüber der Himmelsstrahlung im Ultraviolett weitaus kleiner als im Sichtbaren und Ultrarot und daher auch die von den hellen Wolken reflektierte ultraviolette Strahlung, und schließlich wird diese auf der Luftstrecke, welche sie zu passieren hat, relativ mehr geschwächt als die übrigen Spektralteile. So kommt es, daß leichte Cirrusbewölkung bei frei bleibender Sonne die ultraviolette Bestrahlung der Horizontalfläche durch $S + H$ kaum noch nachweisbar erhöht und Sonnenbedeckung durch eine solche meist mit Lücken auftretende Wolkenschicht die ultraviolette Bestrahlung der Horizontalfläche kaum noch nachweisbar verändert. Altocumuli verhalten sich ähnlich. Bei hellen Cumuli und frei bleibender Sonne kann eine deutliche Strahlungszunahme auftreten, die sich in den zur Beobachtung gekommenen Fällen maximal auf 6 Proz. belief (gegenüber 31 Proz. im Sichtbaren). Bei bis zu S_2 herabgedrückter Helligkeitsstufe der Sonne und von Ci und Cu zu acht Zehntel bedecktem Himmel sind noch Normalwerte (also solche, welche für wolkenlosen Himmel gelten) gefunden worden, und bei vollkommen durch hellgrauen Stratus abgedecktem Himmel ohne Sonne noch 75 Proz. des Normalwertes. Die ultraviolette Himmelsstrahlung wird also in diesen Höhen allgemein recht wenig von Wolken beeinflusst, außer vermutlich schweren Nimbi des Sommers, welche nicht zur Beobachtung kamen.

Die photochemische Ortshelligkeit, d. h. die Summe der von Sonne + Himmel auf die Horizontalfläche fallenden blauvioletten Strahlung, wurde, wie schon S. 21 erwähnt, gemessen mittels des für meteorologische Meßzwecke mit diffundierendem Milchglas und regenschützender Kappe versehenen Ederschen Graukeilphotometers. Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 81 bis 97 ist die

Methodik genau beschrieben und kritisiert, begleitet von Meßresultaten, welche an 32 zwischen dem 40. und 60. Breitengrade in Europa gelegenen Orten in den Jahren 1923/24 gewonnen worden sind. Noch in diesem Jahre werden in der „Meteorologischen Zeitschrift“ fernere Resultate aus 1924 bis 1926 publiziert werden, welche sich auf die halbe Erdoberfläche vom nördlichen Polarkreis bis zum südlichen Wendekreis beziehen. Die mittels dieser einfachen und billigen Methode nach einheitlichen Vorschriften mittels untereinander genau abgestimmter Keile und Papiere durchgeführten Messungen können 15 bis 20 Proz. Genauigkeit erreichen, was für erste Orientierung über diese bisher unbekannte Größe der Ortshelligkeit schon genügen muß; sie hat den großen Vorteil, daß sie dauernd Helligkeitssummen liefert ohne Unterschied der Wetterlage, während — wie erinnert sei — alle Betrachtungen der Vorabschnitte sich allein auf die Normalwerte, also bei wolkenlosem Himmel geltenden Werte, beschränkten und der Einfluß der Bewölkung auf die Intensitäten nur an Stichproben festgestellt werden konnte und auf bei Bewölkung geltende Helligkeitssummen ganz verzichtet werden mußte.

Die Tabelle 30 enthält die photochemischen Ortshelligkeitswerte nach während der Berichtsperioden gefundenen Normalwerten (bei wolkenlosem Himmel geltenden),

Tabelle 30.

Photochemische Ortshelligkeit (Oberlicht), Südlicht und Verhältnis beider, gemessen mittels (nach Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 81 ff.) aptierten Ederschen Graukeilphotometers. Relative Lichtmengen.

Zeit	Mittel der Normaltage			Mittel aller Tage			Minima		
	Oberlicht	Südlicht	Südlicht Oberlicht	Oberlicht	Südlicht	Südlicht Oberlicht	Oberlicht	Südlicht	Südlicht Oberlicht
23. Juli bis 2. August 1923	(904,4)	(401,6)	(0,44)	754,4	363,8	0,48	(571,0)	(315,1)	(0,55)
2. bis 14. Oktober 1923	521,4	668,3	1,28	370,1	392,1	1,06	110,6	77,7	0,70
20. bis 27. Januar 1924	238,3	553,4	2,32	223,5	488,8	2,19	—	—	—
8. bis 13. März 1924	553,4	719,3	1,30	529,4	686,4	1,30	—	—	—
18. bis 19. Juni 1924	1369,6	680,2	0,50	1369,6	680,2	0,50	—	—	—

Mittelwerten und Minima, und zwar außer für die Ortshelligkeit (Oberlicht) auch für das Südlicht, d. h. die auf die nach Süden orientierte Vertikalfläche fallende Strahlung, sowie das Verhältnis $\frac{\text{Südlicht}}{\text{Oberlicht}}$, und zwar nach Tagessummen im Maß der Davoser Skala¹⁾.

Die Jahresamplitude Juni bis Januar der photochemischen Ortshelligkeit an Normaltagen übersteigt mit 5,76 die korrespondierenden der Helligkeit (Tabelle 12) von 4,30 nicht unwesentlich, entsprechend dem kurzwelligeren (blauvioletten) Spektralteil, in welchem sie gemessen wird. An anderen als wolkenlosen Tagen tiefblauen, an chemisch wirksamen Strahlen reichen Himmels ist das Verhältnis beträchtlich kleiner; langer Beobachtungsperioden wird es bedürfen, es einigermaßen sicher festzulegen. Die Helligkeitssummen der Normaltage liegen im Juli/August sicherlich zu niedrig, da kein Tag gefunden wurde, an dem die Sonne nicht zeitweilig durch Cumuli bedeckt war. Gegenüber Davos sind die Normalwerte gefunden worden:

im Juli/August . . .	5 Proz. kleiner
(nicht zu Recht, wie soeben erklärt),	
im Oktober	1 Proz. größer,
„ Januar	0 „ „
„ März	6 „ „
„ Juni	26 „ „

Nur bei hoher Sonne (kleinem Einfallswinkel) ist also eine sehr wesentliche Steigerung der photochemischen (blauvioletten) Ortshelligkeit bei Aufstieg von 1560 zu 2456 m Höhe festzustellen, die Erklärung geben die Befunde im verwandten Ultraviolett, nach welchen in Muottas-Muraigl nur die Sonnenintensität stark gesteigert ist bei ein wenig herabgesetzter Intensität der Himmelsstrahlung.

Die Mittelwerte des Juli/August und des Oktober entsprechen mit 83 und 71 Proz. der Normalwerte zufällig fast genau den in Davos für diese Monate gefundenen Verhältniszahlen, in den übrigen Perioden liegen sie infolge übernormal reichen Sonnenscheins zu hoch. Aus gleichem Grunde liegen die Minima in den genannten Perioden zu hoch, desgleichen im Januar; nur der kleinste Oktoberwert von 110,6 am 13. Oktober 1923 dürfte annähernd ein absolutes Minimum darstellen, da Regen, Nebel, Graupeln, Schneefall und Gewitter wechselten ohne jeden Sonnenschein. Davos verzeichnete an diesem Tage 180,0; als absolutes Oktoberminimum in sechs Jahren 89,3. Bei tagsüber anhaltendem leichten hohen Stratus und auf S_2

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1925, I. c.

herabgesetzter Helligkeitsstufe der Sonne fand sich am 26. Januar 1924 ein fast ganz normaler Tageswert, entsprechend dem Befunde der Himmelsstrahlung im Ultraviolett (s. S. 86).

Das südlichere Vorderlicht, welches, da in die Fenster der nach Süden gerichteten Häuser und in die Liegehallen fallend, für die Therapie weit wichtiger ist als das Oberlicht, wird natürlich außer vom Bewölkungsgrad und der Sonnenhöhe (Einfallswinkel der Sonnenstrahlen) außerordentlich beeinflusst durch das Reflexionsvermögen des Erdbodens und wächst daher rapide bei Schneelage, daher zeigt sich an Normaltagen die Jahresamplitude des Südlichtes weitaus geringer als die des Oberlichtes mit 1,22 : 1 gegenüber 5,76 : 1. Nur 14 Proz. weniger hell ist das Südlicht an wolkenlosen Tagen im Januar als zur Zeit des Sonnenhöchststandes, und der absolute Maximalwert fällt in den März, in welchem sich für das Südlicht noch günstiger Einfallswinkel verbindet mit kräftigem Schneereflex. Das

Verhältnis $\frac{\text{Südlicht}}{\text{Oberlicht}}$ ist naturgemäß am größten bei niedriger Sonne

und erreicht da im Winter unter Mitwirkung des Schneereflexes an wolkenlosen Tagen den hohen Wert von 2,55 (maximal 2,67) gegenüber dem Minimalwert von 0,41 bei hoher Sommersonne und schneefreiem, nur etwa 10 Proz. der auffallenden Strahlung reflektierenden Fels- und Grasboden. Auftretende Bewölkung pflegt das

Verhältnis $\frac{\text{Südlicht}}{\text{Oberlicht}}$ bei hoher Sonne zu vermehren, bei niedriger

herabzusetzen. Bei gleichmäßigem hellen Stratus und Helligkeitsstufe der Sonne S_2 erreicht dann trotzdem das südliche Vorderlicht dieselben Werte wie das normale Oberlicht. Dies erklärt die starke Strahlenwirkung auf unbedeckte Körperteile auch bei bedecktem Himmel.

In der Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 93 ist die mit dem Aufstieg von der Ebene zur Höhe verbundene Zunahme der photochemischen Ortshelligkeit (Oberlicht) an zahlreichen Beispielen erörtert. Dasselbst ist auf Grund zweijähriger Dauerbeobachtungen die Zunahme bei Aufstieg von Zürich (430 m) nach Davos (1560 m) angegeben mit 200 Proz. im Winter, 35 Proz. im Sommer, 100 Proz. im Frühjahr

und Herbst, und das Verhältnis $\frac{\text{Südlicht}}{\text{Oberlicht}}$.

Jahreszeit	Arosa	Agra	Friedrichshafen
Winter . . .	1,44	1,02	1,09
Frühjahr . . .	0,90	0,62	0,79
Sommer . . .	0,51	0,49	0,62
Herbst . . .	1,07	0,93	1,02

In diesen Zahlen kommt, wie inzwischen durch in Neuchâtel durchgeführte Messungen aufs neue bestätigt ist, das nur bescheidene Reflexionsvermögen der Seeoberfläche zum Ausdruck, gegenüber dem starken des Schnees durch Arosas Winterwert (vgl. S. 90). Auf Muottas-Muraigl erhöhen sich infolge der lange anhaltenden Schneelage auch die Frühjahrs- und Herbstwerte um ein Bedeutendes gegenüber Arosa. Werte von 2,55 (maximal 2,67) für das Verhältnis der Tagessumme von Südlicht und Oberlicht übersteigen wesentlich alles, was je am Seeufer an klaren Tagen gefunden worden ist. Die Reflexion des Wassers ist am größten im sichtbaren, speziell im kurzwelligen sichtbaren Spektralteil trotz meist kräftiger Absorptionsbanden im Gelb und Grün, dagegen absorbiert es das Ultrarot, insbesondere die Wellenlängen $> 1,8 \mu$, sehr stark und auch das Ultraviolett beträchtlich. Für den frisch gefallenen Schnee scheinen dagegen kaum wesentliche Unterschiede des Reflexionsvermögens im Gebiete des Sonnen- und Himmelspektrums zu bestehen.

Zusammenfassung der Resultate der Strahlungsmessungen.

Es sind durch auf die vier Jahreszeiten nach Möglichkeit gleichmäßig verteilte, insgesamt 40 Tagesbeobachtungen festgelegt und tabelliert die für Muottas-Muraigl geltenden Normalwerte (d. h. die bei freier Sonne für Sonnenstrahlung bei wolkenlosem Himmel für Himmelstrahlung geltenden Werte).

	Tabelle	Seite
I. Sonnenstrahlung.		
Gesamtintensität der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlung nach Tageszeit, Sonnenhöhe, Luftmasse nebst Maximalwerten und Tagessummen der senkrecht und horizontal auffallenden Strahlung im Kalorienmaß	2a bis 2c	24/25
Senkrecht auffallende Rot- + Ultrarotintensität der Sonnenstrahlung nach Tageszeit, Sonnenhöhe, Luftmasse nebst Maximalwerten und Tagessummen der senkrecht und horizontal auffallenden Strahlung im Kalorienmaß	8a bis 8c	34/35
Das Verhältnis beider letztgenannten	9	36
Senkrecht auffallende Intensität des sichtbaren Spektralteiles (Helligkeit) der Sonne im Kalorienmaß	11a bis 11c	42/43
Physiologisch wirksame Ortshelligkeit (Beleuchtungsstärke der horizontalen Fläche) nebst Tagessummen in relativem Maß	12	47
Senkrecht auffallende ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung nach Tageszeit nebst		

	Tabelle	Seite
Maximalwerten und Tagessummen für senkrecht und horizontal auffallende Sonnenstrahlung	13 a bis 13 c	49
a) für das gesamte von der Cadmiumzelle angegebene Ultraviolett, welches sich nicht wesentlich unterscheidet von dem		
b) Ultraviolett der Wellenlänge $< 321 \mu\mu$,		
a) und b) in Galvanometerausschlägen,		
c) für das langwellige Ultraviolett $\lambda 366$ bis $321 \mu\mu$ in relativem Maß.		
Dasselbe nach Sonnenhöhen	14 a bis 14 c	50/51
Dasselbe nach Luftmassen	15 a bis 15 c	52/53
Wechsel des Ultraviolett- und Rot- + Ultrarotgehaltes der Sonnenstrahlung nach Tages- und Jahreszeit	16	58
Graphisch dargestellt sind die sehr verschiedenartigen Tagesgänge der gesamten, roten + ultraroten und ultravioletten Intensitäten der Sonnenstrahlung (Tabellen 2a, 8a, 13a) in Fig. 4 und 6.		38, 56
II. Himmelsstrahlung.		
Intensitäten und Summen der von Sonne + Himmel auf die Horizontalfläche entfallenden kurzwelligen ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung nach Tageszeiten im Kalorienmaß	18	68
Dasselbe allein für Himmel	19	69
Verhältnis beider letztgenannten	20	72
Nächtliche Ausstrahlung und Wärmestrahlung der Atmosphäre	23	75
Totaler Wärmeumsatz durch Strahlung . . .	24	78
Ultraviolette Intensität der Sonnen- + Himmelsstrahlung und allein der Himmelsstrahlung in Wirkung auf die Horizontalfläche nach Tagesstunden	26	81
Dasselbe nach Sonnenhöhen	27	82/83
Verhältnis beider letztgenannten	28	82
Photochemisch gemessenes (blauviolette) Oberlicht (Ortshelligkeit) und Südlicht und Verhältnis beider	30	87
Der Wolkeneinfluß auf die Normalwerte ist an Hand von Beispielen erörtert		72, 77, 86, 89
Es sind ferner aus diesen Normalwerten abgeleitet und tabelliert:		
1. Zwecks Nachweis des Durchlässigkeitsgrades der Atmosphäre in Muottas-Muraigl an Normaltagen		
die Transmissionskoeffizienten für die gesamte Sonnenstrahlung	4	29

	Tabelle	Seite
die Transmissionskoeffizienten für die rote + ultrarote Sonnenstrahlung . .		38
die Transmissionskoeffizienten für den sichtbaren Spektralteil der Sonnenstrahlung		45
die Transmissionskoeffizienten für das Ultraviolett der Sonnenstrahlung . . .		60
die Trübungsfaktoren nach Tagesgang	5	30
die Trübungsfaktoren nach Jahresgang	6	32
der Anteil der drei trübenden Wirkungen am Trübungsfaktor	7	33
2. Zwecks Vergleichs mit anderen Orten:		
Mittagsintensitäten und Wärmesummen der senkrecht auffallenden gesamten Sonnenstrahlung in Muottas-Muraigl (2456 m), Davos (1560 m), Agra (565 m), Potsdam (109 m)	3	26
Jahreszeitenmittel des Trübungsfaktors für dieselben Orte, Durchlässigkeitsvermögen und wirkliche Durchlässigkeit	6	32
Anteil der drei trübenden Wirkungen am Trübungsfaktor für Muottas-Muraigl und Taunus-Observatorium	7	33
Rotintensitäten und Rotgehalt der Sonnenstrahlung in Muottas-Muraigl, Davos, Agra, Potsdam, Passatzonen und Tropen	10	40
Zunahme der ultravioletten Sonnenstrahlung mit der Höhe pro 100 m in Prozenten für Interlaken (565 m), Kleine Scheidegg (2070 m), Jungfrauoch (3457 m), Agra (565 m), Davos (1560 m), Muottas-Muraigl (2456 m)	17	61
Wärmestrahlung nur des Himmels auf die Horizontalfläche in Muottas-Muraigl, Helsingfors, Hump-Mountain und Calama	21	73
Verhältnis der Wärmestrahlung von Sonne und Himmel (S/H) auf die Horizontalfläche an denselben Orten	22	74
Ausstrahlung und Wärmeumsatz in Muottas-Muraigl, Davos, Stockholm	25	79
Ultraviolette Himmelsstrahlung in Muottas-Muraigl, Davos, Jungfrauoch		84
Ultraviolette Zenitstrahlung in Muottas-Muraigl, Agra	29	85
Photochemische Ortshelligkeit in Muottas-Muraigl, Davos		88
Photochemisch gemessenes Oberlicht und Südlicht an verschiedenen Orten		89

Aus dem Vergleich von Muottas-Muraigl (2456 m) und Davos (1560 m), welcher in dieser Studie vornehmlich interessiert, ist besonders hervorzuheben:

I. Sonnenstrahlung.		Seite
Beim Aufstieg von rund 1500 m zu rund 2500 m Meereshöhe steigert sich:		
Die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung und Strahlungssummen (Kalorienzahl) ebensoviel wie beim Aufstieg von 500 m zu 1500 m Meereshöhe		28
Die Durchlässigkeit der Atmosphäre von Muottas-Muraigl für die gesamte Sonnenstrahlung, bestimmt durch den Trübungsfaktor, um 28 Proz.		32
Der Rot- + Ultrarotgehalt und die Rot- + Ultrarotintensität der Sonnenstrahlung ganz unbedeutend . .		41
Die kurzwellige ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung im Jahresmittel		
bei 65° Sonnenhöhe . . . um 37 Proz.		
„ 45 „ . . . „ 45 „		
„ 30 „ . . . „ 66 „		
„ 20 „ . . . „ 158 „		
und zwar im Sommer mehr als im Winter, im Frühjahr mehr als im Herbst		59
Die langwellige ultraviolette Intensität der Sonnenstrahlung im Jahresmittel:		
bei 60° Sonnenhöhe . . . um 28 Proz.		
„ 45 „ . . . „ 34 „		
„ 30 „ . . . „ 47 „		
„ 20 „ . . . „ 58 „		
also nur 1/2- bis 1/3 mal soviel wie die kurzwellige ultraviolette Intensität		64
Kein Spektralteil der Sonnenstrahlung schwankt derart von Ort zu Ort und von Zeit zu Zeit wie der ultraviolette, und zwar zu einem großen Teile in Abhängigkeit von dem Dunstgehalt der Luft. Als bestes Maß für diesen kann das langwellige Ultraviolett dienen, weil das kurzwellige außer durch Dunst noch durch andere Faktoren (darunter dem Ozongehalt der Luft) wesentlich beeinflusst wird		62 bis 67
Der Ultrarot- und Ultraviolettgehalt der Sonne von Muottas-Muraigl wechselt mit Tages- und Jahreszeit in dem in Tabelle 16 niedergelegten starken Maße, welches aber noch zurücksteht hinter dem Wechsel der Davoser Sonne. Die mittägliche in Wintersonne von Muottas-Muraigl besitzt bei nur 1 Proz. geringerer Gesamtintensität und sogar 6 Proz. größerer Rotintensität einen 6 1/2 mal kleineren Ultraviolettgehalt als die Sommersonne		58/59

II. Himmelsstrahlung.

	Tabelle	Seite
Beim Aufstieg von rund 1500 m zu rund 2500 m Meereshöhe steigert sich:		
Die von Sonne + Himmel auf die Horizontalfläche fallende kurzwellige ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung hinsichtlich Mittagsintensitäten und Tagessummen um 9 Proz.		73
Die vom Himmel allein auf die Horizontalfläche fallende kurzwellige ($< 3 \mu$) Wärmestrahlung gar nicht merklich.	21	73
Die nächtliche Ausstrahlung um 29 Proz. Es ist ein maximaler Ausstrahlungswert von 0,376 (entsprechend einer Äquivalenztemperatur der gegenstrahlenden Atmosphäre von nur -127° C) gefunden bei 0,13 mm Dampfdruck und $-6,5^{\circ}$ Lufttemperatur und einem dem 0,96ten Teil einer idealen Atmosphäre entsprechenden Durchlässigkeitsvermögen	25	79
Der gesamte Wärmeumsatz um 27 Proz. . .	25	79
Die von Sonne + Himmel auf die Horizontalfläche fallende ultraviolette Strahlung um 23 Proz.		84
Das Verhältnis $\frac{\text{Ultraviolett-Sonnenlicht}}{\text{Ultraviolett-Himmelslicht}}$ um 66 bis 100 Proz. je nach Sonnenhöhe, da die Ultraviolett-Himmelsstrahlung im Mittel 10 Proz. abnimmt		84
Die photochemische Ortshelligkeit nur bei hohen Sonnenhöhen beträchtlich (bis zu 26 Proz.), während sie bei niedrigen Sonnenhöhen gleich der von Davos bleibt . . .		88

3. Meteorologische Optik.

Himmelfarbe. Stets wurden in gewohnter Weise die Meßreihen der Strahlung begleitet durch Notizen über das Himmelsblau in Sonnennähe und Sonnenferne nach der vom Verfasser seit 1909 gebrauchten, mancherorten publizierten empirischen Skala:

- 3,0 = tief (indigo-) blau,
- 2,5 = gut blau,
- 2,0 = gut himmelblau,
- 1,5 = himmelblau,
- 1,0 = hell himmelblau,
- 0,5 = hellblau,
- 0,2 = weißlich blau.

Cyanometer mit 16teiliger Skala sind vom Verfasser schon 1911 in Verbindung mit seinen Helligkeits- und Polarisationsmessungen des Himmels zu verwenden gesucht, aber verworfen, weil die empirische Skala nach seinen Erfahrungen sicherer bedient. Nachdem F. Linke sein handliches Farbenbuch herausgegeben, wurde ein neuer Versuch mit der Verwendung dieser künstlichen Farben gemacht und entsprechend der Wertschätzung des rührigen erfolgreichen Herausgebers über alle Jahreszeiten hinweg durchgeführt. Auch dieser bestätigte die früheren Erfahrungen. Vielleicht ist es gerade dem, welcher durch Jahrzehnte unter den sehr günstigen Verhältnissen des Hochgebirges die Himmelsfarbe am Tage und während der Dämmerung regelmäßig beobachtet, noch schwerer als dem Anfänger, eine Ähnlichkeit zwischen Pigment- (Aufstrich-) Farben und den Farben der Natur zu finden. Erstere können die letzteren niemals wiedergeben, allein schon aus dem Grunde, weil ihnen eines der wesentlichsten Merkmale des erfahrenen Beobachters fehlt, nämlich die Charakteristik als „durchsichtig“ oder „undurchsichtig“. Nur derjenige, welcher dies erst durch lange Erfahrungen zu gewinnende Kriterium beherrscht, wird die Farbdifferenzierungen des Himmels richtig beurteilen können, wie es nötig ist, z. B. zur Erkennung des Bishoprings mit allen seinen Unterteilen fast zu allen Tages- und Jahreszeiten (s. Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 5, Nr. 5, 1917; „Ringerscheinungen um die Sonne“), der „tellurischen Sonnenkorona“, deren Wechsel — wie an mannigfachen Orten vom Verfasser in völliger Übereinstimmung mit J. Maurer und F. Schmid belegt — ein wertvolles und das einfachste Mittel zur Verfolgung der Sonnentätigkeit und ihres Einflusses auf die Erdatmosphäre darstellt. Die Differenzierungen des Innern des Bishoprings und seine äußerste Grenze, von welcher ab die Helligkeits- und Polarisationsverhältnisse des Himmels im allgemeinen dem Rayleighschen Gesetz folgen (s. Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 6, 231 ff., 1919), zeichnen sich neben nur kleiner Farbenänderung durch Übergehen von größerer zu kleinerer Durchsichtigkeit ab; das reine, zarte, rosaviolette Purpurlicht ist undurchsichtig — eine Erkenntnis, welche sich der Verfasser erst durch langjährige Beobachtungen erwarb.

Sind also schon aus diesem prinzipiellen Grunde des Mangels der Durchlässigkeitsunterschiede alle Aufstrichfarben verwendende Cyanometer zu verwerfen, sobald größere Ansprüche gestellt werden, so kommt ein zweiter prinzipieller Grund hinzu, nämlich der des Wechsels der Farben in Abhängigkeit von der Farbe der Lichtquelle und der Intensität der die Beleuchtung ausübenden Lichtquelle. Diesen Wechsel kann doch wohl jeder erkennen, wenn er in kürzester Frist eine tiefblaue Farbe des Cyanometers unter Sonnen- und Schattenlicht anschaut; unter der Bestrahlung durch das Rotlicht der Dämmerung ändert sich der Eindruck aufs neue. Fast größere Wirkung übt noch die Intensität aus: Selbst in Entfernung von Armeslänge ist die Blendung bei Bestrahlung durch direktes Sonnenlicht zu groß, als daß der Beobachter überhaupt noch sicheren Farbeneindruck gewinnt. Trotzdem wird er bei Linkes Farbenbuch fast noch mehr irreführt bei Bestrahlung der Skala durch Schatten-

licht (blaues Himmelslicht), denn alsdann kommt die Kraßheit der Blaufarbe bei den tieferen Blautönen wesentlich schärfer zum Ausdruck; es fehlt dem Blau die leichte Beimengung warmen Rotes, welche dem Himmelslicht stets in allen Jahreszeiten im alpinen Hochgebirge eigen ist. Dieser rötliche warme Unterton stammt im Winterhalbjahr wohl im wesentlichen vom Reflex der Sonnenstrahlen von der Schneedecke, im Sommerhalbjahr von den Absorptionsfarben des Wasserdampfes. Nur der Skalenton 2 und in seltenen Fällen noch der Skalenton 4 ermöglichen nach des Verfassers Erfahrungen eine für alle Beobachter einigermaßen gleichmäßige Abschätzung der Himmelsfarbe. Bei höheren Skalentönen gehen die Auffassungen von Person zu Person und von Zeit zu Zeit weit auseinander.

Exakte Messungen der Verteilung der Blaufarbe über den Himmel, welche weitgehend parallel geht der Verteilung der Helligkeit, sind wohl nur möglich nach dem von Wild 1875/76 in Petersburg geübten Verfahren der Bestimmung der Sonnendistanz, in welcher gewisse, richtig ausgewählte Wellenlängen am meisten geschwächt werden.

Die Fülle der Aufgaben erlaubte nicht eine dauernde messende Verfolgung der Farbenverteilung über den ganzen Himmel oder auch nur der Existenz, Intensität, Ausdehnung und Differenzierung der „Ringerscheinungen um die Sonne“ (alias Bishopring), wie sie in Davos durch viele Jahre in täglich vielstündiger Beobachtung durchgeführt ist. Es existieren nur rohe Notizen über Existenz von Ringerscheinungen (Korona), Tyndalleffekt und einige markante Erscheinungen für den Unterschied von Beobachtungen aus dem bergumrahmten Hochtal und von der freien Höhe.

Eines fällt bei Vergleich der Abschätzungen der Blaufarbe des Himmels von Muottas-Muraigl und Davos sogleich auf: Der Unterschied ist gering für Sonnenferne, dagegen bedeutend für Sonnennähe. Die höchste Ziffer 3 (tiefblau, indigoartig), welche in Davos meist nur an wenigen Stunden eines oder zweier Tage des Jahres, und zwar stets im Spätherbst und natürlich nur für Sonnenferne notiert wird, findet sich auch in Muottas-Muraigl trotz der relativ zahlreichen günstigen Beobachtungstage nur einmal, und zwar auch an einem Oktobertage; an einem Märztage wird sie annähernd erreicht durch die Notiz 2,5 bis 3,0, natürlich auch nur für Sonnenferne. Relativ häufiger als in Davos findet sich freilich die Notiz 2,5 in allen Jahreszeiten. Ganz auffallend günstiger dagegen ist das Blau in Sonnennähe beurteilt: 2,5 oder 2,0 bis 2,5 finden sich nicht selten zu allen Jahreszeiten, während ein derartig tiefes Blau in Sonnennähe in Davos zu den Seltenheiten gehört. Wohl auf einen vollen Grad günstiger wird man für Muottas-Muraigl im Mittel das Blau in Sonnennähe

einschätzen können. Diese Verhältnisse der Blaufarbe entsprechen ja schließlich dem Befunde der Strahlungsmessungen: Stärker geänderte Sonnenstrahlung, wenig geänderte Himmelsstrahlung beim Aufstieg von Davos nach Muottas-Muraigl. Mit Ausnahme des Hochwinters wurde die tiefste Blaufarbe bei mittelstarkem bis starkem Winde (meist, aber nicht ausschließlich, Südwind) notiert.

Die Folge des in Sonnennähe mehr, in Sonnenferne nur wenig vermehrten Blaes ist eine geringere Differenzierung des Himmelsblaes über den ganzen Himmelsdom hinweg. Im Hochwinter bei allerklarster Atmosphäre führt das schließlich zu einer von der gewohnten abweichenden Farbenverteilung. Im Januar 1924 und insbesondere an dem wegen seiner außerordentlichen Trockenheit und Durchlässigkeitsvermögen schon hervorgehobenen 24. Januar war ein Abfall der Blaufarbe von Sonnennähe zu Sonnenferne nicht mehr konstatierbar, beide sind mit 2,5 notiert, wohl aber war der Himmel in Horizontnähe, unterhalb 20° , ein wenig heller blau (2,0), und zwar ohne Unterschied in Sonnennähe und Sonnenferne. Es zeigte sich also (ähnlich der Verteilung der Blaufarbe über den Nachthimmel bei Vollmond) eine vom Gestirn unabhängige Farbenverteilung, tiefes homogenes Blau vom Zenit bis zu 20° über Horizont und von hier ab um einen Skalengrad helleres Blau. Auch dieses hellere Blau (2,0) war noch „durchsichtig“, an diesem Tage waren, wie der außerordentlich geringe Trübungsfaktor gleichfalls beweist, nur noch Spuren von Beimengungen in der Atmosphäre, für sie galt wohl als fast ideale Atmosphäre vollkommen das Rayleighsche Gesetz. Diese Farbenverteilung hielt den ganzen Tag über an, die Farbtiefe änderte sich erst um $3^{\text{p}} 26'$ bei einer Sonnenhöhe von $9,3^{\circ}$ und auch nur insoweit, als die horizontale Himmelspartie um einen halben Skalenton heller blau wurde, nämlich 1,5 bis 2,0 bis zu 20° über Horizont, darüber unverändert 2,5.

Steht man auf hohen Alpenpässen und schaut von dort aus gleichzeitig den deutschen und italienischen Himmel, so kann man nach des Verfassers bisherigen Erfahrungen, die sich diesbezüglich freilich nur auf Sommer und Herbst beschränken, sich nicht dem Eindruck entziehen, daß der italienische Himmel tiefer blau ist, und zwar zu allen Tageszeiten. Das Gegenteil wäre eher zu erwarten, da, von so seltenen Ausnahmen wie die soeben beschriebene abgesehen, die Sonnennähe heller blau ist als die Sonnenferne. Am Gotthard, Lukmanier und Splügen blieb sich der Eindruck (in verschiedenen Jahren) gleich, also die unmittelbare Umgebung dürfte den Eindruck nicht hervorrufen; allen drei Stellungen gemeinsam ist freilich der

steile Absturz der Alpen nach Süden gegenüber dem sanfteren nach Norden und schnell zunehmende Vegetation im ersteren, langsam zunehmende im zweiten Falle und als Folge beider (der Absturz und Vegetationsdifferenzen) geringerer Reflex von der Erdbodenoberfläche in Südrichtung gegenüber Nordrichtung.

Aureole und Tyndalleffekt. Es würde zu weit führen, alle Beobachtungen im einzelnen aufzuführen und beschreibend zu ergänzen. Beide fehlten gänzlich im Januar, vorwiegend im März, nur an zwei Tagen im Oktober, dagegen im Juni/August nie. Auch bei der im September 1923 durchgeführten Exkursion ins Berner Oberland zeigte sich der Tyndalleffekt am 12. und 13. September trotz blauen Himmels sowohl des Morgens als auch am Spätnachmittag deutlich heraufreichend bis zu den Gipfeln von Eiger, Mönch und Jungfrau. Der sommerliche Auftrieb reicht über die höchsten Berggipfel hinweg, und das gleiche gilt sicherlich auch für die kalifornischen und chilenischen Anden.

Szintillieren. Das Szintillieren der Sterne ist am günstigsten zu beobachten in nur vertikal absteigender reiner trockener Luft. Selten dürfte es idealere Beobachtungsverhältnisse hierfür geben als im Davoser Hohtal zur Winterszeit, wenn bei „lächerlicher“ Windstille die kalte Luft die Berglehnen herabrieselt und sich im Laufe der Nacht über den Talboden schichtet mit Temperaturgradienten von (im Extrem) 3° pro 10 m Höhendifferenz, gut 12° Temperaturdifferenz zwischen Talsohle und dem etwa 40 m höher gelegenen Observatorium. Auch Hangstationen, welche die von den Berghöhen abfließende kalte Luft passiert, können für solche Beobachtungen günstig liegen. In Muottas-Muraigl herrschen besondere Verhältnisse: Es wird von der Alp Muraigl zu wenig überragt, als daß absteigende Luftströme sich schon entwickeln könnten, es ist fast, aber noch nicht ganz Gipfelstation. So erklärt es sich wohl, daß die Sterne nur sehr wenig szintillieren, lebhaft dagegen das künstliche Licht der Talorte, und zwar um so lebhafter, je weiter entfernt sie liegen, je größer also die durchstrahlte Luftstrecke wird. Es war interessant festzustellen, wie sich prinzipiell dies Szintillieren unterschied von dem in Davos an Sternen beobachteten: Es fehlte fast stets der in Davos minutiöseste stundenlang eingehaltene gleichmäßige Rhythmus, er wurde in unregelmäßigen kurzen Zeitabständen unterbrochen durch ein ziemlich regelmäßig fortschreitendes Flackern, augenscheinlich ausgelöst von zeitweilig auftretenden seitlichen Luftströmen, selten durch plötzliches unregelmäßiges Zucken, ver-

anlaßt wohl durch einzelne plötzliche Luftstöße. In der Höhe und wohl auch im Tale herrschte trotzdem nach meteorologischem Maß Windstille; sanfte Bewegungen reiner, recht trockener, verschieden temperierter Luft lösen diese Erscheinungen aus. Sie sind gut beobachtbar schon sogleich nach Dunkelwerden, und zwar im Herbst und Winter und Frühjahr; über den Sommer liegen Notizen nicht vor.

Sicht. Wigands Stufen-Sichtmesser¹⁾ reichte für Beobachtungen an heiteren Tagen auf Muottas-Muraigl nicht aus, denn die weitest entfernten noch sichtbaren, schon auf italienischem Boden sich erhebenden und wegen unscharfer Konturen und geringer Höhe zum Anvisieren nicht besonders geeigneten Bergspitzen haben nur etwa 22 km Abstand und werden bei guter Sicht auch durch Filter 15 nicht ausgelöscht. Nach einigen Versuchen wurden diese Beobachtungen aufgegeben und einer späteren Zeit vorbehalten, in welcher Tage ungünstigerer Witterung in den Vordergrund der Beobachtungen gestellt werden dürften.

Von den zahlreichen, die Sicht nach visuellen Eindrücken charakterisierenden Notizen sei die auf „unglaublich klar“ lautende, den durch außergewöhnliche Trockenheit und Durchlässigkeit der Atmosphäre (S. 31, 76, 97) ausgezeichneten 24. Januar betreffende erwähnt.

Polarisation des Himmelslichtes. Mittels Savarts Polariskop und Jensens Pendelquadranten sind in allen Perioden, außer im März, etliche Beobachtungsreihen der neutralen Punkte am Tage und während der Dämmerung zusammengetragen, insbesondere um Unterschiede zu ermitteln, welche der im eingeschlossenen Hochtal und auf der Höhe recht verschiedene natürliche Horizont erbringen könnte — ein Einfluß, welcher ja an den Konturen des Davoser Hochtals und der mit den Jahreszeiten wechselnden Schneedecke schon des eingehendsten studiert ist hinsichtlich der neutralen Punkte, des Verlaufes der Neutrallinien, der Lage der Polarisationsebene und der Polarisationsgröße in den Abschnitten I 4 bis 5 und II 2 bis 3 der Abhandl. d. Preuß Meteorol. Inst. 6, 1919. Dieser Einfluß ließ sich daselbst in die kurze Formel fassen: „Dunkler Horizont vermehrt die Region positiver Polarisation, heller die Region negativer Polarisation“, positive und negative Polarisation in bekannter Weise definiert durch den Verlauf der Neutrallinien.

¹⁾ Physik. Zeitschr. 1919, S. 151 bis 160.

Beobachtungen am Tage. Während der grellen Beleuchtung des Tages müssen Einflüsse eines außergewöhnlich hellen oder dunklen Horizontes mehr zum Ausdruck kommen als im gedämpften Licht der Dämmerung (l. c. S. 182); dieser Einfluß muß sich am stärksten geltend machen auf die Lage des *Bw*-Punktes. So ist ja auch in Davos (l. c. S. 141) gefunden, daß er über mit dunklen Tannen bedeckten Bergabhängen 2 bis 3° höher liegt als über hell beleuchteten Schneebergen. Es interessierte daher bei allen in Muottas-Muraigl vorgenommenen Tagesbeobachtungen am meisten die Frage, ob der *Bw*-Punkt, von dortiger freier Höhe beobachtet, ebenso oft, ebenso deutlich und in gleichem Sonnenabstande gefunden wird wie im bergumrahmten Davoser Tal. Die Antwort ist vollkommen eindeutig: Auch auf Muottas-Muraigl ist der *Bw*-Punkt an jedem geeigneten Tage deutlich sichtbar und erkennbar nicht nur als tiefster Punkt der Neutrallinien, sondern auch durch deutlichen Umschlag in die Komplementärfarben der „Fransen“ bei vertikaler Bewegung des Polariskops, und seine Abstände unterscheiden sich nicht prinzipiell von den in Davos gemessenen. Nur eine Ausnahme ist gefunden worden, und zwar wiederum an dem außerordentlich interessanten Tage außergewöhnlich reiner und trockener Atmosphäre, dem 24. Januar 1924. An diesem Tage war der *Bw*-Punkt bei 20° Sonnenhöhe nicht auffindbar, die negative Polarisation reichte herab bis zum etwa 2° Höhe erreichenden, von glänzenden Schneefeldern gebildeten Horizont, während nach sonstigen Erfahrungen der Punkt 3° über dem Horizont hätte erkennbar sein müssen und tatsächlich auch zwei Tage vorher am 22. Januar zu gleicher Tageszeit erkennbar war. Diese unter außergewöhnlich günstigen Bedingungen durchgeführte Beobachtung der Praxis könnte einen der Beachtung werten Beitrag liefern zur viel erörterten Frage der Entstehung der neutralen Punkte in der Atmosphäre; sie könnte dahin gedeutet werden, daß zur Entstehung der neutralen Punkte auch die Beimengung von Fremdkörpern (Staub, Wasserdampf) zu den reinen Gasen der Atmosphäre beiträgt neben zweifellos der die Region negativer Polarisation vermehrenden Reflexion von der hellen Erdbodenoberfläche. Diese war am 24. und 22. Januar die gleiche, die Beobachtungsverhältnisse an den beiden Tagen unterschieden sich nur durch verschiedenen Reinheitsgrad der Atmosphäre.

Der *B*-Punkt zeigt am Tage seinen Jahresgang in Abhängigkeit von der Schneelage (Helligkeit des Horizontes) noch deutlicher als in Davos, wo bei niedrigen Sonnenhöhen manche die Abhänge be-

deckenden Schneefelder in den Schatten kommen und dadurch dunkel werden; so fand er sich beispielsweise bei 11° Sonnenhöhe im Winter in $18,1^{\circ}$, im Sommer in $15,5^{\circ}$ Sonnenabstand — wiederum also heller Horizont = Vermehrung der Region negativer Polarisation. Im übrigen wurde an beiden Punkten (B und Bw) die bekannte Verringerung des Sonnenabstandes mit steigender Sonne gefunden und die absoluten Größen der Abstände dieser Punkte ähnlich wie in Davos im Jahre 1911 und der ersten Hälfte 1912, also zur Zeit der größten bisher beobachteten atmosphärischen Reinheit.

Beobachtungen während der Dämmerung. Tabelle 31 bringt zwei Reihen des Oktobers und Januars, welche bei wolken-

Tabelle 31.

Abstände des Arago- (A) und Babinet- (B) Punktes von der Sonne während der Abenddämmerung.

Sonnenhöhe	6. Oktober 1923		24. Januar 1924	
	A	B	A	B
$4,5^{\circ}$	18,0	15,8		
$3,5$	18,2	16,3	16,5	18,7
$2,5$	18,3	16,8	17,2	17,9
$1,5$	18,3	16,6	17,9	17,3
$0,5$	17,2	16,7	17,7	16,9
$-0,5$	16,4	17,0	17,9	16,6
$-1,5$	15,7	17,3	16,7	16,1
$-2,5$	16,6	17,0	17,5	16,6
$-3,5$	17,5	16,8	19,0	16,0
$-4,5$	19,0	17,2	20,6	15,5
$-5,5$	23,2	18,3	23,7	17,3
$-6,5$			28,0	18,0
$-7,5$			30,7	21,4
$-8,5$				31,9

losem Himmel vollständig durchgeführt werden konnten. Auch sie entsprechen sowohl nach dem Gange des A - und B -Punktes als auch nach der absoluten Höhe ihrer Abstände dem, was zu Zeiten größter atmosphärischer Reinheit im Jahre 1911 und der ersten Hälfte 1912 in Davos gefunden worden ist: A -Punkt Minimum bei $-1,5^{\circ}$ Sonnenhöhe, Anstieg sprunghaft ab $-3,5^{\circ}$, sich fortsetzend, solange die schnell zunehmende Dunkelheit die Beobachtung erlaubt; B -Punkt Minimum bei $-3,5^{\circ}$ (nur an dem Idealtag des 24. Januar erst bei $-4,5^{\circ}$), sprunghafter, noch schneller als bei A verlaufender Anstieg ab $-6,5^{\circ}$. Beide Punkte treffen sich wohl bei

völliger Dunkelheit im Zenit (Abh. Preuß. Meteorolog. Institut VI, 1919, S. 136 u. 195). Die Abstände des *B*-Punktes übersteigen die des *A*-Punktes stets außer bei wenigen Sonnenhöhen, und zwar im Herbst bei kleinen negativen, im Winter bei kleinen positiven (l. c. S. 185). Die Abstände beider Punkte sind im Winter größer als im Herbst (l. c. S. 184). (Für den in die Tabelle eingegangenen Idealtag des 24. Januar trifft beides Letztgenannte auf den *B*-Punkt freilich nicht voll zu, wohl aber gilt es für alle übrigen Beobachtungstage.) Der *A*-Punkt ist während langer Zeiten innig verknüpft mit der farbigen oberen Gegendämmerung, sitzt ihrem oberen Rande auf und bewegt sich ebenso langsam wie diese aufwärts (l. c. S. 186).

Ein am 18. Juni 1924 während der Dämmerungsbeobachtung von Maloja anziehendes hellglänzendes Nebelmeer, welches sich bei $-3,5^{\circ}$ Sonnenhöhe an die Station heranschob, erbrachte einen neuen schönen Beweis für die Gültigkeit des Satzes: „Heller Horizont = Vermehrung der Region negativer Polarisation (in diesem Falle also Hebung des über dem hellen Nebelmeer lagernden *B*-Punktes), dunkler Horizont = Vermehrung der Region positiver Polarisation (in diesem Falle also Senkung des *A*-Punktes infolge von mangelhafter Erleuchtung des unter dem *A*-Punkte liegenden Bergrückens durch die die obersten Schichten des Nebelmeeres durchsetzende Strahlung“, denn der Abstand des *B*-Punktes stieg sprunghaft von $17,4$ zu $27,2^{\circ}$ und der des *A*-Punktes senkte sich gleichzeitig von $18,2$ zu $11,6^{\circ}$.

Gegenüber den in Davos in den gleichen Monaten gemessenen Werten zeigen die Muottas-Muraigl-Werte im Oktober augenscheinlich kleinere (im Mittel $0,8$ kleinere) Abstände, im Januar bleiben sich dagegen die Werte gleich. Man wird hieraus nicht den Schluß ziehen können, daß mit Aufstieg um etwa 900 m von Davos nach Muottas-Muraigl sich die Punktabstände jederzeit verkleinern, wohl aber ist erneut eine Antwort gegeben auf die l. c. auf Grund messend festgelegter Einflüsse dunklen Horizontes und dunkler Wolken viel erörterte Frage, ob die im bergumrahmten Davoser Tal während der Dämmerung gemessenen Punktabstände Allgemeingültigkeit haben für das Hochgebirge, und zwar lautet die Antwort in unverändertem Sinne mit „Ja“. Die schwache Beleuchtung des natürlichen Horizontes während der Dämmerung schließt solche Einflüsse so gut wie gänzlich aus.

Dämmerungsbeobachtungen. Sie haben nichts wesentlich Neues, von den Davoser langjährigen Beobachtungen prinzipiell

Abweichendes gebracht, und es wird daher auf eine viel Raum beanspruchende Einzelbeschreibung verzichtet und nur hervorgehoben: Durch alle ungestört verlaufenen, insgesamt neun Beobachtungsreihen wurden die seit 1911 in Davos gewonnenen Resultate¹⁾ bestätigt hinsichtlich

Charakterisierung der gesamten farbigen Dämmerung durch die Intensität des Purpurlichtes, welcher die Lebhaftigkeit der Farben der oberen Gegendämmerung und unteren Gegendämmerung stets parallel gehen.

Jahresgang des Purpurlichtes: Maximum der Intensität im Herbst und Frühwinter, Minimum im April bis Juni.

Intensität des Purpurlichtes um so stärker, je niedriger die Sonnenhöhe, bei welcher das Maximum erreicht ist.

Kleine Verspätung des Beginnes des Purpurlichtes vom Oktober bis Januar.

Segmentform, azimutale Ausdehnung im Mittel 90° .

Entwicklung des Purpurlichtes aus der Grenze von äußerer und innerer Scheibe (alias äußerer und innerer Bishoprings) in etwa 27° Höhe über dem Horizont, in welcher auch das Maximum des mit seinen Ausläufern je nach Intensität des Lichtes 48 bis 58° Höhe erreichenden Purpurlichtes bis zum beginnenden Absinken verbleibt. Innere, bei Beginn des Purpurlichtes bläuliche Scheibe verfärbt sich bis zum Maximum des Purpurlichtes von oben nach unten fortschreitend zu Gelb, in unteren Partien Orange.

Farbe rein purpurrosa, bei stärksten Lichten rein purpurviolett, trotz Farbreinheit stets undurchsichtig, kulissenartig vor dem unmittelbar angrenzenden blauen Himmel stehend. Grün getönte Übergangsfarben fehlen.

Maximum bei Sonnenhöhe (h) = $-3,7^{\circ}$ bis $h = -4,3^{\circ}$.

Beginn des deutlichen Absinkens bei $h = -4,5$ bis $-4,9^{\circ}$; Ende bei $h = -6,2^{\circ}$.

Abendpurpurlichte im Sommer und Herbst kräftiger als Morgenpurpurlichte, im Frühjahr und Winter keine Unterschiede zwischen Morgen und Abend.

Kein Nachpurpurlicht während der ganzen optisch ungestörten Zeit Juli 1923 bis Juni 1924.

Obere Gegendämmerung rein rosa, darunter rein violett, darunter rein stahlblau, stets noch gleichzeitig mit Purpurlicht erkennbar, nicht selten verfolger bis zu 60° über Horizont, d. h. bis zum Eintritt in das elliptisch bis kreisartig verlaufende Dunkelzentrum (l. c. S. 24 und 25). Auch dieses zeigt an allerklarsten Tagen deutlichen Violetton (Glockenerscheinung, l. c. S. 3).

¹⁾ Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 5, Nr. 5, 1917.

Untere Gegendämmerung diffus violett bei $h = -5,5^0$ auf Himmel steigend, bei $h = -7,0^0$ Maximum erreichend.

Erdschatten:

- bei $h = -4,2^0$ 15^0 über dem Horizont der von Sonne abgewandten Himmelsseite;
 „ $h = -5,3^0$ 23^0 über dem Horizont der von Sonne abgewandten Himmelsseite;
 „ $h = -5,7^0$ Zenit;
 „ $h = -7,8^0$ oberer Erdschattenbogen 23^0 über Horizont der Sonnenseite;
 unterer Erdschattenbogen 18^0 über Horizont der Sonnenseite;
 „ $h = -9$ bis 0^0 oberer Erdschattenbogen 16^0 über Horizont der Sonnenseite;
 unterer Erdschattenbogen 12^0 über Horizont der Sonnenseite;
 „ $h = -11,8^0$ Dämmerungsschein 6^0 ;
 farbige horizontale Streifen Orange 1^0 .

Die die Bewegung des Erdschattens betreffenden Zahlen beziehen sich auf den durch größte atmosphärische Reinheit ausgezeichneten 24. Januar 1924 (s. S. 31, 76, 97, 99). Der Durchgang des Erdschattens durch den Zenit, charakterisiert durch den Moment, in welchem die Füße des Erdschattens die zum Sonnenvertikal senkrechte Ebene passieren, fand auch an allen übrigen ungestörten Tagen ohne Unterschied der Jahreszeit bei $h = -5,7^0$ statt. Am 24. Januar 1924 war, wie S. 97 erwähnt, infolge der praktisch nur noch molekularen Zerstreuung des Lichtes in der Atmosphäre die Blauverteilung über den Tageshimmel unabhängig vom Gestirn, sie zeigte auch bei $9,3^0$ Sonnenhöhe noch homogenes Blau der Stärke 2,5 über den ganzen Himmel vom Zenit bis zu etwa 20^0 über dem Horizont und von dort abwärts ein wenig helleres homogenes Blau der Stärke 1,5 bis 2,0 gleichmäßig um den ganzen Horizont. Auch bei $3,3^0$ Sonnenhöhe hielt diese vom Zenit zum Horizont gleichmäßig (unabhängig vom Stande der Sonne) fortschreitende Farbfolge an und zeigte folgende Abstufung:

Zenit bis 60^0 über Horizont	Blaustärke 2,5
60 „ 20 „ „	„ 2,0
20 „ 5 „ „	„ 1,5
5 „ 1 „ „	„ 1,0
darunter	„ 0,5

Erst bei der Sonnenhöhe $0,8^0$ nahm die obere Gegendämmerung einen goldgelben, bei $-0,8^0$ einen rosa Farbton an.

4. Lufterlektrizität.

Das Potentialgefälle wurde in recht einfacher Weise in verschiedenen Höhen über dem Erdboden durch Einzelmessungen verfolgt mittels zweier kräftig wirkender (Aufladezeit 4 Sekunden), auf Ebonitstäben isoliert angebrachter Polonium-Elektroden (starker Poloniumbelag auf Kupferstäbchen), von denen je eine mit den Fäden bzw. dem Konduktor eines Wulfschen Zweifadenelektrometers durch ziemlich starre Kupferdrähte (um Schwankungen im Winde möglichst zu unterdrücken) verbunden war; das Gehäuse des Elektrometers wurde dauernd geerdet gehalten. So las man unmittelbar das Potentialgefälle zwischen den in verschiedenen Höhen (50 cm und 100 cm) über dem Erdboden befindlichen Elektroden ab und das Potentialgefälle jeder einzelnen gegenüber Erde nach Erdung der anderen Elektrode, welche durch gleichzeitige Berührung der Zuführung und des Elektrometergehäuses mittels Schneide des Taschenmessers erfolgte. Um eine Störung des Feldes zu vermeiden, war das Elektrometer ganz nahe über dem Erdboden aufzustellen und in liegender Stellung abzulesen. Infolge der kleinen Kapazität des Systems, der kräftigen Elektroden und der bei normaler Schaltung gleichzeitig angegebenen Potentiale beider isolierten Elektroden kommen bei der beschriebenen Anordnung schon geringste Schwankungen des Potentialgefälles gut zum Ausdruck. Als Standort für die Beobachtungen diente das unmittelbar hinter dem Stationsgebäude etwa in Höhe seines Daches verlaufende Plateau, die Entfernung vom steilen Abhange betrug etwa 50 m; spärlich grasbedeckter felsiger Boden bildete den Untergrund im Juli/August und im Juni, in den anderen Jahreszeiten gleichmäßige zarte Schneedecke, wechselnd zwischen 40 und 100 cm Höhe.

Der Tabelle 32 und den folgenden Betrachtungen liegen, wo nicht anders vermerkt, allein die zwischen 50 und 100 cm über dem

Tabelle 32.
Lufterlektrisches Potentialgefälle in Voltmetern
an ungestörten Tagen.

Zeit \ Tagesstunde W.S.Z.	6 ^a bis 8 ^a	8 ^a bis 10 ^a	10 ^a bis Mg	Mg bis 2 ^p	2 ^p bis 4 ^p	4 ^p bis 6 ^p	6 ^p bis 8 ^p
Januar	171	192	200	535	452	538	483
März	100	—	200	—	326	352	—
Juni	80	137	196	140	158	—	170
Juli/August	80	232	182	175	133	113	144
Oktober (nach Schneefall)	109	—	250	227	200	214	250

Erdboden gemessenen Potentialdifferenzen, umgerechnet auf Voltmeter, zugrunde, denen die zwischen 50 cm und Erdboden und zwischen 100 cm und dem Erdboden gemessenen im allgemeinen zufriedenstellend entsprechen. Wiederholt wurden Versuche angestellt, um in gleicher Höhe über dem Erdboden (50 cm), also bei nur horizontaler Variation, Potentialdifferenzen festzustellen, zumal diese auch Aufklärung geben mußten über etwaigen Einfluß des nicht sehr fernen Abhanges; sie zeigten im Umkreise von 3 m keine Differenzen, die 8 Volt überschritten hätten. Obwohl die Einzelmessungen über den ganzen Tag fortgeführt und zeitlich so dicht gelegt wurden, wie es der allgemeine reiche Aufgabenkreis irgend zuließ, können sie doch auch an ungestörten Tagen eine zusammenhängende Registrierkurve nicht ersetzen, dazu fallen etliche Nachtstunden ganz aus, und so konnte der allerorten gefundene und durch den Gang der Werte in den Spätabendstunden und Frühmorgenstunden auch für diese Beobachtungsreihen gut angedeutete 4^a-Minimalwert nicht zum zahlenmäßigen Ausdruck kommen.

Die in Voltmetern ausgedrückten Absolutwerte des Potentialgefälles von Muottas-Muraigl, gemessen an Normaltagen auf dem vom steilen Abhange nicht mehr nachweisbar beeinflussten Plateau zwischen 50 und 100 cm Höhe über dem Erdboden, übertreffen die im Davoser Hochtale gemessenen um das 4- bis 5fache, und sie liegen selbst nach rechnerischer Reduktion der Davoser Werte auf ein ebenes Niveau nach der von H. Benndorf¹⁾ angegebenen Formel (s. Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1911, S. 73) noch drei bis viermal höher als in Davos, und zwar zu allen Jahreszeiten annähernd gleichmäßig. Davos seinerseits zeichnet sich nach „Studie“, l. c., S. 72 bis 78, durch ein sehr niedriges (nur etwa ein Drittel der Höhe des Potsdamer erreichendes) Potentialgefälle aus.

Im Jahresgang fällt an beiden Orten das Maximum in den Januar, das Minimum in den Juni, die Amplitude (gemessen durch das Verhältnis der Tagesmaxima, da die Tagesmittelwerte infolge Ausfallens vieler Nachtstunden für Muottas-Muraigl nicht sicher festgestellt worden sind) ist in Muottas-Muraigl noch ein wenig höher als in Davos $\left(\frac{\text{Januar}}{\text{Juni}} \text{ Muottas-Muraigl} = 2,8 \text{ gegenüber Davos } 2,5 \right)$, und die Davoser Amplitude übertrifft die der Ebene um etwa 100 Proz. Die Hauptsteigerung der Werte erfolgt sprungweise, sobald der Schnee

¹⁾ Wiener Ber. IIa, Juli 1900.

den Boden deckt (3. Oktober vor Schneefall etwa 50 Proz. niedrigere Werte als am 5. Oktober bei 70 cm hoher Schneelage), der Abfall zum Sommer vollzieht sich dagegen langsam (Tagesmaxima Januar 538, März 350, Juni 196). Die Herbst- (Oktober-) Werte liegen unter den Frühjahrs- (März-) Werten.

Der Charakter des Tagesganges ist an beiden Orten sehr verwandt:

Im Januar: Minimum des Nachts (infolge ungenügender Nachtbeobachtungen nur zu definieren durch < 171), sehr langsamer Anstieg über den Mittagwert 200 zu dem um 2^p und 6^p fast gleich hohen Maximum von 538, getrennt durch eine kleine Senke um 4^p (452) — also im allgemeinen ungestörter einwelliger Verlauf.

Im März: Minimum des Nachts (< 100), Maximum 5^p 30' 352, Tagessenke aus nicht sehr zahlreichen Beobachtungen nicht mit Sicherheit feststellbar — also auch vollkommener Wintertyp.

Im Juni: Minimum des Nachts (< 80), Maximum 10^a 196 und 6^p 30 170, Senke bis 12^{Ms} auf 140 — also sommerliche Doppelwelle mit das Abendmaximum ein wenig überschreitendem Vormittagsmaximum.

Im Juli/August: Minimum des Nachts (< 80), Maximum 9^a 232 und 8^p 144, Senke über 175 um 1^p zu 113 um 5^p — also noch wesentlich stärker ausgeprägter Sommertyp als im Juni.

Die Amplituden zwischen Tagesmaximum und Tagesminimum übertreffen im Juli/August die Davoser (2,0 gegen 1,6), in den übrigen Monaten liegen sie etwa ebensoviel unter den Davosern (Juni 1,4 gegen 1,7, Oktober 1,3 gegen 1,9, März 1,6 gegen 1,7), und die Maxima treten in Davos an früheren Tagesstunden auf als in Muottas-Muraigl — alles in Abhängigkeit vom Auftrieb bzw. aufsteigenden Taldunst.

Weitere Einflüsse meteorologischer Faktoren (neben Schneedecke und Taldunst) konnten nur in wenigen Fällen festgestellt werden:

Vor Erscheinen der Sonne über dem Berg ist das Potentialgefälle zwischen 0 bis 50 cm im Sommer nicht unbedeutend (25 Proz.) höher als zwischen 50 bis 100 cm; beim Erscheinen der Sonne über den Berg steigt das Potentialgefälle schnell an, und zwar in 50 bis 100 cm Höhe schneller als in Erdbodennähe. Ursache: Nächtlicher Taufall und sein Verdampfen unter der Wirkung der Sonnenstrahlen.

Windrichtung: Bei Südwind scheint (wie in Davos) im Mittel kleineres Potentialgefälle zu herrschen als bei Nordwind, doch muß dies bezüglich das Material noch wesentlich erweitert werden, ehe volle Klarheit hierüber herrschen kann. Der Malojawind ändert trotz seines plötzlichen heftigen Auftretens das Potentialgefälle nicht grundsätzlich, wie er ja auch keine Temperatur- und Feuchtigkeitsänderungen mit sich bringt, ganz im Gegensatz zum Föhn (s. S. 16).

Stratuswolken in 1000 m Höhe drückten in einzelnen Fällen die Werte auf die Hälfte bis ein Drittel der normalen herab. Nimbi

wirken in gleichem Sinne, aber weit energischer schon vor Einsetzen des Regens, und hier zeigt sich die erdnahe Zone (zwischen 0 bis 50 cm) um ein Vielfaches mehr beeinflusst (Potentialgefälle fast bis zu Null herabgedrückt) als die höhere (50 bis 100 cm) Zone.

Während Regens ist nicht beobachtet worden; Schneefall wirkt das positive Potentialgefälle stark erhöhend, negatives Potentialgefälle kam während Schneefalles (auch unruhigem Schneefall) und überhaupt nicht zur Beobachtung.

Sehr hübsch konnten, wie schon erklärt, unter der getroffenen Anordnung schnelle Einzelschwankungen des Potentialgefälles verfolgt werden: Sie fanden sich am größten und schnellsten bei Sonnenstrahlung, Cumulibildung und unruhiger Luft, im gleichmäßig wehenden Malojawind aber so gut wie gar nicht, ebensowenig des Morgens und des Abends bei unter dem Horizont stehender Sonne. Stets, außer bei recht starkem Wind, zeigten sie sich zwischen 0 bis 50 cm Höhe über dem Erdboden größer als zwischen 50 bis 100 cm. Im Januar und März fehlten sie fast ganz. Der durch seine außerordentliche Klarheit ausgezeichnete 24. Januar 1924 (s. S. 31, 76, 97, 99, 104) unterschied sich hinsichtlich Höhe des Potentialgefälles und seines Tagesganges nicht von den Nachbar Tagen.

Die Leitfähigkeit wurde mit Gerdiens Apparat¹⁾ bestimmt, demselben, welcher in Davos in Ergänzung der dauernden Registrierung nach Scherings Methode²⁾ und in Agra³⁾ gedient hat. Die Isolationsverluste waren meist gleich Null oder so gering, daß sie gar nicht in Rechnung gesetzt zu werden brauchten. Um Influenzwirkungen durch das Erdfeld nach Möglichkeit auszuschließen, wurde zur Messung das Instrument meist in der Eingangstür des Gebäudes derartig aufgestellt, daß der die Luft ansaugende Aspirator etwa 1 m außerhalb des Gebäudes, also noch voll in dem elektrostatischen Schutz der senkrecht aufsteigenden Hauswand lag. Ließen dies die äußeren Verhältnisse nicht zu, so stand der Apparat möglichst nahe (etwa 1 m entfernt) parallel zur Längswand des Hauses im Freien. Die Leitfähigkeit ist ausgedrückt in 10^{-4} elektrostatischen Einheiten. λ_+ bedeutet positive, λ_- negative, $\lambda_+ + \lambda_-$ Gesamtleitfähigkeit, $q = \frac{\lambda_+}{\lambda_-}$. Da diese Messungen der Leitfähigkeit

wesentlich mehr Zeit erfordern, als die des Potentialgefälles, konnten sie nur an den Beobachtungsterminen $7\frac{1}{2}^a$, 1^p , $6\frac{1}{2}^p$ durchgeführt werden, und das Material ist daher wesentlich kleiner als das für das Potentialgefälle gesammelte. Außerdem ist die Juli/August-Periode ausgefallen, weil das Instrument nicht zur Stelle war, und

1) Göttinger Nachr. 1905, S. 240.

2) Studie, l. c. S. 79ff.

3) Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 341 bis 343.

an den zwei Junitagen sind die Morgen- und Abendwerte nicht einwandfrei infolge nahe der Station über dem Tale liegenden Nebelmeeres. Daher ist über den Sommer noch wenig Sicheres auszusagen.

Tabelle 33.
Luftelektrische Leitfähigkeit in 10^{-4} ESE
an ungestörten Tagen.

Zeit	7 ^a 30'				1 ^p				6 ^p 30'			
	λ_+	λ_-	$\lambda_+ + \lambda_-$	$\frac{\lambda_+}{\lambda_-}$	λ_+	λ_-	$\lambda_+ + \lambda_-$	$\frac{\lambda_+}{\lambda_-}$	λ_+	λ_-	$\lambda_+ + \lambda_-$	$\frac{\lambda_+}{\lambda_-}$
Januar	7,9	4,9	12,8	1,62	6,5	3,5	10,0	1,86	6,5	3,2	9,7	2,03
März .	4,8	3,3	8,1	1,46	5,1	4,5	9,6	1,13	5,0	1,8	6,8	2,80
Juni .	2,4	2,0	4,4	1,21	3,9	5,7	9,6	0,68	2,9	2,2	5,1	1,37
Oktober	5,3	3,3	8,6	1,60	2,7	1,9	4,6	1,42	2,8	2,3	5,1	1,22

Tabelle 33 bringt die Mittelwerte der Morgen-, Mittags- und Abendbeobachtungen an Normaltagen und an ihr fallen sofort die außerordentlich hohen Werte der Gesamtleitfähigkeit auf. Diese übersteigen um das Dreifache die in Davos ermittelten [welche ihrerseits die der Ebene (Potsdam) auch wiederum dreifach übertreffen], und damit wohl alles bisher für Normaltage bekannt gewordene. Der Maximalwert belief sich auf $16,7 \cdot 10^{-4}$ ESE (22. Januar 8^a). Die bedeutende Höhenlage der Station und die durch die Kleinheit des Trübungsfaktors und die großen Strahlungsintensitäten der Sonne nachgewiesene fast vollkommene Staubfreiheit geben wohl die naheliegende Erklärung; gesteigert wird die Leitfähigkeit noch durch die gipfelartige Lage der Station, worauf sogleich die Rede kommen wird.

Der Jahresgang weicht nach dem bisher vorliegenden Material gänzlich ab von dem in Davos durch stark markiertes Maximum im Juni, Minimum in Januar gefundenen, denn gerade der Januar erbrachte zu allen drei Tageterminen die höchsten Werte sowohl für die gesamte Leitfähigkeit als auch für ihre beiden Komponenten. Die Übergangsjahreszeiten (Oktober und März) liegen mit all ihren Werten ganz wesentlich niedriger und sind bis auf den Mittagstermin, an welchem die Leitfähigkeit im März weit größer gefunden worden ist als im Oktober, einander ähnlich. Im mittäglichen Malojawind des Sommers herrschte eine den Winter- und Frühjahrswerten ähnliche, den Herbstwert weit überragende Gesamtleitfähigkeit. Die sommerlichen Morgen- und Abendwerte dürften infolge Nebelmeerbildung unterhalb der Station wesentlich zu niedrig gefunden sein.

Der Tagesgang hat dagegen mit dem Davoser wesentlich größere Ähnlichkeit durch recht ausgeprägtes Maximum (das absolute Maximum fällt in Davos auf 4^a) in den Morgenstunden des Winters und Herbstes, Minimum um die Mittagszeit, wenig ausgeprägten Gang im März.

Während man also aus größerem Material vielleicht im Tageslaufe den gewohnten, im allgemeinen spiegelbildlichen Verlauf von Potentialgefälle und Leitfähigkeit finden könnte, scheint das für den Jahresgang gänzlich ausgeschlossen.

Wie durch ihre absolute Höhe und ihren Jahresgang, so unterscheidet die in Muottas-Muraigl gemessene Leitfähigkeit sich auch ganz wesentlich durch die Verhältnisse der positiven zur negativen Leitfähigkeit (q), welche sich im Mittel der Januar-, März-, Oktober-Periode auf den sehr hohen Wert von 1,68 (gegen 1,13 Davos) stellt. Obwohl dieser Wert durch Hinzufügung des auf die Sommermonate entfallenden beträchtlich gedrückt werden dürfte, kommt in ihm doch eine außergewöhnlich starke Unipolarität (starkes Überwiegen positiver Ionen) zum Ausdruck, für welche man die Erklärung in der Halbgipfellage von Muottas-Muraigl (s. S. 98) und damit verbundener gesteigerter Dichtigkeit der negativen Erdelektrizität suchen wird. Der Jahresgang von q ist im allgemeinen wohl charakterisiert durch Maximum im Winter, wesentlich kleinere Werte in den Übergangsjahreszeiten, Minimum vermutlich im Hochsommer, der Tagesgang durch ungleichen Verlauf in den verschiedenen Jahreszeiten, wie es die Tabelle zeigt. An heiteren Tagen wurde nur im Malojawind am 19. Juni ein q -Wert < 1 gefunden, also ein Überwiegen negativer Ionen. Erst fortgesetzte Messungen können entscheiden, ob dies ein Charakteristikum dieses Windes ist, was seiner Deutung als aufsteigender Talwind günstig sein würde (s. S. 15).

Aus Süd anziehende Nimbi haben an etlichen Tagen q -Werte < 1 gebracht bei fast normalen λ_+ , also durch Heranführung reicherer negativer Ladungen.

Während der im wesentlichen aus Regen bestehenden, bisweilen wechselnd mit Graupeln und Schneefall, abends von Gewitter gefolgt, bei mittelstarkem Süd niedergehenden Niederschläge des 13. Oktober sanken die q -Werte sehr beträchtlich (0,35 bis 0,14 bis 0,19), und zwar infolge sehr gedrückter λ_+ bei wenig erhöhten λ_- .

Trockener Schneefall bei Nordwind erhöhte λ_+ und λ_- meist ein wenig und ziemlich gleichmäßig, so daß die q -Werte normal (1,74) verblieben.

Am Südfuße der Alpen scheint die luftelektrische Leitfähigkeit größer zu sein als am Nordfuße. Süring fand in Agra (565 m) den

Davosern (1560 m) gleiche λ_- bei gesteigerten λ_+ , so daß sich der mittlere q -Wert auf 1,65 (gegenüber 1,13 Davos), also ähnlich Muottas-Muraigl stellt. Die Gesamtleitfähigkeit erreichte aber auch dort nur etwa den dritten Teil der in Muottas-Muraigl herrschenden. In Locarno maß A. Gockel¹⁾ den Agresern ähnliche λ_- , aber kleinere λ_+ -Werte, so daß sich im Mittel alle Werte (λ_+ , λ_- , q) den Davosern recht ähnlich zeigten.

Vertikalstrom. Das Produkt aus Potentialgefälle und Leitfähigkeit ergibt den von der Erde zur Atmosphäre dauernd fließenden luftelektrischen vertikalen Leitungsstrom. Da in Muottas-Muraigl die erstere der beiden Komponenten vier- bis fünfmal höher als in Davos gefunden wurde und die letztere dreimal höher, so ergibt sich für Muottas-Muraigl aus dem bisherigen, freilich noch sehr der Komplettierung bedürftigen Material im Mittel ein 12- bis 15 mal größerer Vertikalstrom. Dieser wäre danach an „Normaltagen“²⁾ etwa von der Größe $2,3 \cdot 10^{-15}$ Amp./cm².

Alle drei luftelektrischen Größen (Potentialgefälle, Leitfähigkeit und Vertikalstrom) steigern sich nach diesen Untersuchungen beim Aufstieg von Davos nach Muottas-Muraigl sehr bedeutend.

Durchdringende Strahlung. Nachdem das Instrumentarium für die Untersuchungen dieser interessanten Strahlungsgattung in den jüngsten Jahren zu bewundernswerter Vollkommenheit geführt worden ist, können mit dem Wulfschen Strahler (Physikal. Zeitschr. 1909, S. 152 bis 156) ausgeführte Messungen kaum noch Interesse erwecken. In Muottas-Muraigl wurde nur des Nachts gemessen, um Strahlungs- und damit verbundene stark und schnell wechselnde Temperatureinflüsse auf das Instrument auszuschließen; die Aufstellung erfolgte auf der Plattform des Daches, welches solide Blechdeckung mit aufliegendem Holzbelag trägt.

In nur niederschlagsfreien Nächten ist gemessen worden:

Tabelle 34.
Durchdringende Strahlung. Volt/Stunde.

Zeit	Mittel	Maxima	Minima
23. bis 29. Juli 1923	9,9	11,7	8,9
21. bis 27. Januar 1924	9,2	10,1	8,2
8. bis 10. März 1924	11,0	11,0	11,0
18. bis 19. Juni 1924	11,3	11,6	11,0

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 447 und 448.

²⁾ Studie, l. c. S. 138, Tabelle 78.

Das Maximum des Juli fiel in eine sehr taureiche Nacht, das Maximum des Januar in die wiederholt erwähnte klarste Nacht vom 24. zum 25., in beiden Juninächten erreichte das über dem Engadiner Hochtal liegende Nebelmeer annähernd die Stationshöhe. Die in Davos am Observatorium gemessenen Zahlen bewegen sich nahe um 11,0.

5. Physik und Physiologie.

Klimatologische Studien wie die vorliegende erfordern nicht nur eine zahlenmäßige Aufführung der physikalisch-meteorologischen Einzeldaten, sondern sie müssen auch die Anwendung derselben für die Naturwissenschaften und Medizin vorbereiten, indem sie sie in eine möglichst gebrauchsfertige Form kleiden. Hinsichtlich der Strahlung, deren physiologische und therapeutische Wirkungen die Medizin gegenwärtig in eifrigem Studium verfolgt, welcher auch die Botanik aufs neue ihr volles Interesse zuzuwenden beginnt, ist das bereits in Abschnitt 2 geschehen, indem — wie zuerst in Davos seit dem Jahre 1907 systematisch begonnen — die durch spezifische Wirkungen sich unterscheidenden Spektralteile im einzelnen tabelliert wurden neben ihrer Gesamtenergie, der Wärmewirkung, welche die Meteorologie nach dem heutigen Stande der Wissenschaft fast allein interessiert. Aus den Tabellen kann ohne Messung mit für biologische Zwecke genügender Genauigkeit für jede Tagesstunde jeder Jahreszeit die zugehörige gesamte ultrarote Helligkeits- und ultraviolette Intensität der an klaren Tagen auf Muottas-Muraigl herrschenden Sonnen- und Himmelsstrahlung entnommen werden, in absolutem Kalorienmaß mit Ausnahme für Ultraviolett, wo mangels eines Einheitsmaßes auf die Stärke eines von der getroffenen Anordnung abhängigen Photostromes abgestellt werden mußte. Der Physiologie bleibt es nun vorbehalten, festzustellen, wieviel von den tatsächlich vorhandenen, von den total absorbierenden Flächen der Meßinstrumente angezeigten Energien von ihren Versuchsobjekten reflektiert wird und wieviel infolge Absorption zur Wirkung kommt, die Energieformen (thermische, chemische, leuchtende, lichtelektrische) zu bestimmen, in welche sich der absorbierte Teil umwandelte, und die Tiefe, in welcher diese die Absorption veranlassende Umwandlung stattfindet, ferner wieviel durch Ausstrahlung wieder abgegeben wird, ähnlich dem groben Anfang, welcher S. 78 gemacht worden ist zur Bestimmung des gesamten Wärmeumsatzes bei verschiedenen Bodenbedeckungen.

Die Sonnen- und Himmelsstrahlen gehören im Gegensatz zu den elektrischen und langwelligen ultraroten, im Gegensatz auch zu den kurzwelligen ultravioletten und Röntgenstrahlen zu denjenigen Strahlengattungen, welche allgemein und insbesondere auch vom menschlichen Organismus reich absorbiert werden und daher auch reich auf ihn wirken. Aus diesem Grunde haben die Sonnen- und Lichtstrahlen — wie wohl heute noch häufig übersehen wird — allgemeinbiologisch und daher wohl auch therapeutisch größere Bedeutung als die Röntgenstrahlen.

Ableitung physiologischer aus physikalischen Größen. Auch die Ausstrahlungsgrößen von Muottas-Muraigl sind in traditioneller Weise in Tabelle 23, S. 75, als *A*-Werte aufgeführt, bezogen auf die zur Zeit der Beobachtung herrschende Lufttemperatur. Die so formulierten *A*-Werte sind nun aber keineswegs ohne weiteres für den Physiologen verwendbar, sie müssen vielmehr von Fall zu Fall nach dem Stefan-Boltzmannschen Gesetz (die gesamte Energie der Strahlung ist proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur) umgerechnet werden auf die Temperatur des betrachteten Objekts. So ist beispielsweise ein bei 0° C Lufttemperatur gemessener *A*-Wert von 0,200 Cal gleich 0,265 für ein 10° C Temperatur besitzendes Objekt und 0,488 für ein solches, welches die Körpertemperatur des Menschen von 36,5° aufweist. Daher sind in Tabelle 23 unter $A_{36,5}$ die für letzteren Fall geltenden Ausstrahlungswerte mit aufgeführt, und man sieht aus der Tabelle durch Vergleich von $A_{36,5}$ und dem, wie gewohnt, auf Lufttemperatur bezüglichen *A*, daß sich die nächtliche Ausstrahlung für den Menschen auf Muottas-Muraigl im Sommer um etwa 50 Proz., im Winter um etwa 80 Proz. höher stellt, als die übliche Zahl angibt.

Nicht anders liegt es mit der zur Charakterisierung der Feuchtigkeit eines Klimas auch heute noch meist in den Vordergrund gestellten relativen Feuchtigkeit; auch sie sagt, da für Lufttemperatur geltend, nichts aus über ihre Beziehung zum Menschen oder auch jedem durch Strahlungs- oder Leitungseinflüsse über Lufttemperatur erwärmten oder auch unter dieselbe abgekühlten Objekt. So ist beispielsweise eine relative Feuchtigkeit von 100 Proz. bei 0° Lufttemperatur gleich 50 Proz. für eine gleichzeitig durch Strahlung auf 10° erwärmte Mauer und nur 10 Proz. für den Menschen mit seiner Körpertemperatur von 36,5°. Mit „physiologischer Feuchtigkeit“ bezeichnet man zweckmäßig die auf die Temperatur des Warmblüters (Menschen) bezogene relative Feuchtigkeit, mit

„physiologischem Sättigungsdefizit“ die Differenz zwischen bei Körpertemperatur möglichem und vorhandenem Wasserdampfgehalt der Luft (in Grammen pro Kubikmeter Luft, wofür ohne wesentlichen Fehler auch die Differenz der entsprechenden Dampfdrucke gesetzt werden kann). Es geht also auch hier für den Physiologen nicht ohne Umrechnung ab, zu welcher die sorgsamst und mühsamst festgelegten Tabellen für den Sättigungsdruck des Wasserdampfes in Abhängigkeit von der Temperatur die einfache Handhabe bieten.

Schwieriger wird die Umrechnung, wenn man aus den in den meteorologischen Tabellen für den Wind allein angegebenen Geschwindigkeiten seine abkühlende und austrocknende Wirkung ableiten will, da diese wiederum in Beziehung steht zu Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Auf diese beiden dynamischen Größen, Abkühlung und Austrocknung, aber kommt es für die Physiologie an, sie bilden die Grundlagen alles Lebens, nicht die statischen Größen „Wärme und Wasser“, auf welche die meteorologischen Tabellen abstellen. Man kann die ersteren aus den letzteren, wenn überhaupt, so doch nur durch recht umständliche Rechnungen ableiten und bedarf dazu — wie oben nachgewiesen — auch der Kenntnis der Eigentemperatur der betrachteten Objekte. Hierauf zielt F. Linkes bedeutsames Bestreben, die Übertemperatur einer frei aufgestellten schwarzen Kugel zu registrieren¹⁾. Diese Übertemperatur entspricht der gesamten Strahlenwirkung, sowohl der von Sonne, Himmel und Erde eingehenden als auch der ausgehenden Strahlung, auch sie wird — wie es zu exakt physikalischer Definition nötig ist — durch einen nach aller Möglichkeit alle Strahlen absorbierenden und emittierenden Körper gemessen. Diese die mannigfaltigen Strahlenwirkungen, nicht aber die Leitung, einheitlich berücksichtigende Größe ist mit Vorteil rechnerisch verwendbar zur Berechnung der Temperaturen und damit auch der Abkühlungs- und Austrocknungsgrößen aller unbelebten und belebten Materie, die Warmblüter mit eigener Wärmeproduktion ausgenommen, für welche diese beiden Fundamentalgrößen einfacher zu bestimmen sind. Natürlich bedarf es auch in diesem Falle der Kenntnis, wieviel der, vom Totalabsorption meldenden Instrument, angezeigten Intensität vom betrachteten Objekt reflektiert, wieviel aufgenommen wird, bzw. man kann aus den Angaben des Instruments einerseits und der Temperatur der Objekte andererseits die Reflexions- und

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1926, S. 11 bis 15.

Absorptionsverhältnisse berechnen, vorausgesetzt freilich, daß der Leitungseffekt bekannt ist. Um zu guten Resultaten zu gelangen, muß man allerdings die abkühlende Wirkung des Windes recht genau kennen, was weder bei turbulenter noch bei sehr leichter Luftbewegung der Fall ist.

Effektive Temperaturen der Erdoberfläche, von Pflanzenteilen und anderen Objekten sowie der Schneedecke.

Wie groß sind nun die Übertemperaturen bzw. effektiven Temperaturen der interessierenden belebten und unbelebten Objekte?

Zur Bestimmung der Temperaturen diene ein Thermoelement aus Kupfer und Konstantan, dessen eine Lötstelle in einer ölgefüllten (es genügt auch Luftfüllung, nicht aber Wasserfüllung) Thermosflasche liegt, direkt verbunden innerhalb einer mit Korkstopfen abgeschlossenen Glasröhre mit dem Quecksilbergefaß eines empfindlichen oben aus der Flasche herausragenden und dort ablesbaren Thermometers, während die andere Lötstelle beweglich ist und der zu messenden Oberfläche aufgesetzt wird. Eine kleine, aber wichtige Vorkehrung ist, daß diese zweite sehr schmale und dünne Lötstelle über ein kleines schmales Korkstückchen gespannt ist, welches die Ausstrahlung abhält und vermöge seines geringen Leitvermögens auch keine Wärme ableitet. Mit der Thermosflasche ist auf dem gleichen Grundbrette ein Galvanometer von nur 1 Ohm Widerstand bei 10^{-5} Empfindlichkeit montiert, so daß das Ganze leicht transportabel ist. Auf $1/10^0$ genau kann man im Mittel mit dieser Vorrichtung messen.

Es sind gemessen worden die Temperaturen der Erdoberfläche (Fels, Grasdecke, Humusboden), anderer leicht erreichbarer Objekte und auch von einzelnen Pflanzenteilen. Auf die Temperatur der menschlichen Oberhaut kommt später die Rede. Die Meßreihe eines Tages, des 24. Juli 1923, bringt Tabelle 35. Lufttemperatur und relative Feuchtigkeit sind mit Assmanns Aspirations-Psychrometer bestimmt. Außer relativer Feuchtigkeit in bezug auf Luft- und Objekttemperatur ist auch das Sättigungsdefizit für beide Fälle aufgeführt. Alle Objekte waren nach aller Möglichkeit stets frei exponiert, sowohl gegen Sonne als auch gegen Wind. Leider mehrten sich des Mittags die Wolken, so daß das Maximum nicht voll erfaßt werden konnte.

Bemerkenswert sind die Untertemperaturen vor Sonnenerscheinen als Wirkung der Ausstrahlung; sie sind beim Gras mit seiner dunklen Farbe und rauhen, frei exponierten Oberfläche weit größer als beim ziemlich glatten, hellgrauen Granitblock; der Humusboden hat noch Wärme aus der Bodentiefe nachgeliefert

Tabelle 35. Beispiele von Temperaturen der Erdbodenoberfläche
Begleitdaten über meteorologische und physiologische

Tag	Zeit W. S. Z.	Objekt	Temperatur °C		Über- tempe- ratur °C	Rel. Feuchtigkeit %	
			Objekt	Luft		Objekt ²⁾	Luft
							1.
1923 24. Juli	5 ^a 15'	Granit, hellgrau	5,6 ¹⁾	6,4	— 0,8	88	83
		Gras	4,2		— 2,2	97	
		Schwarzer Humus	—		—	—	
	5 19		6,2	6,5	— 0,3	83	81
			4,8		— 1,7	91	
			6,4		— 0,1	82	
							⊙ über Berg
	5 ^a 58'		8,0	7,0	+ 1,0	71	76
			—		—	—	
			—		—	—	
	6 3		10,3	7,0	3,3	61	76
			7,6		0,6	73	
			8,6		1,6	68	
	6 14		10,0	7,3	2,7	—	—
			10,3		3,0	—	
			11,1		3,8	—	
	6 32		14,4	7,7	6,7	43	67
			13,8		6,1	45	
			13,5		5,8	46	
	6 50		12,7	7,9	4,8	—	—
			13,6		5,7	—	
			13,8		5,9	—	
	8 6		14,1	8,2	5,9	45	67
			14,9 ³⁾		6,7	43	
			18,3		10,1	35	
	8 39		12,8	9,8	3,0	53	65
			16,2		6,4	43	
			18,0		8,2	38	
	10 39		20,6	12,0	8,6	27	47
			23,2		11,2	23	
			26,7		14,7	19	
	2 ^p 49		20,6	13,6	7,0	29	45
							2. Pflanzenteile. Margueritenblüte
	9 ^a 41'	weiß	16,8	10,9	5,9	39	57
		gelb	17,3		6,4	38	
	3 ^p 53	weiß	20,9	12,9	8,0	28	47
		gelb	19,9		7,0	30	
	6 26	weiß	13,2	11,3	1,9		50
		gelb	12,6		1,3		
							3. Andere
	8 ^a 39'	Zement	20,9	9,8	11,1	32	65
		Geteertes Dach	29,6		19,8	19	

¹⁾ Die gewöhnlichen Ziffern beziehen sich stets auf Granit, die Kursivziffern auf Gras, die logische Feuchtigkeit. — ³⁾ Gras anfangs sehr feucht, trocken erst ab 8^a 6'.

fläche, von Pflanzenteilen und anderen Objekten nebst Temperatur, Feuchtigkeit, Austrocknungsgröße.

Physiologisches Sättigungsdefizit		Wind m/sec	$\frac{S + H}{\text{gcal}} \frac{\text{min cm}^2}{\text{min cm}^2}$	$S_0 - 4$	$B_0 - 10$	Austrocknungsgröße	
Objekt	Luft					S_{Objekt}	S_{Luft}
Erboden.							
		Ost 1,79	—	—	3, Ci-Str		
		Ost 1,79	—	—	3, Ci-Str		
5 ^a 49' bis 5 ^a 51'.							
		Ost 1,79	0,36	3	3, Ci-Str		
		Süd 1,79	0,45	3 bis 4	4		
		Süd 1,79	—	3 bis 4	4		
		Süd 1,79	0,50	3 bis 4	4		
		Süd 1,81	0,52	3 bis 4	4, Ci-Str		
		Süd 1,81	0,84	3 bis 4	4, Ci-Str		
		Süd 1,81	1,06	3 bis 4	4, Ci-Str		
		West 3,15	1,59	3	7, Ci-Str, Cu		
		West 4,51	1,17	2	10, Ci-Str, Cu		
(Chrysanthemum Leucanthemum).							
8,72	4,19	Südwest 3,16	1,37	4	6, Ci-Str, Cu	0,25	0,12
9,17						0,27	
13,17	5,89	West 4,51	—	2	10	0,52	0,20
12,08						0,46	
6,32	5,00	Nord 4,24	—	2	7	0,21	0,17
5,89						0,20	
Objekte.							
		Süd 1,81	1,06	3 bis 4	4, Ci-Str		

halbfetten Ziffern auf Humus. — 2) Relative Feuchtigkeit in bezug auf lebendes Objekt = physio-

erhalten und ist daher eine Kleinigkeit wärmer verblieben als der Granit. Schnell wandeln sich beim Erscheinen der Sonne unter der Strahlenwirkung von Sonne und Himmel ($S + H$ der Tabelle) die Untertemperaturen in Übertemperaturen: Der feuchte Humusboden wird gegenüber dem trockenen Granitblock anfangs durch Verdunstungskälte auf niedrigerer Temperatur erhalten, bringt es dann aber zu $14,7^{\circ}$ (gegenüber $8,6^{\circ}$) Übertemperatur bei nur 12° Lufttemperatur. Das Gras verliert seine Taufeuchtigkeit schneller, gelangt aber nur zu $11,2^{\circ}$ Übertemperatur. Interessant ist die durch vorübergehend stärkeren Wind vermehrte Senke um $8^{\circ} 39'$: Der Granitblock reagiert weitaus am stärksten, das die Wärme schlecht leitende, biegsame Gras am schwächsten. Weit wirksamer als auf die in der Erdoberfläche wurzelnden Objekte zeigt sich die Strahlung auf isolierte Objekte: Schon in der frühen Vormittagsstunde, $8^{\circ} 39'$, bei nur $9,8^{\circ}$ Lufttemperatur erreichen der Zement des Gebäudes $20,9^{\circ}$, geteerte Dachteile $29,6^{\circ}$ C, was $11,1$ bzw. $19,8^{\circ}$ Übertemperatur bedeutet, und dies alles keineswegs bei Windstille, sondern bei leichtem bis mittelstarkem Winde.

Trotz dieser nicht besonders günstigen Verhältnisse nahmen auch die Blüten der Margueriten (*Chrysanthemum Leucanthemum*) keineswegs unbedeutende Übertemperaturen von 6 bis 8° an, und zwar derart, daß stets eine Temperaturdifferenz zwischen Randblüten und Scheibenblüten bestand, deren Vorzeichen sich vom Morgen zum Mittag und Abend umkehrten, während sich die Blüten dauernd der Sonne zuwandten. Des Morgens hielten die weißen Randblüten ganz nach vorn geneigt die gelben Scheibenblüten vor Kälte schützend fast umschlossen, im Laufe des Vormittags sich öffnend, schlugen sie am Nachmittag nach rückwärts derart aus, daß die gelben Scheibenblüten weit vorausgestreckt von vorn und allen Seiten die auffallende Sonnenstrahlung ungehindert aufnehmen konnten. Die Gleichmäßigkeit und Lebhaftigkeit dieser Bewegungen der zahlreich in der Umgebung des Observatoriums blühenden Pflanzen zu beobachten, machte große Freude.

Der Tabelle sind nun auch die relativen Feuchtigkeiten nicht nur für die Temperatur der Luft, sondern auch für die Temperatur der beobachteten Objekte, d. h. ihre physiologische Feuchtigkeit, beigelegt: Von nahe dem Sättigungsgrad springen sie für Gras beim Erscheinen der Sonne sogleich auf 71 Proz., in einer halben Stunde auf 45 Proz. und erreichen noch am Vormittage 23 Proz. Kann da die Behauptung aufrechterhalten werden, das Alpenklima sei für

die Pflanzen trocken (s. S. 12 und 127)? Auch für die Margueriten sinkt die relative Feuchtigkeit bis auf 30 Proz., obwohl der ganze Himmel von Stratus und Cumulus bedeckt und die Helligkeitsstufe der Sonne zum Grade 2 herabgesunken ist.

Wie wenig diese Zahlen etwa Extreme bilden, soll nun noch in Tabelle 36 durch in Davos bei Windstille oder sehr geringer Luftbewegung vorgenommene Meßreihen dargelegt werden. Keineswegs sind die gemeldeten Zahlen als absolute Maxima zu betrachten, sondern als mittlere, allen normalen sonnigen Sommertagen an windgeschützten Orten eigene Maxima.

Im Windschutz steigern sich also die Übertemperaturen ganz wesentlich, im Extremfalle auf 28,6° über 23,0 Lufttemperatur = 51,6° für schwarze Humuserde. Die Temperaturen der Pflanzenblüten variieren vielfach systematisch mit der Farbe: Gelb zeigt sich wärmer als Weiß (Gänseblümchen, Mohn), Violett und Schwarz wärmer als Gelb und Rot, Rot meist, aber nicht immer, wärmer als Grün. Für Anstrichfarben, aufgetragen auf Holz, ist durch wiederholte Messungen festgestellt, daß Rot mehr Wärmeschutz verleiht als Grün, aber der Wärmeschutz jeder Anstrichfarbe, auch der weißen, ist recht gering, wie schon das Beispiel der Tabelle (weiß gestrichenes Holz 17,9° Übertemperatur über 20,4° Lufttemperatur) beweist. An verschiedenfarbigen Holzklötzen hat der Verfasser nachgewiesen, daß bei Windstille die Zufuhr einer Grammkalorie der Sonnenstrahlung pro Quadratcentimeter und Minute folgende Temperaturerhöhungen verursacht:

Weiß	10,8° C
Rosa	11,0
Gelb	14,8
Rot	15,7
Grün	16,2
Schwarz	16,9

In den Extremfällen der im gänzlichen Windschutz und voller Sonne stehenden Blumenkästen bei 51,6° Temperatur der Erde, 37,6° des Holzes, 33,3° der Stiefmütterchenblüten wurden bei nur 23,0° Lufttemperatur 30 Proz. relative Feuchtigkeit gemessen. Das bedeutet für die Blüte 18 Proz. physiologische Feuchtigkeit. Diese zahlenmäßig festgelegten hohen Übertemperaturen lehren, unter welcher verschiedenen Einflüssen der Strahlung seitens der Umgebung der Mensch, die Pflanze, jedes tote Objekt an solchen Sommertagen stehen. Diese großen Strahlungsdifferenzen lösen natürlich entsprechende Konvektionsströme der Luft aus, worauf noch zurückzukommen sein wird.

Tabelle 36. Mittlere maximale Temperaturen der Erdober-
temperaturen gegen Luft, meteorologische

Objekt	Temperatur	
	Objekt	Luft
1. Erd-		
Kies	34,0	22,0
Sand	31,6	22,4
Humus	39,8	23,8
Schwarze Erde in Blumenkästen, 2 mm Tiefe	51,6	23,0
Schwarze Erde in Blumenkästen, 5 mm Tiefe	48,6	23,0
Schwarze Erde in Blumenkästen, 15 mm Tiefe	43,2	23,0
Hölzerner grüner Blumenkasten, oben	37,6	23,0
Hölzerner grüner Blumenkasten, außen	32,1	23,0
Schwarzer Blechbeschlag desselben	40,8	23,0
Ziegel-Blumentopf	32,8	23,0
2. Pflanzen-		
Gänseblümchen, grüner Stengel	31,8	14,3
Gänseblümchen, weiße Blüte	26,8	14,3
Gänseblümchen, gelbe Blüte	27,3	14,3
Erdbeerblätter	27,2	13,2
Mohn, weiß	29,8	20,2
Mohn, gelb	30,7	20,2
Nelke, karminrot	29,6	20,2
Bauernrose, grünes Blatt	27,9	23,0
Bauernrose, rote Knospe	30,7	23,0
In Blumenkasten, Blüten Stiefmütterchen, weiß	32,3	23,0
In Blumenkasten, Blüten Stiefmütterchen, dunkelviolet	33,3	23,0
3. Andere		
Holz, weiß gestrichen ¹⁾	38,3	20,4
Holz, grün gestrichen	39,2	18,1
Holz, dunkelbraun, Natur (Tanne)	43,7	21,0
Zinkblech, grün gestrichen	43,8	23,0
Zinkblech, schwarz gestrichen	47,6	23,0
Ziegel, gelbrot	42,4	21,4
Kalkstein	44,0	21,4
Zement	37,1	18,9

1) Fuß von Stevensons Thermometerhütte auf Sonnenseite; gleichzeitige Temperatur

fläche, von Pflanzen und anderen Objekten nebst Über- und physiologischer Austrocknungsgröße.

Über- temperatur	Austrocknungsgröße			
	nach Knoche		nach Szymkiewicz	
	S_{Objekt}	S_{Luft}	i_{Objekt}	i_{Luft}
boden.				
12,0	0,37	0,08		
9,2	0,28	0,09		
16,0	0,61	0,09		
28,6	1,97	0,09		
25,6	1,49	0,09		
20,2	0,89	0,09		
14,6	0,51	0,09		
9,1	0,29	0,09		
17,8	0,71	0,09		
9,8	0,31	0,09		
teile.				
17,5	0,44	0,06	46,2	10,5
12,5	0,26	0,06	31,9	10,5
13,0	0,27	0,06	33,2	10,5
14,0	0,29	0,06	33,3	9,7
9,6	0,27	0,09	37,9	16,6
10,5	0,29	0,09	40,7	16,6
9,4	0,26	0,09	37,4	16,6
4,9	0,18	0,11	31,1	20,0
7,7	0,25	0,11	39,1	20,0
9,3	0,30	0,11	44,3	20,0
10,3	0,33	0,11	47,8	20,0
Objekte.				
17,9	0,62	0,07		
21,1	0,72	0,06		
22,7	1,03	0,08		
20,8	0,98	0,09		
24,6	1,41	0,09		
21,0	0,94	0,08		
22,6	1,00	0,08		
18,2	0,54	0,06		

einer Schattenseite 32,9°.

Die genannten Temperaturdifferenzen bezogen sich auf Sonnenexposition, sie werden natürlich wesentlich größer zwischen Sonne und Schatten. Hierfür diene noch folgendes kleine Beispiel eines wolkenlosen, einer taureichen Nacht folgenden Sommermorgens, des 10. Juni 1924.

Zeit	Objekt	Objekttemperatur		Lufttemperatur	Übertemperatur	
		Schatten	Sonne		Schatten	Sonne
6 ^a 53'	Schwarze Erde	4,0	13,3	7,4	— 3,4	5,9 ¹⁾
	Kieselstein, walnußgroß, hellgrau	<i>4,0</i>	<i>13,4</i>		<i>— 3,4</i>	<i>6,0</i>
	Erdbeerblatt	5,9	11,1		— 1,5	3,7
7 51	Schwarze Erde	—	19,4	10,0	—	9,4
	Kieselstein, walnußgroß, hellgrau	—	—		—	—
	Erdbeerblatt	—	13,4		—	3,4
8 50	Schwarze Erde	6,4	23,6	14,3	— 7,9	9,3
	Kieselstein, walnußgroß, hellgrau	<i>9,0</i>	<i>19,0</i>		<i>— 5,3</i>	<i>4,7</i>
	Erdbeerblatt	9,4	17,2		— 4,9	2,9
9 37	Schwarze Erde	6,6	24,8	15,3	— 8,7	9,5
	Kieselstein, walnußgroß, hellgrau	<i>9,6</i>	<i>20,5</i>		<i>— 5,7</i>	<i>5,2</i>
	Erdbeerblatt	10,2	18,9		— 5,1	3,6

¹⁾ Die gewöhnlichen Ziffern beziehen sich stets auf schwarze Erde, die Kursivziffern auf Kieselstein, die halbfetten Ziffern auf Erdbeerblatt.

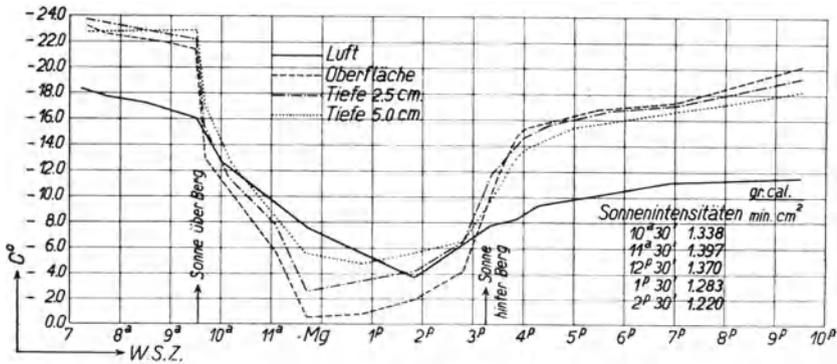
Im Schatten besteht dauernd Untertemperatur, und sie vergrößert sich im Laufe des Vormittags, da die Lufttemperatur viel schneller steigt als die der im Schatten stehenden Objekte. Um 9^a 37' gilt für den schwarzen Humusboden eine Untertemperatur von 8,7⁰ im Schatten gegenüber einer Übertemperatur von 9,5⁰ in der Sonne. Schneller als der Humusboden erwärmt sich im Schatten der frei aufliegende, von der wärmeren Luft reich umspülte Stein; dies machen sich die Chinesen in ihrer Gartenbaukunst praktisch zunutze. Invers verlaufen infolge Absorptions- und Emissionsvermögens für Strahlung die Schatten- und Sonnentemperaturen für die drei als Beispiele gewählten Objekte: Das im Schatten kälteste ist jederzeit in der Sonne am wärmsten.

Maxima von Untertemperaturen sind nur an der Schneedecke verfolgt, welche ja ihre ganz besondere Bedeutung für das Hochgebirge hat durch ihre jährliche Dauer von 5 Monaten in Davos, 7 Monaten in Muottas-Muraigl. Der Gang der Schneetemperaturen auf der Oberfläche und in geringer Tiefe (2,5 und 5 cm unter Ober-

fläche) in Abhängigkeit von der Lufttemperatur sei durch eine in Davos am wolkenlosen 5. Dezember 1925 durchgeführte Beobachtungsreihe dokumentiert. In leicht übersichtlicher graphischer Darstellung findet sie sich in Fig. 7. Neben der Figur sind stundenweise die Sonnenintensitäten in $\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}$ angegeben.

Eine Amplitude von $14,5^{\circ}$ der Lufttemperatur ($-18,3$ bis $-3,8^{\circ}$) wird begleitet von einer um die Hälfte größeren Amplitude der Oberflächentemperatur des Schnees von $22,5^{\circ}$ ($-23,1$ bis $-0,6^{\circ}$). Schneller als die von Konvektion und Advektion abhängige Luft-

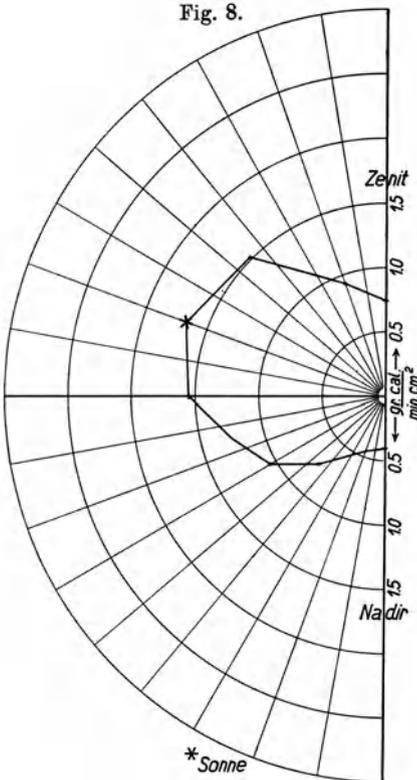
Fig. 7.



Luft- und Schneetemperaturen auf Oberfläche und in 2,5 cm und 5 cm Tiefe (Tagesgang). Davos, 5. Dezember 1925; thermoelektrisch gemessen.

temperatur folgt die ganz überwiegend von der Sonnenstrahlung beeinflusste Oberflächentemperatur des Schnees (die Leitfähigkeit des Schnees ist sehr gering) dem Laufe des Tagesgestirnes, denn bereits 12^p 50' beginnt sie zu sinken, während die Lufttemperatur noch bis 1^p 57' ansteigt, und viel schneller und energischer findet infolge Ausstrahlung das Sinken der Oberflächentemperatur statt, insbesondere, nachdem die Sonne hinter den Berg gegangen. Gleiche Temperaturen erreichen Luft und Schneeoberfläche kurz nach Sonnenerscheinen und kurz vor Sonnenverschwinden. Mit etwas kleinerer Amplitude, aber ohne merkliche Verzögerung, folgt die Temperatur in 2½ cm Tiefe, unter fernerer Verkleinerung und unter Verzögerung in 5 cm Tiefe. Auch hier werden in der Mittagszeit noch annähernd gleich hohe Temperaturen erreicht, wie in der Luft infolge beträchtlicher Durchlässigkeit der lockeren Schnee-

decke für Sonnenstrahlen. Für die Abendzeit zur Zeit des Maximums der Ausstrahlung zeigt die Kurve gegenüber der Mittagszeit beim Maximum der Einstrahlung inverse Temperaturschichtung (Schnee kälter als Luft, am kältesten an der Oberfläche), bei Beginn der Beobachtungen am Morgen war bei Nachlassen der Ausstrahlung und unter dem Einfluß der zunehmenden Lufttemperatur die Temperatur der Schneeo-



Einstrahlungs-Verteilungskurve
am wolkenlosen 3. Dezember 1920,
mittags $\left(\frac{\text{gcal}}{\text{min cm}^2}\right) \cdot 1,5 \text{ m Schneehöhe.}$

berfläche schon angestiegen über die in 2,5 und 5 cm Tiefe herrschende. Die winterliche Tagesamplitude der Schneeoberfläche in Höhe von $22,5^\circ$ steht kaum nach der sommerlichen des schwarzen Humusbodens. Der 5. Dezember 1925 brachte keine Extremwerte; am 13. März 1925 wurde beispielsweise um $7^{\text{a}} 30'$ bei $-14,8^\circ$ Lufttemperatur gemessen:

Oberflächentemperatur	
des. Schnees	$-24,3^\circ$
5 cm unter Oberfläche	$-25,2$
10 „ „ „	$-27,2$

Die Durchlässigkeit einer lockeren, seitlich unbegrenzten Schneefläche für Helligkeitsstrahlen ist in Davos photometrisch bestimmt und mit 68 Proz. für 1 cm Schichtdicke gefunden.

Daß bei Kältetemperaturen der Schneeoberfläche von etwa -24° auch fast

die letzten Spuren von Feuchtigkeit aus der Luft in Reifforn niedergeschlagen werden müssen, leuchtet ein; der Reif fehlt daher in keiner klaren Nacht, und er trägt wohl mit dazu bei, daß die Schneedecke auch während langer Schönwetterperioden ihre volle Weiße und Zartheit behält.

In diesem Zusammenhange sei noch in Ergänzung der S. 90 gebrachten Daten über das (blauviolette) Südlicht bei Schneelage eine das Reflexionsvermögen des Schnees drastisch beweisende graphische Darstellung gebracht (Fig. 8). Sie stellt analog der in der Beleuchtungstechnik gebräuchlichen (ausgehenden) Lichtverteilungskurve einer künstlichen Lichtquelle die von Sonne und Himmel und Schneeboden eingehende Strahlungsverteilungskurve dar, und zwar im absoluten Maß der Kalorie. Auf den der Sonne zugewandt stehenden Menschen fällt hiernach um die Mittagszeit des Hochwinters fast die maximale Strahlungsenergie senkrecht auf, und auch aus Erdbodenrichtung kommt ein mächtiger, durch das große unter der Horizontalen verlaufende Kurvenstück dargestellter Strahlungszuwachs.

Die in der Praxis gemessenen Objekttemperaturen gestatten nun in Verbindung mit den meteorologischen Daten der Lufttemperatur, der Feuchtigkeit, des Windes, ähnlich S. 113/114, die physiologische Austrocknungs- und Abkühlungsgröße zu berechnen.

Austrocknungsgröße. Zur Ableitung der Austrocknungsgröße stellte W. Knoche¹⁾, basierend auf Formeln, welche F. Bigelow aus sehr umfangreichen, an Gefäßen verschiedener Größe an verschiedenen Orten Nord- und Südamerikas durchgeführten Beobachtungsreihen für die Verdunstungsgröße abgeleitet hat, eine Skala von „geo-“ und „anthropo-“ klimatischen Austrocknungsgrößen auf, letztere bezogen auf die Haupttemperatur des Menschen, erstere auf Lufttemperatur und diverse, durch Messungen zu bestimmende Temperaturen der Erdoberfläche und der Pflanzen.

Diese Formeln

bei Windstille:
$$S_e = \frac{E_t dE}{e dt},$$

bei Windgeschwindigkeiten:
$$S_v = 0,023 F(v) \frac{E_t dE}{e dt} (1 + 0,084 v),$$

e = gemessener Dampfdruck,

E = maximale Spannkraft bei der Temperatur t ,

v = Windgeschwindigkeit in Kilometern pro Stunde,

$F(v)$ = Funktion von v , welche zwischen $v = 0$ und 25 km/h zwischen 1 und 1,7 schwankt,

gültig für ein Gefäß von $\frac{1}{2}$ m² Oberfläche und einer Dauer von 4 Stunden,

¹⁾ Revista Chilena de Historia y Geografia 1919, Nr. 34 und 35.

berücksichtigen die Verdunstung kleiner Oberflächen und sind schon aus diesem Grunde für die gedachten Zwecke der in der Meteorologie am meisten gebrauchten von W. Trabert vorzuziehen, welche sich auf ausgedehnte Wasserflächen beziehen.

Für die fünf Beobachtungsperioden berechnen sich aus den in Tabelle 1 niedergelegten Mittelwerten der Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit folgende Austrocknungsgrößen, bezogen auf Lufttemperatur:

Tabelle 37.
Austrocknungsgrößen auf Muottas-Muraigl
für Lufttemperaturen.

Zeit	S_{Luft}	Klasse
23. Juli bis 2. August 1923 . . .	0,133	VI (groß)
2. bis 14. Oktober 1923	0,047	IV (normal)
20. bis 27. Januar 1924	0,061	IV (normal)
8. bis 13. März 1924	0,052	IV (normal)
18. bis 19. Juni 1924	0,110	V (mäßig groß)

In der letzten Rubrik ist die Klasse, in welche die berechnete Austrocknungsgröße fällt, nach Zahl und Bedeutung vermerkt. Die Klassen variieren mit den Jahreszeiten zwischen IV im Winter und VI im Sommer; es herrschen normale Austrocknungsgrößen im Winter, große im Hochsommer; Verhältnis Maximum : Minimum = 2,8.

In gleicher Weise sind die in Tabelle 35 zu 2. für Pflanzen unter S_{Luft} angegebenen Werte berechnet, der erste und dritte Wert fällt in Klasse „groß“, der mittlere in Klasse „sehr groß“. Also, auch wenn die Pflanzen gleiche Temperatur wie die Luft besäßen, wären sie großer bis sehr großer Austrocknung ausgesetzt; unter Berücksichtigung der Übertemperatur erhöhen sich die Austrocknungswerte nach Spalte S_{Objekt} je nach der Tageszeit zur $2\frac{1}{2}$ - bis $1\frac{1}{4}$ -fachen Größe: Des Morgens und Mittags fallen sie in die Klasse „außerordentlich groß“, der Abendwert in die Klasse „sehr groß“.

Noch mehr gesteigerte Verhältnisse zeigt die Tabelle 36, welche in Davos gemessene Werte enthält und sich auf im Windschutz stehende Objekte bezieht. Alle Pflanzen, mit Ausnahme einer (der Bauernrose), unterliegen da „außerordentlicher“ Trockenheit, denn diese Klasse beginnt mit dem Werte 0,26. Dieser Grenzwert wird im Extremfalle (schwarzer Humus im Blumenkasten) um das $7\frac{1}{2}$ -fache überschritten, und auch die Bauernrose unterliegt „sehr großer“ Austrocknung.

An sonnigen Sommertagen erhöhen sich also die nach den meteorologischen Sommermitteln „großen“, Austrocknungsgrößen auf „sehr große“ bis meist „außerordentliche große“ für die Pflanzen; an windgeschützten Orten finden sich die Maxima, denn die Übertemperaturen bestimmen die Austrocknungsgröße mehr als der Wind; des Windes Bedeutung ist mehr in der Beförderung der Abkühlung als in der Verdunstung zu suchen, wie es C. G. Bates¹⁾ auch experimentell nachgewiesen hat. Daß die Alpenpflanzen gern Windschutz aufsuchen, lehrt der Augenschein auf jeder Wanderung. Einen Anhalt dafür, wie groß ein solcher schon durch relativ kleine Objekte (Steine) geboten werden kann, geben die S. 17 geschilderten Messungen von nur 1,8 m/sec bei in Wirklichkeit 7 m/sec Geschwindigkeit besitzendem Malojawind. Der Auftrieb, den die Windströmung durch das vorgelagerte Objekt erfährt, drückt hinter ihm unter günstigen Umständen die Luftbewegung zur gänzlichen Ruhe herab.

Wie schon S. 12 und 119 gelegentlich der Erörterung der Werte der relativen und absoluten Feuchtigkeit und der Übertemperaturen gestreift wurde, ist es überraschend, wie ein Botaniker vom Range D. Szymkiewicz zu dem Schluß kommen konnte, daß das Alpenklima für die Pflanzen feucht sei²⁾; die soeben erörterten Zahlen der Austrocknungsgröße geben den eindrucksvollsten Gegenbeweis, sie sind ja gerade zur Zeit der Vegetationsperiode am größten, oft ganz exorbitant groß. Szymkiewicz hat eine Formel für die Verdunstungsgröße aufgestellt, welche sich von der Trabertschen im wesentlichen nur hinsichtlich der Temperatur unterscheidet, indem er für den Einfluß dieser $\frac{(273 + t)^2}{273^2}$ setzt, statt laut Trabert $\frac{273 + t}{273}$. Wie sich dies rechnerisch auswirkt, zeigen die Werte der Tabelle 38a, denen auch die Knocheschen *S*-Werte beigelegt sind und welche gelten für den extrem kleinen Dampfdruck 0,5, den mittleren von Davos 4,74 und den bei 10⁰ Lufttemperatur herrschenden Sättigungsdruck 9,18. Die Spalten 3, 5, 7, in welchen der 30⁰-Wert = 1000 gesetzt ist, machen den Vergleich leicht: Szymkiewicz's und Traberts Werte zeigen ganz ähnlichen Gang, die Unterschiede sind meist gering; ganz anders aber bei Knoche, welcher — wie oben betont — die Verdunstung nicht auf ausgedehnte Wasserflächen, sondern, was für einzelne Objekte und insbesondere die Pflanzen und den Menschen weit geeigneter, auf kleine Objekte bezieht. Für diese nimmt die Verdunstung, wie die Tabelle beweist, sowohl mit wachsender Temperatur als auch mit abnehmendem

¹⁾ Monthly Weather Review 47, 284, 1919.

²⁾ Acta Soc. Bot. Poloniae 1, Nr. 4, 1923.

Tabelle 38a. Vergleich der Verdunstungsgrößen nach Szymkiewicz, Trabert, Knoche.

Lufttemperatur t	Laut Szymkiewicz		Laut Trabert		Laut Knoche	
	$\frac{(273 + \vartheta)^2}{273^2} \cdot d$	30°-Wert = 1000	$\left(1 + \frac{t}{273}\right) d$	30°-Wert = 1000	SG	30°-Wert = 1000
-10°	1,36	35,6	1,42	41,2	0,5	4,4
0	4,08	106,7	4,08	118,3	3,1	27,1
+10	9,32	243,6	9,00	261,0	11,2	97,9
+20	19,48	509,3	18,14	526,0	37,3	326,0
+30	38,24	1000,0	34,48	1000,0	114,4	1000,0
I. $e = 0,5$.						
-10°	—	—	—	—	—	—
0	—	—	—	—	—	—
+10	4,77	144,4	4,60	154,5	1,18	97,4
+20	14,60	442,2	13,60	456,7	3,93	324,3
+30	33,02	1000,0	29,77	1000,0	12,12	1000,0
II. $e = 4,74$.						
-10°	—	—	—	—	—	—
0	—	—	—	—	—	—
+10	—	—	—	—	—	—
+20	9,48	344,2	8,83	355,5	2,03	324,3
+30	27,55	1000,0	24,84	1000,0	6,26	1000,0
III. $e = 9,18$.						
-10°	—	—	—	—	—	—
0	—	—	—	—	—	—
+10	—	—	—	—	—	—
+20	—	—	—	—	—	—
+30	—	—	—	—	—	—

Tabelle 38b.

Lufttemperatur t	Dampfdruck e	Relative Feuchtigkeit	Laut Szymkiewicz		Laut Trabert		Laut Knoche	
			$\frac{(273 + \vartheta)^2}{273^2} \cdot d$	0,1-mm-Wert = 1000	$\left(1 + \frac{t}{273}\right) d$	0,1-mm-Wert = 1000	SG	0,1-mm-Wert = 1000
20°	17,4	100	0,0	—	0,0	—	0,0	—
20	10,0	57	8,51	427,8	7,94	427,6	1,9	10,2
20	5,0	29	14,26	716,8	13,30	716,3	3,7	19,8
20	1,0	6	18,86	948,2	17,60	947,7	18,7	100,2
20	0,1	1	19,89	1000,0	18,57	1000,0	186,6	1000,0

Dampfdruck viel schneller zu; bei höheren Dampfdrucken werden die Unterschiede geringer. Wählt man zum Vergleich der drei Formeln gleichbleibende Temperatur (20°C) und variierenden Dampfdruck, so ergibt sich das Bild der Tabelle 38 b. Auch hier ergibt sich wieder ein viel pointierterer Gang für das kleine Meßgefäß.

Szymkiewicz's irrümlicher Schluß hat verschiedene Gründe: Er wählt zum Vergleich 24stündige Mittelwerte statt Tageswerte und unterschätzt die Werte der Strahlung; die von ihm S. 5 aufgeführten Kalorienzahlen etlicher Orte beziehen sich auf die maximalen Mittagintensitäten der Sonne, berücksichtigen nicht den im Hochgebirge gegenüber der Ebene viel langsameren Abfall der Strahlungsintensität mit sinkender Sonne. Auf die Strahlungssummen kommt es weit mehr an, als auf die maximalen Intensitäten. Hinsichtlich der Strahlungssummen geht er auch dadurch fehl, daß er zum Vergleich die wolkenreichen Gipfelstationen heranzieht und die Hochgebirgstäler als Ausnahme darstellt. Zum Vergleich der Helligkeitswerte von Davos und Kiel zieht er den Minimalwert des Hochsommers 1,8 heran, statt den der Vegetationsperiode (erste Hälfte 2,57, zweite Hälfte 2,15). Ein Vergleich der Bewölkungsziffern vernachlässigt den Unterschied der Wolkenart, welche im Hochgebirge viel leichter und daher auch weit mehr strahlungsvermehrend ist als im Flachlande, und bei Beurteilung des Reliefs der Alpen übersieht er den großen Vorzug, welchen die schrägen Bergabhänge für die Aufnahme der Sonnenstrahlung bieten infolge günstigeren Einfallswinkels, ein Vorzug, der sich ganz außerordentlich im Frühjahr und im Herbst geltend macht. Gar nicht erwähnt er die Wärmezufuhr, welche die in der Alpenflora vorherrschenden Zwerggewächse von seiten des von den Sonnenstrahlen stark — wie oben nachgewiesen — erwärmten Bodens durch Strahlung und Leitung erfahren. Entscheidend aber für den endgültigen Fehlschluß ist die Vernachlässigung der Übertemperaturen, deren Höhe die Tabellen 35 und 36 eindrucksvoll nachweisen. Auch nach seiner Formel erhöhen sich dadurch die Austrocknungsgrößen laut der beiden letzten Spalten der Tabelle 36 bis zum vierfachen Werte. Sie erhöhen sich allerdings, wie die Vergleiche mit den danebenstehenden Knocheschen Werten besagen, mit steigender Übertemperatur langsamer, weil eben Knocheschen Werte der Wirklichkeit mehr Rechnung tragen, da die Verdunstung von kleinen Flächen stattfindet.

Schon S. 114 wurde erwähnt, daß sich die Umrechnung der physikalisch-meteorologischen Größen in unmittelbar verwendbare physiologische für den Menschen und den Warmblüter einfacher gestaltet. Der große Vorteil, welchen bei diesen Umrechnungen die physiologische Klimatologie hat, liegt darin, daß der Bezugspunkt stets unverändert bleibt, während der Bezugspunkt für tote Objekte oder Pflanzen und Kaltblüter dauernd schwankt. Setzt man in den für eine „Physiologische Klimatologie“ herzustellenden Tabellen einheitlich $36,5^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}$ phys. (entsprechend der gebräuchlichen

Abkürzung abs.) und geht bei Temperatur, relativer Feuchtigkeit, Ausstrahlung einheitlich von diesem Nullpunkt aus, so werden die Tabellen viel verwendungsfähiger und eindrucksvoller. Man vergleiche nur für Davos die heute übliche Angabe für Feuchtigkeit und Ausstrahlung mit den entsprechenden „physiologischen“ Werten: 54-jähriges Jahresmittel der relativen Feuchtigkeit 77 Proz. (bei 2,6° Lufttemperatur) entsprechend physiologischer Feuchtigkeit von nur 9 Proz., Mittel der Ausstrahlung der schwarzen Fläche in Winter Nächten bei Lufttemperatur von -6°C 0,219 gegenüber physiologischer Ausstrahlung 0,543 cal. Aus den physiologischen Zahlen erkennt man erst den klimatischen Charakter des trockenen, kühlen, windstillen Hochtales mit seinem reinen, leichten Luftmantel.

Hinsichtlich Austrocknungs- und Abkühlungsgröße werden nun freilich Einwürfe gemacht dahingehend, daß die Hauttemperaturen oft wesentlich von 36,5° abweichen, und zwar in variabler Weise abweichen, und man daher die Austrocknungs- und Abkühlungsgröße auf Hauttemperatur, nicht auf Körpertemperatur abzustellen habe. Dem trägt Knoche Rechnung, indem er die Hauttemperaturen aus Vincents Formel

$$P = 30,1 + 0,2 t - v (4,12 - 0,13 t),$$

v = Windgeschwindigkeit in Meter/Sekunde,
 t = Lufttemperatur in Grad Celsius,

berechnet.

Vincents Formel bezieht sich auf die Temperatur des Daumenballens. Daß ihr auch in Beziehung allein auf diesen Körperteil eine Allgemeingültigkeit unter allen Verhältnissen zukommen wird, dürfte von vornherein kaum anzunehmen sein, da andere Faktoren (Kleidung, Fettbestand, Ernährung, dazu die Luftfeuchtigkeit) mitbestimmend sind. Der Verfasser hat in Davos bei seinen während eines Jahresturnus durchgeführten Messungen im Mittel eine ganz zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen gemessener und nach Vincents Formel berechneter Größe gefunden.

Nach dieser Formel errechnen sich folgende Hauttemperaturen aus den Tagesmittelwerten der Tabelle 1 für die fünf Beobachtungsperioden auf Muottas-Muraigl:

Juli/August	18,1° C
Oktober	19,7
Januar	8,0
März	8,9
Juni	23,8

Die beiden Winterwerte erscheinen zunächst unwahrscheinlich, denn nach Laboratoriumsexperimenten L. Fleischers¹⁾ pflegt schon bei 8,5° Fingertemperatur Krampf einzutreten, und die Daumenballentemperatur liegt beträchtlich über der Fingertemperatur; und dennoch hat der Wert einige Wahrscheinlichkeit für sich, wie sogleich gezeigt werden wird.

Aus den Hauttemperaturen errechnen sich folgende Austrocknungswerte für die Mittel der fünf Beobachtungsperioden:

Periode	Austrocknungswert	Physiologisches Sättigungsdefizit
Juli/August	0,359	39,74
Oktober	0,474	41,63
Januar	0,436	44,17
März	0,517	44,31
Juni	0,553	39,95

Die Werte fallen sämtlich in Klasse V und VI, d. h. ziemlich trocken bis trocken, der Juliwert ist gedrückt durch die infolge starken Windes herabgesetzte Hauttemperatur. Das Maximum verhält sich zum Minimum nur wie 1,5 : 1 gegenüber 2,8 : 1 für die auf Luft bezogene Austrocknungsgröße.

Es stand nun auf dem Beobachtungsprogramm, diese mehr rechnerisch-theoretischen Werte zu ergänzen durch solche, welche auf simultanen Messungen der Hauttemperatur und aller meteorologischen Elemente beruhen. Es dürfte als größte Lücke dieser Studie empfunden werden, daß dies nur im Sommer, aber nicht im Winter hat durchgeführt werden können unter Extremverhältnissen von Kälte und Wind, welche dazu führten, daß nach vielstündigem Arbeiten im Freien vor Sonnenaufgang und nach Sonnenuntergang (unbehandschuht, da die Instrumente anderenfalls nicht zu bedienen gewesen wären) nicht nur Hände und Finger, sondern auch der bekleidete Körper fast bis zur Bewegungsunfähigkeit erstarrten und in der Nähe des stark strahlenden Ofens kaum innerhalb einer halben Stunde wieder normal beweglich wurden. Hier kann aus Erfahrungen der Praxis Fleischers Experimentalresultat nicht zugestimmt werden, nach welcher die Wiedererwärmung nicht von der Dauer der voraufgegangenen Abkühlung abhängt; auch hinsichtlich der Abhärtung im Sinne einer veränderten Reaktion gegenüber Abkühlungsreizen sprechen die hiesigen Erfahrungen anders,

¹⁾ Zeitschr. f. Hyg. 107, 2 bis 27, 1927.

Tabelle 39.

Hauttemperaturen und Austrocknungsgrößen, bezogen auf Haut-, Luft- und Bluttemperatur nebst Begleitdaten über Temperatur und Feuchtigkeit (direkte Sonnenstrahlung während Messung abgeschattet).

Tag 1928	Zeit W.S.Z.	Versuchsperson	Hautstelle	Temperatur °C		Ober- temperatur	S ₀₋₄	P ₀₋₁₀	Wind m/sec	Relative Feuchtigkeit in Proz.		Sättigungs- defizit		Austrocknungsgröße S		Blut- temp. 36,50				
				Haut	Luft					Haut	Luft	Haut	Luft	Haut	Luft					
23. Juli	2 ^p 49'	5	Stirnmittle	27,5	13,6	13,9	2	10 A-Str, Cu	4,51	19	45	22,06	6,40	1,10	0,22	2,85				
			Schläfe, links	30,7	17,1	17,1														
			Schläfe, rechts	—	—	—														
			Damenballen	24,7	11,1	11,1														
			Mittelfinger, Mittelglied	21,9	8,3	8,3														
			Mittelfinger, Kuppe	20,6	7,0	7,0														
			Stirnmittle	25,9	12,2	13,7				2	7 A-Str, Cu, Cu-Ni	4,30	21	49	19,64		5,42	0,91	0,18	2,79
			Schläfe, links	27,1	14,9	14,9														
			Schläfe, rechts ¹⁾	24,7	12,5	12,5														
			Damenballen	—	—	—														
Mittelfinger, Mittelglied	20,0	7,8	7,8	2	7 A-Str, Cu, Cu-Ni	4,30	30	49	12,21	5,42	0,46	0,18	2,79							
Mittelfinger, Kuppe	18,4	6,2	6,2																	
Stirnmittle	24,5	12,2	12,3																	
5 14	5 14	5	Schläfe, links	26,1	13,9	13,9	2	7 A-Str, Cu, Cu-Ni	4,30	21	49	19,94	5,42	0,92	0,18	2,79				
			Schläfe, rechts ¹⁾	25,6	13,4	13,4														
			Damenballen	23,5	11,3	11,3														
			Mittelfinger, Mittelglied	20,6	8,4	8,4														
			Mittelfinger, Kuppe	20,0	7,8	7,8														
			Stirnmittle	24,4	12,2	12,2				2	7 A-Str, Cu, Cu-Ni	4,30	23	49	17,52		5,42	0,76	0,18	2,79
			Schläfe, links	26,8	14,6	14,6														
			Schläfe, rechts ¹⁾	24,7	12,5	12,5														
			Damenballen ²⁾	19,9	7,7	7,7														
			Mittelfinger, Mittelglied ²⁾	17,0	4,8	4,8				2	7 A-Str, Cu, Cu-Ni	4,30	36	49	9,25		5,42	0,45	0,18	2,79
Mittelfinger, Kuppe ²⁾	16,4	4,2	4,2	37	8,71	0,30														

24. Juli	5 ^a 27'	25,8	6,4	19,4	3—4 Ci-Str	1,79	23	83	18,92	1,42	0,68	0,05	1,60
		Stirnmittle		—			—		—	—	—		
		Schläfe		15,9			29		14,25	0,34	—		
		Backe		—			—		—	—	—		
		Damenballen		—			—		—	—	—		
		Mittelfinger, Mittelglied		8,5			46		6,88	0,14	—		
		Mittelfinger, Kuppe		—			—		—	—	—		
8 15	Ⓓ	25,2	9,0	16,2	3	1,81	23	65	18,25	3,00	0,49	0,07	1,66
		Stirnmittle		17,4			22		20,00	0,56	—		
		Schläfe		15,4			25		17,14	0,45	—		
		Backe		16,7			23		18,97	0,52	—		
		Damenballen		8,0			39		8,87	0,19	—		
		Mittelfinger, Mittelglied		7,0			41		7,98	0,17	—		
		Mittelfinger, Kuppe		—			—		—	—	—		
8 41	Ⓔ	25,8	9,5	16,3	3—4	1,81	23	65	18,92	3,11	0,51	0,08	1,61
		Stirnmittle		17,1			22		20,12	0,56	—		
		Schläfe		16,3			23		18,92	0,51	—		
		Backe		14,3			26		16,14	0,41	—		
		Damenballen		12,7			29		14,13	0,34	—		
		Mittelfinger, Mittelglied		10,8			33		11,96	0,27	—		
		Mittelfinger, Kuppe		—			—		—	—	—		
8 44	Ⓓ	27,5	9,5	18,0	3—4	1,81	21	65	21,52	3,11	0,62	0,08	1,61
		Stirnmittle		19,1			20		23,33	0,70	—		
		Schläfe		17,8			21		21,21	0,61	—		
		Backe		—			—		—	—	—		
		Damenballen		16,7			23		19,51	0,54	—		
		Mittelfinger, Mittelglied		15,3			25		17,50	0,46	—		
		Mittelfinger, Kuppe		—			—		—	—	—		
10 41	Ⓓ	30,1	12,0	18,1	3	3,15	16	47	26,81	5,55	1,28	0,16	2,50
		Stirnmittle		18,7			15		27,92	1,36	—		
		Schläfe		16,9			17		24,68	1,12	—		
		Backe		—			—		—	—	—		
		Damenballen		14,8			19		21,27	0,89	—		
		Mittelfinger, Mittelglied		12,9			21		18,49	0,72	—		
		Mittelfinger, Kuppe		—			—		—	—	—		

1) Die rechte Körperseite war dem Winde ausgesetzt (während Messung geschützt).

2) Hände kurz zuvor in kaltem Wasser gewaschen.

Ⓓ: Alter 34 Jahre. Ⓔ: Alter 60 Jahre. 11: Alter etwa 40 Jahre. Alle drei Personen eher hager als fett.

denn trotz eines Alters von 63 Jahren liegen beim Verfasser die Hauttemperaturen nach längeren Expositionen im Freien meist höher als bei jungen kräftigen, aus der Ebene gekommenen Leuten. Eine Abhärtung durch längere Übung, insbesondere durch Klimareize, dürfte systematischer zahlenmäßiger Untersuchungen wert sein.

Die Tabelle 39 bringt eine 24stündige, im Juli durchgeführte Reihe. Gemessen wurde — stets bei Abschattung direkter Sonnenstrahlung während der Messung — die Temperatur von Stirnmitte, Schläfe, Daumenballen bzw. Backe, Mittelglied und Kuppe des Mittelfingers an drei verschiedenen Personen im Alter von 34, 40 und 60 Jahren. Die Tabelle enthält auch Angaben der wesentlichsten meteorologischen Elemente sowie der Übertemperaturen, relativen Feuchtigkeit, Sättigungsdefizit und Austrocknungsgröße (*S* nach Knoche), alles bezogen auf die Temperatur der verschiedenen Hautstellen und der Luft. Hinzugefügt ist noch die Austrocknungsgröße, bezogen auf die Körpertemperatur von 36,5°.

Die am Daumenballen gemessenen Werte stimmen wiederum nicht zu schlecht zu den aus Vincents Formel errechneten, nämlich

Gemessen	Berechnet
24,7	22,2
23,5	21,7
19,9	21,7
25,7	26,6
23,8	26,6

Die Abweichungen sind nicht größer als die individuellen (vergleiche \mathfrak{D} mit \mathfrak{G} 6^p 6' bis 5^p 14' und 8^s 41' bis 8^s 44') und die der Luv- und Leeseite des Windes (vergleiche Schläfentemperatur links und rechts 5^p 6' bis 5^p 20'), und für einige der Abweichungen gibt es Erklärungen: So hatte im dritten Falle \mathfrak{U} die Hände nicht lange vor der Messung im kalten Brunnenwasser gewaschen (daher erklären sich die außergewöhnlich niedrigen Fingertemperaturen) und \mathfrak{G}_s Temperaturen sind am Morgen des 24. Juli gedrückt (wie die Vergleiche mit \mathfrak{D} am 23. und 24. Juli beweisen) infolge eines in der Nacht eingetretenen vorübergehenden Unwohlseins. In Davos¹⁾ sind bei fast Windstille und nur 0° Lufttemperatur Temperaturen der Mittelfingerkuppe von 12,3 gemessen. Nach allem erscheint der für starke Kälte bei lebhaftem Wind errechnete

¹⁾ Strahlentherapie 20, 415, 1925.

Vincent'sche Wert von $8,0^{\circ}$ nicht ganz unmöglich. G. Benedict¹⁾ hat an einer, freilich unbedeckten, aber ans Modellstehen gewöhnten Frauensperson im Zimmer bei $14,6^{\circ}$ C Lufttemperatur an einigen Körperstellen Temperaturen von nur 18° gemessen. Es fehlt noch an Vergleichszahlen, welche unter variierenden und extremen Verhältnissen der Natur gewonnen worden sind.

In der Tabelle 39 interessieren neben den sehr bedeutenden und variierenden Temperaturdifferenzen der verschiedenen Stellen der Oberhaut die Austrocknungswerte (*S*) in bezug auf die Hauttemperaturen. Sie erreichen schon unter Sommerverhältnissen (wie vielmehr unter Winterverhältnissen!) am frühen Morgen maximal den 13fachen, des Mittags maximal den 7fachen Wert der auf Lufttemperaturen bezüglichen; der Maximalwert von 1,55 liegt nicht fern von dem absoluten Maximum der Tabelle 36 für schwarze, im Hochsommer des Mittags in der Sonne bei vollkommener Windstille gemessene Humuserde. Sie erbringen ferner das wohl noch zu wenig beachtete Resultat, daß selbst unter Sommerverhältnissen die Austrocknungswerte an den unbedeckten Stellen zu ein und derselben Zeit im Verhältnis von 1 : 5 variieren können (in der Morgenstunde des 24. Juli) und am Tage meist im Verhältnis von 1 : 2 variieren und an der Kopfhaut am größten sind.

Abkühlungsgröße. Das gleiche wie für die Austrocknungsgröße gilt für die Abkühlungsgröße: Auch sie ist im weitesten Maße abhängig von der Oberflächentemperatur, sie aber läßt sich nicht in so sicherer Weise auf beliebige Temperaturen umrechnen, wie es bei der Austrocknungsgröße geschah, weil sie eine komplexere Größe darstellt, welche nicht nur von Temperatur, Feuchtigkeit und Wind, sondern wesentlich auch von der eingehenden und ausgehenden Strahlung der Umgebung, selbst im Schatten, abhängt. Um einen ersten Überblick zu gewinnen, ist die Umrechnung unter der vereinfachten Annahme, daß die Umgebung Lufttemperatur besitzt, durchgeführt — eine Annahme, welche einige Berechtigung hat dadurch, daß stets im Schatten gemessen wurde.

Die Tabelle 40 enthält für dieselben Termine, für welche in Tabelle 39 die Austrocknungsgrößen mit allen Begleitdaten angegeben sind, die zugehörigen Abkühlungsgrößen, gemessen mit Hills trockenem Kata-Thermometer²⁾, dessen Werte sich auf die Körper-

¹⁾ Proc. Nat. Acad. of Sciences 5, 218 bis 222, 1919.

²⁾ Leonard Hill, The science of ventilation and open air treatment, Part I. H. M. Stationary Office. London W. C. 2, Imperial House, Kingsway.

Tabelle 40.
Hauttemperaturen und Abkühlungsgröße, bezogen auf Blut- und Hauttemperatur.

Tag 1923	Zeit W.S.Z.	Versuchs- person	Hautstelle	Temperatur °C		θ_1 1)	θ_2 2)	Abkühlungsgröße		Meteorologische Daten s. Tabelle 39
				Haut	Luft			36,50	Haut- temperatur	
23. Juli	2 ^h 49'	G	Stirnmitte	27,5	13,6	22,9	13,9	29,4	17,8	
			Schläfe, links	30,7		17,1	22,0			
			Schläfe, rechts	—		—	—			
			Daumenballen	24,7		11,1	14,3			
			Mittelfinger, Mittelglied	21,9		8,3	10,7			
			Mittelfinger, Kuppe	20,6		7,0	9,0			
5 6	D	Stirnmitte	25,9	12,2	24,3	13,7	27,9	15,7		
		Schläfe, links	27,1		14,9	17,1				
		Schläfe, rechts ³⁾	24,7		12,5	14,4				
		Daumenballen	—		—	—				
		Mittelfinger, Mittelglied	20,0		7,8	9,0				
		Mittelfinger, Kuppe	18,4		6,2	7,1				
5 14	G	Stirnmitte	24,5	12,2	24,3	12,3	27,9	14,1		
		Schläfe, links	26,1		13,9	16,0				
		Schläfe, rechts ³⁾	25,6		13,4	15,4				
		Daumenballen	23,5		11,3	13,0				
		Mittelfinger, Mittelglied	20,6		8,4	9,6				
		Mittelfinger, Kuppe	20,0		7,8	9,0				
5 20	U	Stirnmitte	24,4	12,2	24,3	12,2	27,9	14,0		
		Schläfe, links	26,8		14,6	16,8				
		Schläfe, rechts ³⁾	24,7		12,5	14,4				
		Daumenballen ⁴⁾	19,9		7,7	8,8				
		Mittelfinger, Mittelglied ⁴⁾	17,0		4,8	5,5				
		Mittelfinger, Kuppe ⁴⁾	16,4		4,2	4,8				

24. Juli	5 ^a 27'	☉	Stirnmittle	25,8	6,4	30,1	19,4	24,1	15,5
			Schläfe	—			15,9	—	12,7
			Backe	22,3			—		—
			Daumenballen	—			—		—
			Mittelfinger, Mittelglied	—			—		—
			Mittelfinger, Kuppe	14,9			8,5		6,8
	8 15	☉	Stirnmittle	25,2	9,0	27,5	16,2	25,7	15,1
			Schläfe	26,4			17,4		16,3
			Backe	24,4			15,4		14,4
			Daumenballen	25,7			16,7		15,6
			Mittelfinger, Mittelglied	17,0			8,0		7,5
			Mittelfinger, Kuppe	16,0			7,0		6,5
	8 41	☉	Stirnmittle	25,8	9,5	27,0	16,3	25,7	15,5
			Schläfe	26,6			17,1		16,3
			Backe	25,8			16,3		15,5
			Daumenballen	23,8			14,3		13,6
			Mittelfinger, Mittelglied	22,2			12,7		12,1
			Mittelfinger, Kuppe	20,3			10,8		10,3
	8 44	☉	Stirnmittle	27,5	9,5	27,0	18,0	25,7	17,1
			Schläfe	28,6			19,1		18,2
			Backe	27,3			17,8		16,9
			Daumenballen	—			—		—
			Mittelfinger, Mittelglied	26,2			16,7		15,9
			Mittelfinger, Kuppe	24,8			15,3		14,6
	10 41	☉	Stirnmittle	30,1	12,0	24,5	18,1	26,8	19,8
			Schläfe	30,7			18,7		20,5
			Backe	28,9			16,9		18,5
			Daumenballen	—			—		—
			Mittelfinger, Mittelglied	26,8			14,8		16,2
			Mittelfinger, Kuppe	24,9			12,9		14,1

1) 36,5° — Lufttemperatur.

2) Hauttemperatur — Lufttemperatur.

3) Die rechte Körperseite war dem Winde ausgesetzt (während Messung geschützt).

4) Hände kurz zuvor in kaltem Wasser gewaschen.

☉: Alter 34 Jahre. ☽: Alter 60 Jahre. ☿: Alter etwa 40 Jahre. Alle drei Personen eher lager als fett.

temperatur des Menschen von $36,5^{\circ}$ beziehen, und die aus diesen Werten nach Hills Näherungsformel

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\theta_1}{\theta_2},$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \text{Abkühlungsgröße bei Temperatur } \theta_1, \\ A_2 &= \text{„ „ „ „ } \theta_2, \\ \theta_1 &= 36,5^{\circ} - \text{Lufttemperatur,} \\ \theta_2 &= \text{Oberhauttemperatur} - \text{Lufttemperatur,} \end{aligned}$$

errechneten, auf die gemessenen Oberhauttemperaturen bezüglich.

Auch die Abkühlungsgrößen unterscheiden sich hiernach bei gleichbleibenden äußeren Verhältnissen für die verschiedenen Stellen der Oberhaut sehr beträchtlich, wenn auch nicht so sehr wie die Austrocknungsgrößen; sie variieren zu ein und derselben Zeit maximal im Verhältnis von 1:2,5 gegenüber maximal 1:5 für die Austrocknungsgrößen. Die Variationen sind bedingt durch die an den verschiedenen Hautstellen sehr verschiedenen Temperaturen und sie sind zweifellos im Winter noch wesentlich größer als im Sommer. Die größten Abkühlungswerte besitzt wiederum die Kopfoberhaut, insbesondere die Schläfengegend.

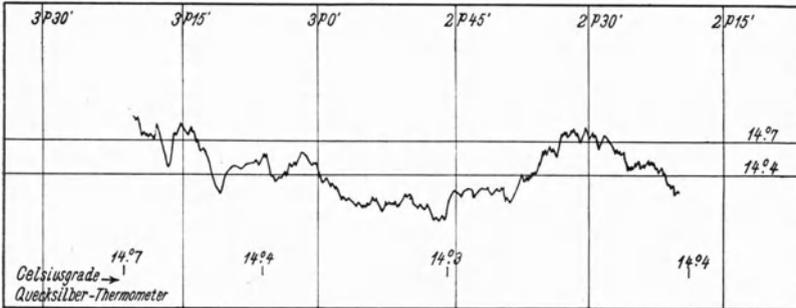
Es wird vielleicht auffallen, daß die kleinste Abkühlungsgröße in der Frühmorgenstunde, die größte um die Mittagszeit gemessen wurde. Das ist eine häufige Erscheinung, sie erklärt sich durch die des Nachts meist geringere Windgeschwindigkeit und dadurch, daß die Messungen auch am Tage stets im Schatten vorgenommen worden sind.

Solche gleichzeitig auf verschiedene Körperteile wirkenden, sehr verschiedenartigen Austrocknungs- und Abkühlungsgrößen verlangen dauernd nach Ausgleich und üben einen gewaltigen Reiz aus auf die Blutzirkulation und den ganzen Organismus. Die sehr verschiedenen Hauttemperaturen sind es, auf welche diese Differenzen zurückzuführen sind, es gilt also vor allem Hauttemperaturen zu messen.

Und man muß sich auch loslösen von der Vorstellung, daß die hier zusammengetragenen Zahlen stationäre Größen sind, sie stellen doch stets nur Mittelwerte dar aus dauernd gewaltig schnellen Schwankungen. An jedem Punkte der Oberhaut wechselt dauernd und in verschiedener Weise Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung und in deren Folge Abkühlungsgröße und Austrocknungsgröße. Dauernd wird nach Ausgleich verlangt — hierin liegt der Reiz der Luft im Freien gegenüber der des geschlossenen

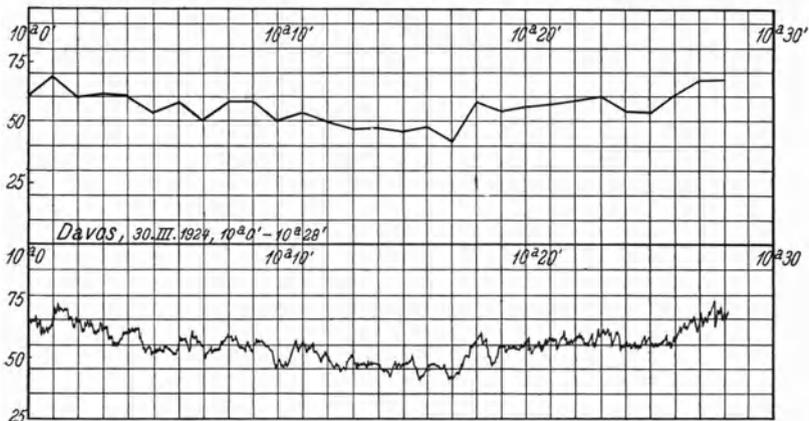
Zimmers oder gar des Bettes, in welchem allein die Oberhauttemperaturen überall annähernd gleichmäßig gemessen werden. Durch folgende zwei Kurven hat der Verfasser dies in seinen Vorträgen in den Davoser Ärztekursen seit 1924 zu belegen versucht.

Fig. 9.



Thermoelektrisch gemessene Schattentemperaturen.
13. Juli 1925. $S_3-4 B_5 Cu$ Nord leicht.

Fig. 10.



Potentialgefälle; mechanisch registriert (1 Elektrode),
photographisch registriert (2 Elektroden). 1 Teilstrich = 2 Volt/m.

Fig. 9 stellt den Temperaturwechsel in freier Schattenluft dar. Bei nach den Angaben eines empfindlichen Quecksilberthermometers fast stets unveränderter Lufttemperatur schwankt dieselbe in Wirklichkeit dauernd und nicht unwesentlich, maximal um $0,9^0$ bei einer mittleren Lufttemperatur von $14,4^0$, und in Wahrheit natürlich noch viel schneller, als es das immer noch ein recht träges Meßinstrument darstellende Thermoelement meldet.

Fig. 10 bringt die Werte des luftelektrischen Potentialgefälles (Spannungsdifferenz zwischen Luft und Erde in Voltmetern), in dem oberen Kurventeil registriert in gewohnter Weise mechanisch in Intervallen von einer Minute, in dem unteren Teil photographisch in fortlaufendem Zuge den Ausschlag eines empfindlichen Galvanometers anzeigend.

Das Potentialgefälle wird beeinflußt von allen Veränderungen, welche in der Luft vor sich gehen, insbesondere der Feuchtigkeit und des Staubgehaltes der Luft, und nicht nur am Meßorte selbst, sondern auch in seiner weiteren Umgebung. Die Größe ist daher beweglicher als die der Temperatur, und diese Beweglichkeit wird vom Meßinstrument auch noch nicht entfernt in vollem Maße angezeigt.

Im Zimmer dagegen gibt es kein Potentialgefälle und keine thermischen Schwankungen, die Zimmerluft ist tot, die freie Luft lebendig. Da im Schatten gemessen wurde, kommt durch die Anzeigen des Thermoelements der Reiz der Strahlung der Umgebung nicht zum Ausdruck, welcher nach den Zahlen der Tabellen 35 und 36 ein großer und mit jedem kleinsten Wechsel des Standortes verschiedener sein muß. Infolge der temperaturnahen Wirkung des Windes, welche S. 127 festgestellt werden konnte, werden diese Reizfaktoren der verschiedenen Strahlung der Umgebung hauptsächlich im Windschutz, am stärksten im windgeschützten Hochgebirgstal, zum Ausdruck kommen.

Ob man nun die adäquaten Reize für die Temperaturnerven, welche die Vasomotoren doch wohl sicherlich zumeist steuern, in der Temperaturänderung (nach Weber) oder in der physikalischen Temperatur (nach Hering) suchen mag, das Ausgleichsbestreben innerhalb des Organismus bleibt bestehen und ist um so größer, je größer die Temperaturdifferenzen an der die Verbindung zwischen Außenwelt und Körperinnern herstellenden Oberhaut sich zeigen. Aufgabe der Physiologie ist es, nicht nur im Zimmerexperiment, sondern im Freien unter den verschiedensten Verhältnissen der Witterung in verschiedenen Klimaten zu untersuchen, ob sich eine Oberhautstelle findet, welche unter allen Verhältnissen und für alle Individuen eine genügend stationäre Beziehung zur tatsächlich herrschenden, physikalisch bestimmten Abkühlungsgröße und Austrocknungsgröße aufweist. Kaum wahrscheinlich ist das allein schon aus physikalischen Gründen, denn Austrocknungs- und Abkühlungsgröße hängen wesentlich ab von den Dimensionen und der Form der Oberfläche; dazu sind Kopf, Rumpf und Extremitäten und alle ihre Einzelteile unter wechselnden Verhältnissen in verschiedener Weise den drei Einzelkomponenten (Strahlung, Leitung, Konvektion) ausgesetzt, und diese wirken mit durchaus verschiedener Ge-

schwindigkeit — die Strahlung fast momentan und viel schneller als die Leitung, wie z. B. der Wechsel von Luft- und Schneetemperaturen S. 123 bewies. Flüggés Schule bevorzugt die (zum Transpirieren leicht geneigte) Stirnmitte, die englische Schule die Backenhaut (welche sich in Davos bewährt hat), Vincent den Daumenballen, Fleischer die Finger, welche ja zweifellos am stärksten und schnellsten reagieren. Alle vermeiden natürlich über zum Fettansatz geneigten Körperstellen gelegene Hautstellen wegen des sehr ungleichen Wärmeleitvermögens des Fettes und der Muskeln. Aus Reihen wie den hier in Tabelle 39 und l. c. in Davos zahlreich zusammengetragenen wird sich allmählich ergeben, ob vielleicht gerade die Differenz oder das Verhältnis der Temperaturen verschiedener Oberhautteile einen brauchbaren Indikator abgeben kann, was nicht ganz ausgeschlossen erscheint.

Eines ist sicher: Es handelt sich um zwei getrennt zu behandelnde Aufgaben, eine physikalisch-meteorologische, welche in physikalisch exakt definiertem Maße die Abkühlungs- und Austrocknungsgröße liefert, und eine physiologische, welche zunächst die Reaktion der Oberhaut auf diese beiden Größen untersucht; eine Verquickung beider Aufgaben etwa in dem Sinne, daß man die Abkühlung einer der Oberhaut ähnlichen Membran zu registrieren versucht, ist wohl grundsätzlich abzulehnen, denn niemals kann eine solche die Oberhaut mit ihren feinst ausgebildeten Nerven-, Blut- und Lymphbahnen und Drüsen repräsentieren. Die Haut bietet nach A. Jünger¹⁾ durch ihre feine Differenzierung einen guten Ersatz für das Haarkleid des Tieres.

Zur physikalischen Definition gehört zunächst die Wahl einer fixen Ausgangstemperatur und als solche ergibt sich wohl am sichersten die Körpertemperatur des Menschen, für die man nach den oben konstatierten großen Schwankungen der Temperatur verschiedener Körperteile wohl richtiger „Bluttemperatur“ des Menschen sagt, wie es in Tabelle 39 geschehen ist. Leonard Hill hat sie l. c. richtig gewählt, zweckmäßig würde sie, wie schon S. 129 erwähnt, mit 0° phys. bezeichnet. Bei dieser Definition wird der menschliche Körper zunächst als eine homogene Einheit aufgefaßt, wie der Meßkörper, den der Physiker benutzt. Die Wärmezufuhr, welche er diesem zur Aufrechterhaltung seiner Temperatur gegenüber den gleichzeitigen Einflüssen aller meteorologischen Elemente bietet, entspricht nach dieser ersten rohen Auffassung derjenigen,

¹⁾ Kleidung und Umwelt in Afrika, S. 10. Vogtländer 1926.

welche der menschliche Körper zu gleichem Zwecke aus eigener Produktion zu liefern hat.

Nun ist es klar, daß diese Abkühlungsreize von den wunderbar mannigfachen und gewaltigen physiologischen Kräften in recht verschiedener Weise beantwortet werden, in erster Linie durch die sogenannte „physikalische Wärmeregulation“. Der Körper verändert die Wärmeabgabe seiner Oberfläche, indem er auf nervösem Wege die Durchblutung der Haut und damit auch die Hauttemperatur entsprechend dem jeweiligen Bedürfnis regelt (der beste Wärmemantel ist das eigene Blut, ein gutes Funktionieren der Vasomotoren). Die Hauttemperatur ist abhängig von der Wärmeproduktion des Körpers einerseits und von der physikalischen Abkühlungsgröße andererseits. Mißt man also, wie hier geschehen, Hauttemperatur und Abkühlungsgröße gleichzeitig, so ist die Wärmeproduktion gemessen und damit der Anspruch, welchen die umgebenden meteorologischen Faktoren, das Klima, stellen. In Davos ist diese Aufgabe schon durch den Jahresturnus 1921 zu lösen versucht¹⁾, indem an drei den Werktag einrahmenden Terminen (im Sommer 7^a, 1^p, 7^p, im Winter 8^a, 1^p, 6^p) die Abkühlungsgröße mittels Hills Kata-Thermometers und gleichzeitig die Hauttemperatur (der Backe) nebst den begleitenden meteorologischen Größen gemessen worden ist. Es ergab sich eine recht einfache Beziehung beider: Man erhält die Abkühlung der Hautoberfläche der Backe (Differenz zwischen 36,5⁰ und Backentemperatur) in Celsiusgraden, wenn man die vom Kata-Thermometer angezeigten Werte halbiert. Diese Beziehungen werden sich vielleicht bei verschiedenen Individuen, jedenfalls aber in verschiedenen Klimaten — beispielsweise im feuchten, relativ warmen, windbewegten Seeklima einerseits und andererseits im trockenen, kühlen, windstillen Hochgebirgsklima — bei gleichen Abkühlungsgrößen prinzipiell verschieden zeigen [man dürfte wohl bei gleichen physikalischen Abkühlungsgrößen im Seeklima stets niedrigere (oder höhere) Hauttemperaturen messen als im Hochgebirge]²⁾, und nun erst beginnt nach des Verfassers Meinung

¹⁾ Zeitschr. f. physik. u. diät. Therap. 26, 401ff., 1922.

²⁾ Bei kleineren (oder größeren) Temperaturdifferenzen der verschiedenen Hautstellen, und entsprechend im ersten Falle stets kleinere, im letzten stets größere Austrocknungsgröße und daher feuchte bzw. trockene und entsprechend mehr oder weniger auf luftelektrische Einflüsse reagierende Haut. Die Viskosität des Blutes ist an der See kleiner, im Hochgebirge größer gefunden als in der Inlandebene.

die eigentliche Aufgabe der Physiologen, nämlich aufzuklären, weshalb dem so ist und welche Art von physiologischen Kräften mobil gemacht werden, in welchem Umfange und in welchem Verhältnis zueinander, um die von außen kommenden Reize zu beantworten. Bildet auch die Hauptangriffsfläche der Reize die Oberhaut, antwortet sie auch zunächst durch Lokalreaktionen, so löst sie doch zweifellos auch Fernwirkungen aus, indem durch die äußeren Reize hauptsächlich die Parenchymzellen zur Produktion von in den Kreislauf übergehenden Stoffen angeregt werden. Qualität und Quantität dieser dürften von der verschiedenen Stärke und den verschiedenen Arten der klimatischen Reize abhängen, und dementsprechend werden in jedem Falle andere Organe vorzugsweise beansprucht. Auf diesem Wege können die spezifischen Reize der verschiedenen Klimata erschöpfend studiert werden, sie bevorzugen — das kann man wohl vorauszusagen wagen — in verschiedenen Klimaten verschiedene Organe. Begonnen sollte nach des Verfassers Meinung werden mit dem Studium der Einflüsse des größten aller Klimawechsel vom geheizten Zimmer zur Freiluft, insbesondere der winterlichen Freiluft im Hochgebirge.

Dies dürfte um so mehr einleuchten, wenn man auch die Schleimhaut als wohl zweitwichtigste Angriffsfläche der Klimaelemente mit in Betracht zieht. Sie dürfte allein schon wegen ihrer gewaltigen Ausdehnung ein ähnlich wichtiges Organ darstellen wie die Oberhaut und damit eines der wichtigsten des Körpers. Auf sie werden die auf Bluttemperatur bezogenen Werte des physiologischen Sättigungsdefizits, der Austrocknungs- und Abkühlungsgröße noch mit größerer Sicherheit unmittelbar angewandt werden können, da ihre Temperaturdifferenzen und -schwankungen auch an den frei exponierten Stellen wesentlich geringer sind als die der Oberhaut, wie allein schon die Temperatur der Ausatemungsluft beweist, welche nach Osborne 32,5 bis 33,5⁰, nach Lefèvre 35⁰ beträgt. Auch über die Temperaturen der Ausatemungsluft wären insbesondere mit Rücksicht auf die Freiliegekuren eingehendere Untersuchungen unter wechselnden Witterungs- und Klimabedingungen anzuraten. Das physiologische Sättigungsdefizit (Differenz des bei Schleimhauttemperatur möglichen und vorhandenen Wasserdampfgehaltes der Luft) sagt unmittelbar aus, wieviel Gramm Wasser jedes Kubikmeter durchgeatmete Luft dem Körper entzieht¹⁾: Dies erreicht laut letzter Spalte der Tabelle 41 ein ausgeprägtes Maximum im

¹⁾ Sammlung Vieweg, Heft 50, S. 14 und 15.

Winter, und zwar an den allerklarsten Tagen des Winters, und dies gibt wohl zwanglos die Erklärung für die Jahrzehnte alte Beobachtung, daß gerade in langen Schönwetterperioden des Hochwinters in den Bündner Hochtälern die durch gewisse spezifische Erscheinungen ausgezeichnete Bündner Angina häufig auftritt bei Gesunden und Kranken, Einheimischen und Gästen. Solche extremen Trockenverhältnisse können zur Erschöpfung der Sekretion, zur Atrophie des ganzen Nasen- und Racheninnern, der Knochen- und Schleimhaut führen und hierdurch und durch die damit parallel gehende Sprödigkeit der Schleimhaut die Disposition zum Rissigwerden und zur Aufnahme von Krankheitskeimen herbeiführen. Der Sättigungsgrad der Ausatemungsluft unter solchen Extrembedingungen wäre der Untersuchung wert.

Für die für die Außenhaut wichtigere physiologische Austrocknungsgröße können, solange kein passendes Meßinstrument vorliegt¹⁾, Knoches Formeln, bezogen auf Bluttemperatur ($36,5^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{phys.}$), dienen; sie sind daher auch in der letzten Spalte der Tabelle 39 aufgeführt. Sie sollten insbesondere unter den extremen Austrocknungsverhältnissen des Hochgebirges das Verhältnis von physikalischer und physiologischer Austrocknung festzulegen und die viel umstrittene Frage der perspiratio insensibilis in einfacher Weise mittels der Wage zu entscheiden erlauben; genügt doch nach G. Benedikt²⁾ schon eine gute Dezimalwage für 9- bis 10-Stunden-Messungen (Genauigkeit 5 Proz.), während die von ihm konstruierte extra genaue Wage 15-Minuten-Messungen gestattet, da sie 100 kg auf 0,1 mg sicher anzeigt. Der Bearbeitung wert erscheinen dem Verfasser in diesem Zusammenhang auch folgende nur kurz skizzierte, stets in Beziehung zur physiologischen Abkühlungsgröße, physiologischen Austrocknungsgröße und zum physiologischen Sättigungsdefizit zu setzende Themata:

Verfolgung des Verhältnisses der Wasserdampfabgabe durch Lunge und Haut im Jahreslaufe: a) im Freien, b) im Zimmer.

Bestimmung der Urinmenge und des spezifischen Gewichts des Urins.

Bestimmung der Sputummenge und des spezifischen Gewichts des Sputums.

Bestimmung des Beginnes des Schweißausbruches, getrennt nach Stirn, Rumpf, Extremitäten. Dazu Bestimmung der Temperatur der Ausatemungsluft laut S. 143.

¹⁾ Nach Entwürfen von W. Knoche befindet sich bei Sartorius, Göttingen, ein geeignetes Instrument im Bau.

²⁾ Ann. of Intern. Med. 38, 1 bis 35, Juli 1926.

Kleidungs- und Ernährungseinflüssen kann im strengen Regime der Sanatoriumsbehandlung unschwer Rechnung getragen werden.

Sollten sich diese Hoffnungen auf Nachweis des Wasser- und Wärmeanspruches nicht nur an den Gesamtorganismus, sondern auch an die einzelnen Organe nicht erfüllen, so bleibt doch unter allen Umständen bestehen, daß die Abkühlungs- und Austrocknungsgröße für den die Klimaeinflüsse studierenden Physiologen außerordentliche Vereinfachungen darstellen, indem er mit nur zwei Größen (außer der Strahlung) statt der Vielzahl der meteorologischen Elemente zu rechnen hat und diese für seine Zwecke im unmittelbar gebrauchsfertigen Zustande erhält. Diese beiden Größen wären daher statistisch in üblicher Form nach Mittel- und Extremwerten, Tages- und Jahresgang, Häufigkeitszahl, Stunden-, Tages- und Jahressummen zu tabellieren. So bestände wohl die Möglichkeit, jeden Ort mit wenigen Zahlen zu rubrizieren in die sehr zweckmäßigen Hermann Weber-van Oordtschen Klimatypen:

1. Binnenländische Klimate
 - a) der Niederung und geringen Höhenlagen;
 - b) mit hervortretender Eigenschaft der Höhenlage, Mittelgebirge 400 bis 1000 m, Hochgebirge 1000 bis 2500 m.
2. Seeklimate
 - a) der Hochsee;
 - b) der Küsten unter gleichzeitiger Unterscheidung der unter 1a und 2b genannten in warmfeuchte, mäßig warmfeuchte, kalt-feuchte und warm-trockene Orte,

oder richtiger umgekehrt: Die Eintragung der Werte der Abkühlungs- und Austrocknungsgröße in ein auf sie bezogenes Koordinatensystem würde erst die Zweckmäßigkeit dieser empirisch gefundenen Klimatypen beweisen. Wie auf S. 153/154 nachgewiesen, bestehen heute schon Meßinstrumente, welche es ermöglichen, auch die Strahlung, soweit es reine Wärmewirkungen anlangt (vgl. S. 112/113), mit der Abkühlungsgröße zu einer Größe zu vereinigen, so daß eine Charakterisierung der Klimata allein durch zwei Größen, welche unmittelbar den Wärme- und Wasserhaushalt des Menschen bestimmen, möglich ist. Dies bedeutet doch einen nicht zu leugnenden großen Vorteil 1. hinsichtlich Vereinfachung, 2. hinsichtlich sicherer Erfassung der physiologischen Klimatologie.

Nach vielen beim Verfasser eingelaufenen Anfragen dürfte es angebracht sein, in Ergänzung der von ihm für Strahlungsmessungen unter dem Titel „Ausstattung moderner Strahlungsobservatorien“ in der Meteorol. Zeitschr. 1926, Heft 9 und 1927, Heft 3, zusammengestellten geeigneten physikalischen Untersuchungsmethoden (Lite-

Tabelle 41. Abkühlungsgröße für den trockenen und feuchten Temperatur und relativer Feuchtigkeit (direkte

Zeit	A_t			A_f		
	a	Mittag	p	a	Mittag	p
a) Mittel.						
23. Juli bis 2. August 1923	25,7 (14,3)	26,8 (15,5)	23,0 (14,4)	49,1 (33,1)	52,4 (43,9)	46,6 (34,5)
2. bis 14. Oktober 1923	34,9 (17,4)	33,0 (20,0)	32,6 (18,4)	57,3 (34,1)	59,7 (46,3)	55,8 (37,9)
20. bis 27. Januar 1924	40,6 (23,3)	33,2 (22,5)	43,6 (21,8)	55,8 (40,8)	47,0 (40,1)	55,5 (39,3)
8. bis 13. März 1924	42,3 (19,8)	33,0 (21,7)	45,7 (23,6)	61,7 (38,2)	51,7 (48,4)	63,7 (45,2)
18. bis 19. Juni 1924	22,7	33,0	24,0	37,6	62,2	43,0
b) Maxima.						
23. Juli bis 2. August 1923	39,5 (19,8)	31,8 (18,0)	35,4 (25,7)	65,8 (44,5)	63,2 (51,0)	61,6 (52,7)
2. bis 14. Oktober 1923	58,9	57,4	45,6	76,2	80,2	69,4
20. bis 27. Januar 1924	46,5 (25,3)	49,5 (29,9)	55,4 (27,8)	63,7 (43,0)	62,8 (44,5)	65,5 (40,5)
8. bis 13. März 1924	46,5 (36,3)	51,7 (34,0)	56,0 (37,7)	67,4 (55,1)	62,0 (61,3)	70,5 (60,5)
c) Minima.						
23. Juli bis 2. August 1923	13,4 (8,5)	19,7 (4,3)	13,5 (8,9)	32,2 (24,5)	41,2 (35,3)	34,6 (22,6)
2. bis 14. Oktober 1923	15,2	18,5	20,9	42,3	41,5	37,2
20. bis 27. Januar 1924	32,1 (16,6)	22,8 (14,2)	26,0 (17,2)	48,9 (29,7)	29,5 (28,5)	33,0 (27,4)
8. bis 13. März 1924	33,2 (15,5)	20,0 (15,7)	40,4 (15,8)	46,5 (30,6)	32,8 (40,8)	57,4 (29,0)

Die in Klammern stehenden Werte beziehen sich auf Davos.

ratur, Instrumentarium, Bezugsquellen) auf einige für die soeben besprochenen Zwecke geeignete physiologische Meßinstrumente aufmerksam zu machen:

Für Bestimmung der Hauttemperatur: Siemens & Halskes Fieber-Registrierapparat und Temperaturmeßeinrichtung, Preisliste 52 Ta und R 63.

Für Beobachtung der Hautkapillaren: Hautmikroskop nach O. Müller zur Beobachtung der Kapillaren, Zeiss Nr. 11586, ergänzt (statt der Eismethode) durch Messungen der Druckdifferenzen im Wiederbeginn der Kapillarströmungen nach Drosselung durch kalte und warme Hautbäder nach Wollheim und Moral (Medizinische Klinik 1926, Nr. 52).

Für Hautturgor: Schades Elastometer (kleines Modell), Zeitschr. f. wissenschaftl. Bäderkunde 1926, S. 143 bis 150, Lieferant

Körper (A_t und A_f) nebst zugehöriger Windgeschwindigkeit (m/sec), Sonnenstrahlung während Messung abgeschattet).

$A_f : A_t$			Wind (m/sec)			Temperatur			Rel. Feuchtigkeit			Physiologisches Sättigungsdefizit		
a	Mittag	p	a	Mittag	p	a	Mittag	p	a	Mittag	p	a	Mittag	p
1,91 (2,32)	1,96 (2,83)	2,03 (2,40)	3,9	6,9	3,5	7,6	12,5	9,3	70	53	69	40,01	39,80	39,42
1,64 (1,96)	1,81 (2,31)	1,71 (2,06)	3,3	2,9	2,7	0,8	2,6	1,6	78	71	79	41,86	41,62	41,41
1,37 (1,75)	1,42 (1,78)	1,27 (1,80)	4,3	3,1	5,0	-6,4	-5,4	-7,6	51	37	49	43,99	44,34	44,19
1,46 (1,93)	1,57 (2,23)	1,39 (1,92)	5,0	4,2	5,3	-9,6	-6,2	-8,2	41	53	53	44,64	44,04	44,24
1,66	1,89	1,79	2,4	5,1	2,5	7,5	14,4	8,6	74	52	53	39,71	39,11	41,03

Firma Zwickert, Kiel; oder einfacher Schultes Hautspannungsprüfer, Zeitschr. f. d. ges. physik. Therap. 33, 90 und 91, Heft 3, 1927, Lieferant Heinr. Diel, Leipzig.

Für Schweißsekretion: Mikrobeobachtungen der Schweißsekretion der Menschenhaut unter Kontrastfärbung nach E. Jürgensen, Deutsch. Arch. f. Klin. Med. 144, Heft 4/5, 1924; 149, Heft 3/5.

Über die Abkühlungsgröße auf Muottas-Muraigl und ihren Tages- und Jahresgang unterrichtet die Tabelle 41. Die Werte von A_t (Abkühlungsgröße, gemessen am trockenen Instrument) steigern sich vom Sommer zum Winter am Morgen und Abend auf fast den doppelten Wert, während der Mittagswert ganz überraschend wenig mit der Jahreszeit schwankt. Die im Sommer des Mittags stark anschwellende Windgeschwindigkeit verursacht den Ausgleich.

Daher zeigt sich im Sommer der Tageslauf umgekehrt wie in den anderen Jahreszeiten, indem am Mittag die stärkste Abkühlung herrscht (stets im Schatten gemessen), und die Tagesamplitude ist im Sommer sehr gering, relativ groß dagegen (25 Proz.) im Winter. Alle Werte liegen außerordentlich hoch, wie der Vergleich mit den in Klammern beigefügten Davoser Werten zeigt, welche sie um rund 50 Proz. am Mittag, 100 Proz. am Morgen und Abend überschreiten und von denen sie sich unterscheiden durch weit geringere Ausgeglichenheit des Tageslaufes gerade in der kältesten Jahreszeit. Maximalwerte sind kaum sicher zu erfassen, da dann der Alkohol-faden gar zu schnell die Skala durchläuft. Der absolute Maximalwert ist an einem Oktobermorgen bei Windstärke 8,0 mit 58,9 gemessen, das Januarmaximum erreichte nur 55,4, das Märzmaximum 56,0. Auf Jungfrauoch ist im September 1923 der Maximalwert 90,5 notiert worden. Das absolute Davoser Maximum beträgt innerhalb Jahresfrist nur 46,7 und das absolute Minimum 4,3 gegenüber 13,4 auf Muottas - Muraigl. Die Minimalwerte von Muottas - Muraigl ähneln im Winter den Maximalwerten von Davos.

Es folgen noch die Tagesmittelwerte (ein Drittel von morgens, mittags, abends) für die vier Jahreszeiten, verglichen mit denen von Davos (1560 m) und Agra (565 m):

	Juli/August	Oktober	Januar	März	Mittel
Muottas-Muraigl	25,2	33,5	39,1	40,3	34,5
Davos	14,7	18,6	22,5	21,7	19,4
Agra	9,6	16,3	21,6	16,6	16,0

Bei im Mittel um 80 Proz. gesteigerten Werten weist hiernach Muottas-Muraigl eine ähnlich kleine Jahresamplitude auf wie Davos, während das südlicher und 1000 m niedriger gelegene Agra bei im Mittel nur 18 Proz. geringerer Abkühlungsgröße eine reichlich um die Hälfte gesteigerte Jahresamplitude (2,4 gegenüber 1,5) besitzt, und zwar in dem Sinne, daß gerade der warmen Jahreszeit relativ kleine, der kalten relativ große Werte zukommen; die Winterwerte stehen denen von Davos kaum nach. Schon im Jahre 1922¹⁾ wurde durch die Abkühlungsgröße nachgewiesen, daß das windgeschützte Hochtal geringeren Wärmeanspruch stellt als wohl alle Orte nördlich der Alpen und kaum größeren als die Riviera der Schweizer und oberitalienischen Seen und daß dieser Wärmeanspruch im Jahres- und Tageslaufe im Hochtal am wenigsten schwankt.

¹⁾ Zeitschr. f. physik. u. diät. Therap. 26, 401ff., 1922.

Nun wirkt, wie am Beispiel des sommerlichen Mittagswertes von Muottas-Muraigl erörtert und auch sonst vielfach bewiesen ist, auf die Abkühlungsgröße der Wind sehr stark ein, und vor ihm vermag man sich in den meisten Fällen mehr oder weniger gut zu schützen. So wurde beispielsweise am 22. Januar 1924 1^h 3' auf der vor dem Nordwind der Stärke 3,8 geschützten Terrasse der Station der Wert 10,8 gemessen gegenüber gleichzeitig 22,8 bei freier Exposition des Kata-Thermometers auch gegen den Wind, und ähnliche Zahlenverhältnisse sind in Davos durch ausgedehnte gleichzeitige Registrierungen auf der Plattform des Observatoriums und auf dem geschützten Balkon (Liegehalle) des Hauses festgestellt. Man mißt auf diesem im Winter bei 0° Lufttemperatur im Freien im Mittel die Abkühlungsgröße 8,3, natürlich im Schatten, nicht in der Sonne, also einen nicht sehr viel größeren Wert als im Zimmer und nur etwa zwei Fünftel so groß wie bei ganz freier Exposition. Im Sommer um die Mittagszeit bei warmer Luft und starker Strahlung kann das zu ungesunden Verhältnissen führen; es ist alsdann gemessen 1,9, was etwa den Verhältnissen der Wüste entspricht. An solchen Tagen gehört der Patient nicht auf die Liegehalle, sondern auf die Wiese in den Schatten des Hauses, oder in den Wald.

In die Tabelle 41 haben Eingang gefunden auch die vom feuchten Kata-Thermometer angezeigten Werte, denn diese sollten wohl eine enge Beziehung haben zu der Abkühlungsgröße, welche auf die feuchte Schleimhaut wirkt. Hier zeigen sich weit kleinere Schwankungen im Jahres- und Tageslaufe als für die trockene Abkühlungsgröße, und der Jahresgang der Mittagswerte kehrt sich sogar um, im außerordentlich trockenen Januar zeigt sich der Wert am kleinsten, trotz Windstärke 3,1. Dies macht stutzig, desgleichen die durchweg gegenüber Davos niedriger liegenden Quotientenwerte $\frac{A_{\text{feucht}}}{A_{\text{trocken}}}$, trotz der in dieser Studie wiederholt eindrucksvoll nachgewiesenen Steigerung der Trockenheit. Dies dürfte auf einen Mangel des Instrumentes zurückzuführen sein; der Temperatenausgleich vom feuchten Mousselin über das Glas zum Alkohol kann sich nicht vollständig vollziehen innerhalb der kurzen Zeit, in welcher bei diesen großen Abkühlungswerten der Faden die Skala durchläuft (im Mittel etwa 9 Sekunden).

Ohne den Wert des handlichen und für erste orientierende Zwecke zweifellos genügenden und seiner Einfachheit wegen sehr verbreitungsfähigen Kata-Thermometers herabsetzen zu wollen, ist hier doch wohl auf folgende Mängel hinzuweisen, wofern man eine

allgemeine Einführung der Bestimmung der Abkühlungsgröße als einer Fundamentalgröße der physiologischen Klimatologie anstrebt:

1. Die Inhomogenität des Meßkörpers, verschiedenes Wärmeleitvermögen von Glas und Alkohol, Konvektionsströme innerhalb des letzteren — daher verzögerter und unter verschiedenen Verhältnissen verschieden verzögerter Wärmeaustausch.
2. Die Oberflächenform als Zylinder: Nur bei Kugelform besitzen alle Oberflächenpunkte gleiche Distanz vom Massenzentrum und damit gleichwertige Orientierung zu den allseitig wirkenden Faktoren des Wärmeverlustes.
3. Der Charakter als Sekundär-, nicht Absolut-Instrument, und daher die Notwendigkeit der Eichung und Bestimmung des Eichfaktors unter Laboratoriumsverhältnissen, welche selbstverständlich nach aller Möglichkeit sorgsam als stationär definiert werden, aber den stets wechselnden und dauerndes schnelles Folgen des Instrumentes verlangenden Verhältnissen in der Natur nicht gleichartig sind.
4. Die nicht stets gleiche Wärmezufuhr: Je nach dem Grade der Überwärmung fällt der Faden unter gleichbleibenden äußeren Verhältnissen langsamer oder schneller infolge des verzögerten Wärmenachschubes vom überwärmten Glase zu und durch die Alkoholflüssigkeit.
5. Die verzögerte und ungleiche Reaktion auf Strahlung: Die Anwendung des Instrumentes setzt gleiche Temperatur der Luft und der strahlenden Umgebung voraus, und Messungen nur im Schatten, nicht in der Sonne, sind daher vorgeschrieben. Aber auch im Schatten bestehen oft nicht unbedeutende Temperaturdifferenzen verschiedener Objekte, und Schatten auch vor einflußreicher Reflexstrahlung ist bei Sonnenwetter kaum zu erreichen. Wesentlich größere Bedenken kommen aber bei Verwendung des Instrumentes in geschlossenen Räumen mit stark abweichender Wandstrahlung (etwa in kaltwandigen Kellern oder in warmes Gestein führenden Bergwerken) oder mit stark strahlenden Einzelobjekten (etwa Feuerungskesseln). Es ist unbekannt, wie sich das Instrument gegenüber langweiliger Wärmestrahlung verhält in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Glases für diese Strahlungsgattungen einerseits und der Geschwindigkeit des Wärmeüberganges vom durch Strahlenabsorption erwärmten Glase zum und durch den Alkohol andererseits; es variiert dies natürlich mit der Qualität des Thermometerglases, und ein Gleichgewichtszustand wird innerhalb der stets relativ kurzen Zeit der Messung schwerlich erreicht werden, wie er auch bei Exposition gegen Sonnenstrahlen nicht erreicht werden kann, was dazu zwingt, die Abkühlungsgröße mittels dieses Instrumentes ausschließlich im Schatten zu messen und die zugeführte (und ausgeführte) Strahlungsenergie für sich zu bestimmen und rechnerisch zu berücksichtigen.

6. Die verzögerte und ungleiche Reaktion auf Wärme- (Kälte-) Leitung vom angefeuchteten Mousselinüberzug — ein Mangel, welcher in den Zahlen der Tabelle 41, Spalte 7 bis 9, deutlich zum Ausdruck kommt.
7. Die von Leonard Hill aufgestellten Formeln zur Berechnung der Abkühlungsgröße aus der Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit, welche nach bisherigen Erfahrungen möglichst gut zutreffen, berücksichtigen (l. c. S. 35 und 36) auch Variationen des Luftdruckes auf Grund von daselbst aufgestellten Formeln. Diese erweisen sich nach den in Davos und auf Muottas-Muraigl gemachten Erfahrungen nicht als zutreffend, sondern es gilt möglichst gut eine ganz einfache Beziehung zum Luftdruck, welche für Davos schon 1922 (Zeitschr. f. physik. u. diät. Therap., l. c. S. 439) festgelegt worden ist. Die nach der Hillschen Formel ohne Luftdruckkorrektur errechneten Werte liegen gegenüber den beobachteten prozentuell um so viel höher, als der Luftdruck niedriger ist. Die pro Zeiteinheit auf das Kata-Thermometer abkühlend wirkende Luftmasse ist entsprechend dem Barometerdruck geringer als im Meeresniveau. So ergab sich:

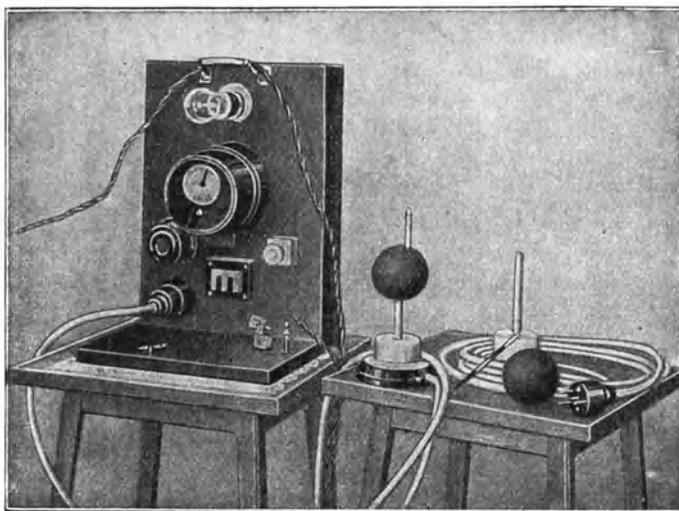
	Rechnung größer gegenüber Befund, in Pro- zenten bezogen auf Befund	Luftverdünnung gegenüber 760 mm
Davos, Jahresmittel 1921	14,0	$\frac{631}{760}$ entsprechend 18 Proz.
Muottas-Muraigl, Juli/August 1923	32,0	} $\frac{551}{760}$ entsprechend 27,5 Proz.
Oktober 1923	32,0	
Januar 1924	31,9	
März 1924	30,6	

Die Resultate des Laboratoriumsexperimentes sind, wie schon oft bewiesen, nicht immer ohne weiteres übertragbar auf die Makrophysik der Atmosphäre. Den ältesten und eindringlichsten Beweis lieferte bekanntlich der Versuch zur Bestimmung der Durchsichtigkeit der Luft in abgeschlossenen Räumen und im Freien, welcher zu der grotesken Diskrepanz 0,02 : 0,71 führte.

Von all diesen Mängeln ist das Davoser Frigorimeter (Fig. 11) frei, und es bietet außerdem den großen Vorzug, die in Abhängigkeit von vielen, dauernd variierenden meteorologischen Elementen natürlich selbst stark schwankende Abkühlungsgröße dauernd in einfacher Weise zu registrieren, womit man allein einer so variablen Größe gerecht wird, sobald größere Ansprüche gestellt werden. Eine schwarze, annähernd massive Kupferkugel von 7,5 cm Durchmesser, in welcher ein kleines Kontrollthermometer steckt, ist mittels einer Metallröhre von etwa 1 cm Durchmesser und 8 cm Höhe auf

einer Metallplatte montiert und mit Zuleitungskabel und Stecker versehen. Getrennt davon sind auf einer Holzplatte eine kräftige Uhr von etwa 12 cm Durchmesser und 11 cm Höhe nebst Steckkontakt und Relais nebst zwei Vorschaltwiderständen montiert. Zu Relais und Uhr führt eine weitere Schnurleitung, welche mittels Stecker an das Leitungsnetz angeschlossen wird. Die Uhr läuft nur, wenn dem Heizkörper Strom zugeführt wird. Das Verhältnis der an der Uhr abzulesenden Zeit (t_1) zu der zwischen den Ableseterminen verlaufenden (t_2) multipliziert mal dem mit dem Instrument

Fig. 11.



Davoser Frigorimeter.

mitgelieferten Faktor (f) ergibt die Abkühlungsgröße (A) in $\frac{1}{1000}$ gcal pro Quadratcentimeter und Sekunde, also $A = \frac{t_1}{t_2} \cdot f$. Bemisst man die Beobachtungszeit kurz, etwa auf eine oder wenige Heizperioden, so erhält man einen Momentanwert, d. h. den für diese wenigen Minuten geltenden Mittelwert, wählt man längere Termine, etwa von Dauer des Vormittags, Nachmittags und der Nacht, so erhält man die Summen dieser bzw. durch einfache Division durch die Zeit ihre Mittelwerte. Bei Anschaltung eines Komptators etwa der Art, wie sie zur Registrierung der Windgeschwindigkeit benutzt werden (Fuess, Katalog Nr. 109a), wird auch jeder Momentwert automatisch aufgezeichnet, was für unvermutet eintretende, schnell vorübergehende Naturereignisse von Wert ist. Einen nicht zu unterschätzenden Vorzug gegenüber anderen bringt diese Meßmethode durch die Möglichkeit, nicht nur Gleichstrom, sondern auch Wechselstrom zum Betrieb zu verwenden, was bei der stets zunehmenden Verbreitung des letzteren von Wichtigkeit ist.

Die Vorzüge des Instrumentes springen in die Augen: Das Wärmeleitvermögen des Kupfers ist etwa 200 mal größer als das des Alkohols und etwa 400 mal größer als das des Glases, die Geschwindigkeit des Wärmeausgleiches innerhalb des Meßkörpers hängt ab von dem Produkt der Leitfähigkeit \times spezifischer Wärme \times spezifischem Gewicht der Substanz und beträgt in den hier gedachten Fällen:

für Glas	0,0023 \times 0,19 \times 2,6	= 0,00359
„ Alkohol	0,0042 \times 0,61 \times 0,791	= 0,00199
„ Kupfer	0,90 \times 0,091 \times 8,9	= 0,7288

sie ist also schätzungsweise für die Kupferkugel etwa 300 mal größer als für eine mit Alkohol gefüllte Glaskugel, und der Wärmeaustausch erfolgt bei der Kupferkugel nicht nur weit geschwinder, sondern auch bei jeder Messung in gleich definierter Art und ist nicht abhängig von den in Flüssigkeiten auftretenden unberechenbaren Konvektionsströmen.

Die Geschwindigkeit des Wärmeaustausches mit der Luft durch Leitung vollzieht sich im Verhältnis des Leitvermögens von Kupfer zu Glas (0,90 : 0,002) 450 mal schneller als bei dem Kata-Thermometer.

Die Kugelform gewährleistet eine nach allen Seiten gleichmäßige Wärmeabgabe.

Aus den physikalischen Werten des Instrumentes ist die Abkühlungsgröße unmittelbar ableitbar, und daher stellt das Frigorimeter ein Absolutinstrument dar, welches dauernd und schnellstens dem Einfluß aller zu messenden Faktoren folgt. Es mißt dauernd auf die Weise, welche Hill (l. c. S. 15) zur Eichung des Kata-Thermometers angewandt hat.

Das Davoser Frigorimeter bietet die Möglichkeit — und das ist wohl der größte mit ihm erzielte Fortschritt — nicht nur der Anwendung zur Registrierung der Abkühlungsgröße im Sinne Leonard Hills, d. h. unter Ausschluß der Strahlung, sondern auch zur gleichzeitigen Registrierung der Strahlung, und zwar der ein- und ausgehenden Strahlung aller Wellenlängen, und es bietet somit ein Maß für die Abkühlungsgröße unter Wirkung aller vorkommenden Faktoren, auch des Niederschlages, wenn gewünscht. Hierdurch fällt dem Meteorologen die automatische mühelose Registrierung der durch Niederschläge dem Boden zugeführten Wärme-(Kälte-) Menge in den Schoß, eine bisher wohl kaum genügend sicher gefaßte und für die Praxis der Landwirtschaft außerordentlich wichtige Größe. Die drei klimatischen Fundamentalgrößen, Austrocknung, Abkühlung und Strahlung, reduzieren sich somit auf zwei, die Austrocknung und Abkühlung. Hierauf ist schon S. 145 vorausgreifend hingewiesen.

Infolge der Aufnahme aller Strahlengattungen, auch der langwelligen Wärmestrahlen, durch den Meßkörper (schwarze Kugel) füllt das Frigorimeter auch die unter 5., S. 150 erwähnte Lücke aus,

indem es die Abkühlungsgröße auch in Räumen mit starken Strahlern (Wände oder Einzelkörper) gestattet. Hierauf sei mit Rücksicht auf eine mögliche Verwendung des Instrumentes im Dienste der Hygiene (Fabrik-, Bergwerks-, Feuerungsbetriebe) hingewiesen.

Beim Gebrauch in ganz oder teilweise geschlossenen Räumen unter gleichzeitiger Exposition gegen starke Strahlung, sei es der Sonne oder künstlicher Strahler, gibt es keine Abkühlung mehr, es kann also auch keine registriert werden, es tritt eventuell statt Abkühlung Aufwärmung ein, die Kugel nimmt eine höhere Temperatur als $36,5^{\circ}\text{C}$ an. Die Aufwärmung in Kalorien zu messen und zu registrieren, stellt eine neue Aufgabe dar, deren exakte Lösung nur auf ganz anderem Wege als dem Frigorimeterprinzip möglich ist. Aber auch dieser Verhältnisse wird das Frigorimeter neuen Typs weitgehend Herr: Es gestattet nämlich in weiten Grenzen (zwischen -10° und $+50^{\circ}$) die Regulierung der Temperatur, bei welcher sich der Meßkörper ein- und ausschaltet, also der Temperatur, für welche die Abkühlung gemessen wird. Durch Umrechnung der bei höherer Temperatur des Meßkörpers erhaltenen Werte auf die für Bluttemperatur ($36,5^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{phys.}$) geltenden mittels der von Leonard Hill gebrauchten, S. 138 erwähnten Formel erhält man mit zunächst genügender Sicherheit die Aufwärmungswerte als negative Abkühlungswerte in dem gebräuchlichen Maß von

$$\frac{1}{1000} \frac{\text{gcal}}{\text{sec cm}^2}.$$

Zusammenfassung.

In diesem Abschnitt wird versucht, die Brücke zu schlagen zwischen meteorologisch-physikalischen und physiologischen Arbeiten:

1. Es wird die Notwendigkeit und zweckmäßigste Art der Umrechnung der physikalischen Größen auf physiologisch unmittelbar verwendbare besprochen und an Beispielen bewiesen.
2. Es wird Sammlung der zahlreichen meteorologischen Werte zu den die Grundlage allen Lebens und daher auch die Basis aller physiologischen Studien bildenden beiden Fundamentalgrößen angestrebt, und zwar wiederum in einer unmittelbar für die Physiologie verwendbaren Form. Dies führt nicht auf die statischen Größen „Wärme“ und „Wasser“, sondern auf die dynamischen „Abkühlung“ und „Austrocknung“, welche teils rechnerisch, teils durch Messung physikalisch exakt bestimmbar sind.
3. Die Anwendung der physikalischen Größen der „Abkühlung“ und „Austrocknung“ auf die Verhältnisse der Natur hat zur Voraussetzung die Kenntnis der Oberflächentemperaturen.

Diese sind daher ihrer Größe nach unter verschiedensten äußeren Verhältnissen untersucht für die Erdbodenoberfläche (Gestein, Wiese, Schnee usw.) und für mannigfache tote Objekte, deren Strahlung mitbestimmend ist für die Temperaturverhältnisse ihrer ganzen Umgebung, also auch des Menschen, ferner für Pflanzenteile mannigfacher Art und für die Oberhaut des Menschen.

4. Da die Oberhauttemperatur des Menschen, wie nachgewiesen, auch unter gleichen äußeren Bedingungen von Stelle zu Stelle stark wechselt, ergibt sich die Aufgabe, diejenige herauszufinden, welche unter allen wechselnden äußeren Witterungs-, klimatischen, Kleidungs-, Ernährungs- usw. Verhältnissen die stationärste Beziehung zur physikalischen Abkühlungsgröße und Austrocknungsgröße zeigt. Bei der verschiedenen Größe und Oberflächengestalt der einzelnen Körperteile erweist sich möglicherweise das Verhältnis der Temperaturen zweier oder mehrerer solcher zweckmäßig gewählter Oberhautstellen als das geeignetste Maß.
5. Da die Oberhauttemperatur abhängig ist von der physikalischen Abkühlungsgröße einerseits und andererseits von der Wärmeproduktion, so ist letztere durch die Bestimmung der ersten beiden Größen gegeben und damit der Wärmeanspruch, welchen das Klima stellt. Für Davos ist diese Aufgabe im Jahresturnus 1921 durchgeführt; die Beziehung zwischen der physikalischen Abkühlungsgröße und der Temperatur der Backenhaut ergab sich zufriedenstellend stationär und einfach.
6. Unter verschieden gestalteten klimatischen Bedingungen werden sich diese Beziehungen verschieden zeigen und den Weg weisen zu der eigentlichen physiologischen Aufgabe des Nachweises, welche Organe auf die vorhandenen klimatischen Reize (vereinfacht gesammelt durch die Definition als Austrocknungsgröße bzw. Abkühlungsgröße) vorzugsweise reagieren.
7. Für Untersuchungen an der Schleimhaut dürfte das physiologische Sättigungsdefizit ein geeigneterer und einfacherer Indikator sein als die Austrocknungsgröße. Es werden die Inangriffnahme einiger vermutlich dankbarer Themata angeregt und einige für klimatisch-physiologische Studien geeignete physiologische Instrumente namhaft gemacht in Ergänzung der in Meteorol. Zeitschr. 1926, Heft 9 und 1927, Heft 3, aufgeführten physikalischen.
8. Es wird ein Weg gezeigt, auch die Strahlungseinflüsse zusammen mit der Abkühlungsgröße zu einer Größe zu sammeln, so daß eine Orientierung aller Klimata allein nach zwei Größen (Abkühlungsgröße und Austrocknungsgröße) möglich ist, welche vermutlich die empirisch gefundenen Weber-van Oordtschen Klimatypen als zweckmäßig und richtig beweisen und straffer definieren wird.

9. Es sind die auf Muottas-Muraigl (2456 m) mittels des trockenen und feuchten Kata-Thermometers in fünf Beobachtungsperioden gefundenen Abkühlungswerte diskutiert. Ein Vergleich mit den in Davos (1560 m) gemessenen zeigt eine mittlere Zunahme von 50 Proz. um die Mittagszeit, 100 Proz. am Morgen und Abend bei weniger ausgeglichenem Tagesgange gerade in der kältesten Jahreszeit. Ein Vergleich mit Agra (565 m) bestätigt den schon aus der Jahresreihe 1921 gezogenen Schluß, daß das windgeschützte Hochtal geringeren Wärmeanspruch stellt als wohl alle Orte nördlich der Alpen und kaum größeren als die Riviera der schweizerischen und oberitalienischen Seen bei geringeren Schwankungen im Tages- und Jahreslaufe.
10. Bei erneuter Betonung des großen Wertes des Kata-Thermometers als erst orientierendes und seiner Einfachheit wegen weit verbreitungsfähiges Instrument werden seine zahlreichen Mängel besprochen, welche bei dem registrierenden Davoser Frigorimeter ausgemerzt sind. Letzteres bietet die Möglichkeit, die Messung der Abkühlungsgröße mit der der gesamten Strahlung (eingehende und ausgehende aller Wellenlängen) zu verbinden; das neue Modell erlaubt auch die bei starker Strahlung, Windstille und warmer Luft (oder in geschlossenen Räumen unter der Wirkung starker Strahler) auftretende Aufwärmung mit einiger Sicherheit zu erfassen.

Physiologische Wirkungen der Luftelektrizität.

Im Jahre 1912 regte der Verfasser in seinen „Vorschlägen zum systematischen Studium des Licht- und Luftklimas¹⁾“ auch luftelektrische physikalische und physiologische Untersuchungen an, hinweisend unter anderem auf eine mögliche Erklärung der Gewitterangst durch freie Raumladungen, wie sie in Davos auch im Zimmer gemessen waren, und auf die schon in seiner „Studie über Licht und Luft des Hochgebirges“ (Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1911) betonte Ähnlichkeit der Tageskurve des Potentialgefälles mit der Temperaturkurve des Menschen. Der wissenschaftliche Beirat der Zentralstelle für Balneologie nahm bekanntlich die Anregung zu lichtklimatischen Studien rege auf, lehnte aber luftelektrische Untersuchungen zunächst ab, „da physiologische Einflüsse der Luftelektrizität auf den Menschen noch nicht nachgewiesen seien“. Das Interesse für dies Thema hat jedoch nie geschlafen und ist in jüngerer Zeit wieder recht lebhaft geworden, ohne daß aber jemand —

¹⁾ Veröffentlichungen der Zentralstelle für Balneologie 1, Heft 7, 1912.

soweit dem Verfasser bekannt — ernstlich systematisch an kombinierte physikalische und physiologische Untersuchungen herangegangen wäre oder sich klarer zum Thema geäußert hätte. Es gehört dazu freilich Mut, denn die Verhältnisse sind noch wenig geklärt, schwer übersichtlich und recht komplex. Im folgenden sei versucht, einige Allgemeinrichtlinien zu ziehen, um vielleicht ein wenig zu klären, welche luftelektrischen Elemente im Interesse der Physiologen bei den Messungen zu bevorzugen sind.

Gemessen wird vorzugsweise — wie hier geschehen — das Potentialgefälle (besser zwischen zwei über dem Erdboden isoliert im Luftraum aufgehängten Kollektoren, als zwischen einem Kollektor und Erde), Leitfähigkeit und aus beiden abgeleitet der luftelektrische Vertikalstrom, daneben — wie hier leider nicht geschehen — Raumladung, Anzahl und Geschwindigkeit der Ionen, dazu zu Spezialzwecken Ausbreitung elektrischer Wellen. Letztere treten unmittelbar nach den oszillatorisch verlaufenden Blitzentladungen sicherlich stark, aber nur kurzwährend auf; neben ihnen wäre noch zu denken an die Wellen der drahtlosen Telegraphie und der industriellen Wechselströme. Alle werden, wie schon S. 113 erörtert — vom Körper nicht aufgenommen, können also nicht wirksam werden, außer wenn der Körper oder Körperteile geladen sind und zum Mitschwingen angeregt werden, worauf zurückzukommen sein wird.

Zur Charakterisierung etwaiger physiologischer Wirkungen des vom Potentialgefälle und Leitfähigkeit bestimmten luftelektrischen Vertikalstromes verglich der Verfasser ihn schon 1911 in seiner „Studie“ (l. c. S. 91) der Größenordnung nach mit den im hydroelektrischen Bade angewandten Strömen. Bei diesen rechnet man mit 10^{-3} Amp., auf Muottas-Muraigl wurden im Mittel $2,3 \cdot 10^{-15}$ pro Quadratcentimeter gefunden, das Maximum wäre vielleicht auf $1 \cdot 10^{-14}$ zu schätzen. Der im Freien stehende, im luftelektrischen Sinne einen Teil der Erdoberfläche bildende Mensch veranlaßt freilich eine starke Deformation der Kraftlinien, einen dichteren Kraftlinienumlauf (starkes Potentialgefälle) über dem Kopf, dagegen an den Füßen fast einen Hohlraum (Potentialgefälle = 0); die Folge ist ein sehr verstärkter Strom wie beim Blitzableiter. Auch beträchtlich verstärkte Leitfähigkeit ist zu Zeiten möglich. Trotz allem wird der vom Menschen ausgehende luftelektrische Vertikalstrom an Normaltagen die Größenordnung 10^{-12} schwerlich überschreiten. Dies gilt nun aber für ungestörte Tage; bei Gewitter und Böen sind selbst im geschützten Davoser Hochtal Potentialgefälle von mehr als 20000 Volt/m gemessen (gegenüber 100 an

Normaltagen); das unheimliche Surren der Eispickel in Gewitterwolken mahnt dazu, sie schnell und weit fortzuwerfen, Funkenentladungen induzierter Elektrizitäten aus isolierten Metallteilen lassen auf 100fach größeres Potentialgefälle schließen (das Blitzpotential wird auf 40000 Volt/cm, entsprechend 4 Millionen Volt/m geschätzt). Unter solchen Extremverhältnissen bestehen Ströme ganz anderer Größenordnung, welche schließlich zur Entladung (zum Blitz) führen können.

Die an ungestörten Tagen von der Atmosphäre durch den Menschen zur Erde fließenden luftelektrischen Vertikalströme dürften als schnell und unregelmäßig wechselnde Gleichströme aufzufassen sein. Es würde sich lohnen, das Potentialgefälle über dem stehenden Menschen in Abhängigkeit von Größe, Gestalt und Kleidung unter variierenden luftelektrischen Verhältnissen zu untersuchen.

Die Aufnahme von Raumladungen durch die Haut ist wohl so zu erklären, daß eine Anziehungskraft zwischen den Ionen (Elektrizitätsträgern) und den von ihnen an der Oberfläche influenzierten Ladungen entsteht, welche sie gegen die Oberfläche treibt, wo sie zur Adsorption gelangen. Bei der besser leitenden Schleimhaut wird dies eher geschehen als bei der Widerstände von 1000 bis 10000 Ohm besitzenden Oberhaut. Diese Kraft kann sich, wie rechnerisch nachweisbar, nur auf sehr kleine Distanzen erstrecken, aber als Folge der Entionisierung der der Haut anhängenden Gas-schicht tritt ein Diffusionsstrom ein, welcher Ionen auch aus größerer Entfernung heranzführt.

Um auch hier — wie beim luftelektrischen Vertikalstrom — vor Überschätzung möglicher Wirkungen zu warnen, möge an die Zahl der in freier Atmosphäre normal vorhandenen Ionen erinnert sein: Sie werden mit dem verbreitetsten Instrument (Eberts Aspirator), welches freilich nur die leicht beweglichen Ionen zählt, normal zu 400 bis 800 pro Kubikzentimeter gefunden, gegenüber 1 Trillion Molekülen bei normalem Druck, 10000 Millionen selbst im Hochvakuum. Freilich sind auf Muottas-Muraigl vermutlich die freien Ionen, namentlich die $+$ -Ionen, wie die großen q -Werte besagen, viel zahlreicher, schätzungsweise könnten es nach den in Davos gezählten Ionen und dem Verhältnis des Leitvermögens Muottas-Muraigl : Davos an Normaltagen fünfmal mehr sein, darum bleibt die Größenordnung der Ladungen doch sehr klein, etwa 10^{-15} Coulomb/ccm. Zieht man nun in Betracht, daß (bei Vernachlässigung des Kleidungseinflusses) die ganze Oberfläche des Menschen

von Luft solchen elektrischen Zustandes umspült wird, errechnet dieselbe für einen Mann von 75 kg Körpergewicht bei 165 cm Höhe nach der Formel Dubois-Reymonds:

$$A = W^{0,425} \times H^{0,725} \times 0,00718,$$

A in Quadratmetern,
 W in Kilogrammen,
 H in Zentimetern,

zu 18240 cm², rechnet ferner mit einer Ionengeschwindigkeit der leichtbeweglichen Ionen von 2 cm/sec im Felde von 1 Volt/cm, setzt das an Wintertagen in Muottas-Muraigl gefundene Potentialgefälle 500 Volt/m = 5 Volt/cm ein und berücksichtigt schließlich noch die Verdichtung der Kraftlinien über dem Kopfe des Menschen, indem man ihn als Ellipsoid mit der halben kleinen Achse 10 cm (20 cm Fußbreite bei geschlossenen Füßen), der halben großen Achse 165 cm (Körperhöhe) ansieht, bei welchem sich die Dichten der Elektrizität wie die Längen der Achsen verhalten, so erhält man als Stromstärke $1,96 \cdot 10^{-9}$ Amp.

$$J = \lambda \cdot Pg = n\varepsilon v f O.$$

$$Pg = 500 \text{ Volt/m}, f = 5 \text{ Volt/cm} \times \frac{165}{10} = 82,5 \text{ Volt/cm},$$

$$n = 4000,$$

$$\varepsilon = 4,9 \cdot 10^{-10} \text{ ESE} = 1,63 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb},$$

$$v = 2 \text{ cm/sec},$$

$$O = 18240,$$

$$J = 1,96 \cdot 10^{-9} \text{ Amp.}^1).$$

Also auch diese von freien Raumladungen ausgelösten Ströme bleiben an Normaltagen selbst auf Bergeshöhe sehr schwach, etwa 10millionenmal schwächer als die im Wasserbade gebräuchlichen.

Neben den bisher betrachteten leichtbeweglichen Trägern von der Größenordnung eines Moleküls pflügen 50mal zahlreicher schwere, nach Langevin benannte Träger gefunden zu werden, welche bei 3000mal geringerer Geschwindigkeit etwa 100fache Molekulargröße besitzen, elektrisch geladene Komplexe (Staub- und Wasserpartikel)

¹⁾ Nicht die ganze Körperoberfläche, sondern nur die Fläche der Schädeldecke hätte bei unverändertem f richtiger in diese Überschlagsrechnung einbezogen werden müssen, wodurch sich die Stromstärke auf etwa den 50. Teil = $4 \cdot 10^{-11}$ Amp. erniedrigen würde. Freilich wäre damit den von den Körperseiten, insbesondere den Schultern, ausgehenden Strömen nicht Rechnung getragen. Man wird wohl gut tun, mit der Größenordnung 10^{-10} Amp. zu rechnen.

darstellend. Trotz ihrer reichen Zahl würden sie infolge ihrer Schwebeweglichkeit den Strom nicht wesentlich über das berechnete Maß hinaus erhöhen.

Zwecks Abschätzung physiologischer Wirkungen wird nun aber zu beachten sein:

1. neben der mittleren Stromstärke die Geschwindigkeit und Größe ihrer Schwankungen;
2. die Vorzeichen der aufgenommenen Ladung;
3. die Art und Geschwindigkeit der Träger;
4. die Angriffsflächen — Oberhaut und Schleimhaut.

Zu 1 wurde schon S. 157, eingehender S. 140, auf die jähen Wechsel des Potentialgefälles, und mit ihm des Stromes, hingewiesen; auch die Raumladungen wechseln oft ähnlich schnell, wie direkte Beobachtung beweist. In diesen schnellen Wechseln dürften weit mehr als in den Absolutgrößen physiologische Reize auf die weite Fläche der Außenhaut zu suchen sein, und diese Wechsel treten — wie schon S. 140 erörtert — an jeder Stelle der Oberhaut verschieden auf, weil die elektrische Struktur der Luft an jedem Punkte eine andere ist. Hierzu kommt ein zweites: Wie die Oberhauttemperatur von Stelle zu Stelle wechselt, so wechselt auch häufig — wenigstens im Hochgebirge — ihre elektrische Ladung, wenn auch viel unregelmäßiger, so doch viel jäher schwankend. Es genügt — wie so oft am Davoser Observatorium demonstriert — ein einmaliges kurzes Reiben der Stiefelsohle am Linoleumbelag des Zimmers, um den ganzen großen Menschenkörper auf viele 100 Volt zu laden, welche sich freilich sehr schnell wieder mit dem Erdpotential ausgleichen. Irgend eine Spur von Empfindung ist damit nicht verbunden. Es genügt auch ein leichtes Überfahren des Kopf- oder Barthaars mit der Hand, um ähnlich große Effekte auszulösen, und sie treten gleichfalls, wenn auch mit geringerer Intensität, durch Reibung der Kleidung am Körper oder verschiedener Kleidungsstücke unter sich auf.

Es ist vom Verfasser zusammen mit W. Kolhörster versucht worden, diesen Dingen etwas näher nachzugehen. Herrn Kolhörster sei auch an dieser Stelle für seine Hilfe herzlich gedankt.

Es wurde folgende Anordnung getroffen: In einem im unteren Teile aus massivem Blech, im oberen aus Drahtnetz bestehenden großen, schwarz gestrichenen, gut geerdeten Metallkäfig saß die Versuchsperson auf gut isoliertem Schemel. Vorzeichen und ungefähres Potential der bei Reiben verschiedener Körperteile aneinander oder verschiedener Objekte aneinander entstehenden Ladungen wurden nachgewiesen:

- a) durch einen Poloniumkollektor, welcher mittels isoliert durch das Käfignetz geführter Leitung mit einem außen stehenden Wulfelektrometer verbunden war;
- b) durch die Ladung einer Kupferplatte welche zwischen die isolierenden Paraffinplatten und die Schemelfüße geschaltet war.

Folgende Vorzeichen wurden gefunden:

-	+
Hand	Kopfhaar
Hand	Lederne Schuhsohle
Hand	Wollstrumpf

Gleichzeitig mit der Hand nahm die gesamte Oberhaut die negative Ladung an.

Im Falle a) nimmt das Elektrometer die vom Kollektor übermittelte Ladung an, in Nähe des Kopfhaares positiv, in Nähe der Hand negativ; im Falle b) zeigt das Elektrometer anfangs maximale negative Ladung, welche von der Oberhaut schnell zum Elektrometer fließt, und sie verliert sich innerhalb etlicher Sekunden zu Null, indem die auf den Haaren erzeugte positive Elektrizität langsamer nachfließt. Ausschläge, die sich 1000 Volt näherten, konnten an dem Elektrometer nach einmaligem plötzlichem Überfahren des Kopfhaares mit der Hand beobachtet werden. Ähnliche Folgen hatte ein Reiben von Leder, geringere das von Wolle mit der Hand. Die durch Reibung getrennten Vorzeichen vereinigen sich also selbsttätig wiederum auf dem gesamten Körper im Laufe einiger Sekunden; beim Berühren der geriebenen Haare mit der Hand findet der Ausgleich momentan statt.

Oberhaut und Haar tragen also verschiedene Vorzeichen. Wäre es anders, so würde elektrische Abstoßung stattfinden und die Haare würden sich sträuben. Andererseits: Wenn sich Haare sträuben, was bei jähem Schreck öfters zweifellos beobachtet worden ist, so dürften elektrische physiologische Kräfte aufgetreten sein, deren Herkunft aufzuklären ist.

Es wurden ferner mittels einer Faradayplatte folgende Vorzeichen ermittelt an Objekten, deren Oberflächen aneinandergerieben und dadurch elektrisiert waren:

-	+
Leder	Kopfhaar
Linoleum	Leder
Nagel	Leder
Messing	Wolle
Messing	Seide
Messing	Leder
Linoleum	Messing
Tisch, schellackiert	Messing
Rohholz	Messing

Beim Reiben der Kleidung am Körper, insbesondere den behaarten Stellen des Körpers, entsteht also dauernd eine Trennung der Elektrizitäten nach Vorzeichen, und es folgt eine dauernde Wiedervereinigung, soweit nicht ein Abfließen der auf der Oberhaut erzeugten, stets negativen Elektrizität zur Erde stattfindet. Es wurde versucht, den hierbei maximal vorkommenden Potentialen und Strömen bei dauernd fortgesetzter Reibung der Stiefelsohle am Linoleumbelag des Zimmers, also durch Herstellung eines Gleichgewichtszustandes, nachzugehen: Etwa 2000 Volt negativen Vorzeichens zeigte das Elektrometer dauernd an; bei Ersatz des Elektrometers durch ein Galvanometer fand sich eine Stromstärke der Größenordnung 10^{-7} Amp. Das sind Ströme von höherer Größenordnung als die an Normaltagen durch luftelektrische Einflüsse ausgelöst. Bei teilweiser Isolation, wie sie beispielsweise beim Marschieren mit derben Lederschuhen über trockenes Gestein oder auf staubiger Landstraße gegeben ist, kann positive Aufladung des Körpers auftreten, da — wie das Experiment bewies — die negative Elektrizität schnell durch die Oberhaut abfließt, die positive dagegen von den Haaren und Bekleidungsstücken länger festgehalten wird.

Wettereinfluß macht augenscheinlich viel aus, denn bei feuchter Witterung sind die Effekte kleiner als bei trockener; systematische Untersuchungen, insbesondere bei Föhn, könnten hier nutzbringend werden. Beim Föhn wird, obwohl die Leitfähigkeit der atmosphärischen Luft stark zunimmt, nicht selten Aufladung beobachtet, zumal an Kranken in Betten, welche auf Glasfüßen stehen, die ihrerseits auf dem linoleumbedeckten Boden stehen; auch hier wird das schnellere Abfließen der negativen Elektrizität von der Hautoberfläche wirksam sein, daneben aber noch andere Ursachen, unter ihnen die reichere Aufnahme von Ionen laut S. 158/159, denn auch Isolatoren, wie Bernstein, Ebonit, Glas, nehmen im Föhn nicht selten Ladungen an. Zeitweise leichtes Anfeuchten der Haut hat der Verfasser schon 1911 in seiner „Studie“ den unter Föhneinflüssen Leidenden empfohlen; dies „entelektrisiert“ die Haut ebenso wie den Bernstein das Anhauchen und Entfernen der leichten Hauchschicht. Auch der schon häufig behauptete Zusammenhang zwischen Narbenschmerzen und Wechsel des elektrischen Zustandes der Atmosphäre hat manche Wahrscheinlichkeit für sich, denn Narben und gesunde Haut leiten die Elektrizität sehr verschieden, nehmen daher auch in verschiedenem Maße Ionen aus der Luft auf und ändern diese ihre Eigenschaften in Abhängigkeit von der Witterung in verschiedenem Maße.

Noch eines ist im Anschluß hieran kurz zu erwähnen: Unliebsam bekannt sind die Störungen, welche die industriellen Wechselströme mit ihren meist 50 Perioden bei mannigfachen Experimenten bereiten; der Faden des Wulfelektrometers schwingt (in Abhängigkeit von der Witterung mehr oder weniger) ohne elektrostatischen Schutz in Davos derart, daß er über etliche Skalengrade verbreitert erscheint. Auch der geladene Mensch bzw. geladene Einzelteile seiner Oberhaut und Haare müssen in gleicher Weise zum Mitschwingen angeregt werden. Will jemand wagen, die immer mehr fortschreitende Nervosität der Menschheit in Beziehung hierzu zu setzen?

Zu 2. Photodynamische Lichtwirkungen äußern sich nach L. Pincussen¹⁾ und anderen Autoren darin, daß positive Aufladung (negativer Ladungsverlust) der belebten Substanz Vergrößerung der Teilchengrößen verursacht, Kristalloide werden zu Kolloiden, und es bilden sich Aggregate unter Wasserausstoßung. Eine ähnliche Wirkung sollte von Raumladungen mit starkem positiven Überschuß, wie sie normal auf Muottas-Muraigl gefunden werden, zu erwarten sein, wofern sie bis zur Zelle vordringen können.

Zu 3 und 4. Hinsichtlich der Trägerart könnte es zweifelhaft sein, ob den leicht- oder den schwerbeweglichen Trägern größere physiologische Wirkung zukommt. Der der Außenhaut zufließende Strom wird — wie schon erwähnt — überwiegend von den leichteren Trägern bestimmt. Da ist nun beim Vergleich mit hydroelektrischen Bädern zu beachten, daß die Träger eine 1000- bis 2000fach größere Geschwindigkeit aufweisen als die Ionen des Wasserbades, nämlich 1 cm/sec gegenüber $\frac{1}{1000}$ cm/sec (im Felde 1 Volt/cm), was schwerlich gleichgültig sein kann. Die spezifische Geschwindigkeit der Träger nimmt mit der Höhe umgekehrt proportional dem Druck zu, sie ist also auf Muottas-Muraigl 1,37 mal größer als im Meeresniveau, und gleichzeitig nimmt auch ihr Wiedervereinigungskoeffizient ein wenig ab. Die schwerbeweglichen Träger dürften für die Schleimhaut eine größere Bedeutung haben als für die Außenhaut, denn eingeatmet werden sie in weit größerer Zahl zur Aufnahme gelangen und in größere Körpertiefen zu dringen vermögen, als die leicht rekombinierbaren äußerst beweglichen Träger. Von wesentlicher Bedeutung wird die Beschaffenheit der die Ladung tragenden Aggregate sein; Wasserdampf, organische und anorganische Substanz werden die Ladung verschieden fest gebunden halten, also sie auch verschieden schnell und verschieden vollkommen an die Schleim-

¹⁾ Strahlentherapie 25, 523ff., Heft 3, 1927.

haut abgeben, verschiedenartige „Träger“ werden also verschieden gute „Überträger“ sein, und als beste werden sich vermutlich diejenigen erweisen, welche nicht nur physikalisch durch Berührung, sondern gleichzeitig auch chemisch durch Umsetzung auf die Schleimhaut wirken¹⁾. Hier zeigt sich vielleicht eine neue Perspektive für bessere Ausnutzung der Inhalationskuren, sei es durch noch verstärkte Zerstäubung, wobei vermehrt negative Ionen auftreten, wie unter anderem die von Dr. Kähler und mir durchgeführte Arbeit über den Zerreißeffect (Ann. d. Phys. 1925, Bd. 77) beweist, sei es durch gleichzeitige Zuführung eines Elektronenstromes, dessen Herstellung in fast beliebiger Stärke heute ja keine Schwierigkeiten mehr bereitet.

Es ergibt sich aus diesen Überlegungen für den der Physiologie dienen wollenden Lufterlektriker die Aufgabe, mehr als bisher seine Aufmerksamkeit zu schenken der Bestimmung freier Raumladungen, insbesondere der Zahl und der Art der schweren Ionen, in Verbindung mit Messungen des Staubgehaltes nach Owens oder besser nach Owens und Aitken gleichzeitig, und zwar nicht nur in der freien Luft, sondern auch in geschlossenen Zimmern, Fabriken, Kellerwohnungen.

Dürfte somit vielleicht die Möglichkeit bestehen, daß Luftelektrizität vermittelt der Schleimhaut bis zum Zellplasma vordringen und in seinen elektrostatischen Haushalt eingreifen kann, in der schon S. 157 erwähnten Weise, so wird es schwer fallen, zu glauben, daß gleiches auch gelte für die auf die Außenhaut treffenden Ionen, denen ein Widerstand von 1000 bis 10000 Ohm entgegengesetzt wird. Sie dürften sich gleich den durch Reibung geteilten und sich wieder vereinigenden Elektrizitätsmengen und gleich dem lufterlektrischen Vertikalstrom auf den Oberschichten der Außenhaut bewegen. Festzuhalten ist, daß alle diese drei Ströme an Normaltagen dieselbe Richtung zur negativen Erde nehmen, es tritt also Summation ein, und man wird sich einen nach Stärke äußerst schnell und unregelmäßig wechselnden Gleichstrom mit zahllosen Stromverzweigungen vorzustellen haben. Ist dieser imstande, in den Zellen der Oberhaut Elektrolysewirkungen auszulösen? Der Pol höherer Erregbarkeit (nach Pflügers Gesetz der negative) ruht nicht in der Nähe der Nervenzentren, sondern an den Füßen. Ist eine prinzipiell verschiedene physiologische Wirkung zu erwarten durch die im Luftbade gegenüber dem Wasserbade 1000mal schnellere Zuführung

¹⁾ Diesen Gedankengang verdanke ich einem Privatgespräch mit Herrn Prof. Fritz Dessauer. Nach ihm kommt der durch die Schleimhaut aufgenommenen Ionenmenge die weitaus größte Bedeutung zu.

der Ionen? Mehr als von den absoluten Stromstärken dürfte wohl von ihren jähen, unregelmäßigen und an jeder Oberhautstelle verschieden auftretenden Schwankungen eine Reizwirkung zu erwarten sein. Elektrostatische Polarisation kann nur auftreten an sehr trockener Haut, Haaren, Nägeln und Narben.

Auch mit Überlagerung elektrischer Effekte mit solchen der Strahlung ist in freier Natur zu rechnen; so ist zu beachten, daß auch der von den ultravioletten Strahlen der Sonne und des Himmels ausgelöste Photoeffekt der Oberhaut negative Elektrizität entzieht, d. h. positive zuführt, also zu einem Strom gleicher Richtung wie die drei betrachteten Anlaß gibt.

Und nun noch ein ganz spekulativer Gedanke: Lockerung und Abspaltung von Ionen, Ionentransport innerhalb der Zellen und von Zelle zu Zelle sind geläufige Begriffe geworden, muß man konsequenterweise nicht auch einen dauernden elektrischen Austausch zwischen dem gesamten Zellorganismus und der Außenwelt erwarten, entsprechend dem Wärmeaustausch? Er könnte erfolgen durch Ableitung überschüssiger Elektrizitätsmengen zur Erde oder auch durch Austausch mit der umgebenden Luft. Was geschieht, wenn beides auf längere Zeit unterbunden wird durch Isolation gegen Erde und den herauswollenden Ionen entgegengesetztes gleichnamiges Potential? Kann da schädliche Überladung eintreten, wie kalorisch schädliche Überhitzung? Vielleicht ist nicht nur mit elektrischer Produktion, sondern auch mit elektrischem Verbrauch zu rechnen, welcher aus der Atmosphäre ersetzt werden muß. Es dürfte nicht mehr als Utopie gelten, an die Möglichkeit zu denken, chemische und biologische Prozesse durch positiven oder negativen Ionenstrom (welcher heute in großer Konzentration leicht erzeugbar ist) zu beeinflussen und an ein Zeitalter, in welchem, außer mit endothermischen und exothermischen, mit endelektrischen und exelektrischen chemischen Prozessen quantitativ gerechnet wird.

Es darf nicht stören, daß — wie in der Luftelektrizität üblich — bei vielen dieser Betrachtungen mit gleichzeitiger Zuführung positiver und negativer Elektrizität gerechnet wurde, statt mit der Differenz, also nur dem Überschuß eines Vorzeichens. Beide Vorzeichen gehen zweifellos nebeneinander, denn dauernd entstehen und vergehen Ionen beider Vorzeichen, dauernd bestehen freie $+$ -Ionen und $-$ -Ionen nebeneinander. Von der Niederschlagselektrizität konnte bei diesen Erörterungen abgesehen werden.

Der Verfasser ist sich der Kühnheit seiner Tat, seine Gedanken über das neue komplexe Gebiet freimütig geäußert zu haben, wohl bewußt und bittet um milde Kritik.

Gehalt der Luft an Ozon und Stickoxyden
(chemisch gemessen).

Von Mai bis Dezember 1916 sind in Davos regelmäßig Ozonmessungen angestellt, „um einen etwaigen Zusammenhang zwischen Ozongehalt der Luft und kleinstwelliger Spektrallinie bzw. Größe der ultravioletten Intensität der Sonne nachzugehen“¹⁾. Die angewandte Methode war die in der Meteorologie allgemein übliche mittels in Clarks Käfig aufgehängten Jodkaliumstärkepapiers. L. c. ist die Methode streng kritisiert; die Kritik führte dazu, durch alle Resultate einen Strich zu machen, obwohl sie den gesuchten Zusammenhang wundervoll zu bestätigen schienen. In den Jahren 1922 bis 1924 sind Ozonmessungen mittels verbesserter Methodik neu aufgenommen und in Davos fast regelmäßig, auf Muottas-Muraigl während der Oktober-, Januar- und Juniperiode durchgeführt. Es wurde durch 4 m lange, durch das Fenster ins Freie führende 1,5 m von der Hauswand endigende Glasrohrleitung von 10 mm lichter Weite mittels der Wasserstrahlpumpe eine mit Gasuhr genau gemessene (oder bei Ausfall dieser mittels äquivalenten Unterdruckes kontrollierte), stets annähernd gleiche Menge atmosphärischer Luft (etwa 1000 Liter in 24 Stunden) angesaugt und durch die aus Jodkalium bestehende, in dreikugelligen Absorptionsgefäßen enthaltene Absorptionsflüssigkeit geleitet. Nach Zusatz von Stärkelösung konnte in neutraler Lösung mittels Natriumthiosulfat die Menge des in Freiheit gesetzten Jods und damit des in Freiheit setzenden Ozons bestimmt werden. Angewandt wurde $\frac{1}{1000}$ n-Lösung, deren Richtigkeit nach aller Möglichkeit sorgsam dauernd überwacht wurde.

Es sind die allerverschiedensten Varianten dieser Meßmethode im Laufe der Zeit versucht, um die zweckmäßigste herauszufinden und mögliche Fehler aufzudecken. So ist operiert worden:

Mit JK-Lösungen von Konzentrationen wechselnd von 2 bis $\frac{1}{1000}$ n. Im laufenden Betriebe diente 2 n.

JNa-Lösung in Ersatz der JK-Lösung unter ähnlichen Konzentrationsverhältnissen.

Mit und ohne Vorlage von H_2SO_4 und Natronkalk; letzterer wurde zeitweilig ersetzt durch 2 n-NaOH.

Bei Zimmertemperatur und bei leichter Erwärmung des Absorptionsgefäßes im Wasserbade bis zu etwa 20° C.

¹⁾ Abhandl. d. Preuß. Meteorol. Inst. 6, 283, 1919.

Bei und ohne Abschirmung des im nur einfenstrigen Nordzimmer nur wenig intensiven diffusen Lichtes.

Bei Ansaugen der Luft von der Südseite und der Nordseite des Hauses, d. h. sonnendurchstrahlter und nicht sonnendurchstrahlter Luft.

Die Resultate sind in wenige Worte zu fassen: Niemals ist in Muottas-Muraigl überhaupt eine Reaktion festgestellt worden, solange das Absorptionsgefäß vollkommen dunkel gehalten wurde, was durch Umlegen von mehreren Lagen sogenannten schwarzen Photographentuches geschah. Nie zeigte die Flüssigkeit auch nur einen Hauch gelben Anfluges (von frei gewordenem Jod), nie trat bei Zusatz von Stärkelösung Blaufärbung ein — und es hätten bei der getroffenen Anordnung doch Konzentrationen der Größenordnung $1 \cdot 10^{-6}$ Volumprozent mit Sicherheit ausgemessen werden können. Auch in Davos gelang bei vollem Lichtabschluß nur an ganz vereinzelten Tagen, meist Föhntagen, ein Ozonnachweis. Kontrollversuche im Zimmer mit künstlich erzeugtem Ozon ergaben dagegen die erwarteten Reaktionen und den Nachweis der Abwesenheit von Jodaten, da bei Ansäuerung nach Farbumschlag nicht erneute Blaufärbung auftrat.

Gleichzeitig im Freien ungeschützt vor Sonnenstrahlen exponiertes Jodkaliumstärkepapier färbte sich, wenn feucht gehalten, auf Muottas-Muraigl innerhalb Stundenfrist tiefblau, im Zimmer hinter geschlossenen Fenstern ausgelegtes allmählich gelbrosa bis tiefrosa; auch im Clark-Käfig trat, wofern für genügende Feuchtigkeit gesorgt wurde, die gewohnte, nach der zugehörigen Farbenskala einigermaßen gut auf Relativwerte zu deutende Verfärbung auf. Trotz des doppelten engmaschigen Kupferzylinders genügt der Lichtschutz unter Hochgebirgsverhältnissen nicht, wie leicht mittels des zu den Graukeilmessungen (S. 86) dienenden Photometerpapiers nachzuweisen war. An den insgesamt 14 Beobachtungstagen herrschte meist heiteres Wetter, bisweilen auch leichter Regen oder Schneefall, niemals aber Föhn oder Gewitter.

Aus allem muß wohl auf Abwesenheit von Ozon und Stickoxyden, welche ja Jodkaliumlösung in gleicher Weise beeinflussen, an meteorologisch nicht schwer gestörten Tagen geschlossen werden, soweit es chemisch nachweisbare Mengen betrifft, d. h. Konzentrationen $\lesssim 10^{-7}$ Volumprozent, und es kommt der Verdacht auf, daß gegenteilige Befunde in hohen Höhen auf nicht genügenden Lichtabschluß zurückzuführen sind. Ein Einwand dahingehend, das Ozon sei in der Röhrenleitung vor dem Absorptions-

gefäß verbraucht, kann nicht als berechtigt anerkannt werden, denn bei den insgesamt vier Kautschukverbindungen, welche (bei Abwesenheit der Vorlagen) notwendig waren, lag stets Glas an Glas.

O. Kestners Verdienst ist es, darauf aufmerksam gemacht zu haben, daß es eine Stickoxydverbindung gibt, welche nicht durch die Jodkaliummethode gefaßt wird, nämlich das Stickoxydul N_2O (Lachgas), dessen besondere physiologischen Wirkungen bei genügender Konzentration er einwandfrei nachgewiesen hat. Kestner hat auch gelehrt, daß dieses Stickoxydul durch Ausfrieren in flüssiger Luft (zusammen mit Ozon und mannigfachen Stickoxydgemischen) zu gewinnen ist. Auf Muottas-Muraigl ist auch ihm der Nachweis der Anwesenheit dieses Gases nicht gelungen.

Nachwort.

Rückblickend auf eine nunmehr abgeschlossene reichlich 20jährige Periode unter Gottes herrlichstem Himmel, dem hochalpinen, durchgeführter Beobachtungstätigkeit, in welcher sich bei Betätigung auf allen Gebieten der Strahlung, meteorologischen Optik, Luftelektrizität und Radioaktivität das Studium des Klimas und seiner Einflüsse auf die anorganische und organische Natur als Nebenaufgabe von selbst aufdrängte, rückblickend auch auf die gewaltige Entwicklung, welche Meteorologie und Physik, Physiologie und verwandte Naturwissenschaften in diesen zwei Dezennien trotz des vernichtenden Weltkrieges genommen, zurückblickend schließlich auch auf das fortschreitende Interesse, welchem nach modernen Methoden angestellte klimatische Studien zwecks praktischer Anwendung im Dienste der Menschen-, Tier- und Pflanzenphysiologie begegnen, wagt der Verfasser am Schlusse dieser Studie einen Blick in die Zukunft zu tun.

Es dürfte nicht bestritten werden, ja es ist oft über alles Verdienst von kompetenten Seiten durch Wort, Schrift und Ehrungen mannigfacher Art bestätigt, daß systematisch Jahresreihen zusammentragende Strahlenforschung in den einzelnen, biologisch verschieden wirksamen Spektralteilen der Sonne und des Himmels ihren Ausgang von Davos genommen hat, und daß Anregungen zum Studium der Luftelektrizität mit gleichen Zielen, wenn auch bisher nur wenig gehört, zugleich mit dem Strahlungsprogramm (beides sowohl nach Methodik als auch nach Bezeichnung geeigneter Beobachtungsorte) schon 1912 gegeben worden sind¹⁾. Der Ausbau einer spezifisch-medizinischen (physiologischen) Meteorologie ist versucht durch in dieser Studie wiederholt zitierte Schriften und durch Konstruktion geeigneter Apparaturen. Neben dieser eigenen Forschungs- und Publikationstätigkeit beschäftigte den Verfasser aber schon seit 1912,

¹⁾ Veröffentlichungen der Zentralstelle für Balneologie 1, Heft 7, 1912.

wie es die sieben zitierte Schrift beweist, intensivst aber erst in den letzten fünf Jahren eine — man darf es wohl so nennen — ausgedehnte Lehrtätigkeit. Teilweise publizierte Vorträge in Ferienkursen¹⁾, ungezählte, oft von Demonstrationen begleitete vor zahlreichen, aus allen Ländern kommenden Kommissionen, Empfänge von Hunderten von Besuchern jährlich, briefliche Auskünfte in gleich hoher Zahl, kleine Experimentalkurse, Anregung und Beteiligung an Gründungen von Stationen zur Erforschung der Strahlung an verschiedenen Orten dienten der Verbreitung des Interesses für diese aussichtsreichen klimatischen, durch das physikalische und physiologische Experiment im Laboratorium, Tierversuche, Behandlungen im Lichtkabinett und in der Klinik zu ergänzenden und an manchen Orten, nicht zum wenigsten in Davos schon ergänzten Studien.

Die schon vorhandenen Fortschritte werden vielleicht illustriert durch folgende Erinnerung: Als der Verfasser im Jahre 1914 sein Manuskript über „Physik der Sonnenstrahlung“ einlieferte für das „Handbuch der Klimatologie und Klimatophysiologie“ von Dietrich und Kaminer, fragte der hochverehrte Herr Geheimrat Zuntz, dem es vorgelegt war, den Verfasser, wie er sich eigentlich die Wirkung der in verschiedene Spektralteile zerlegten Strahlung denke, ob es sich nicht im Grunde genommen um einfache Summation von Wärmewirkungen handle. Heute ist die Kenntnis der spezifischen Wirkungen etlicher Strahlenbezirke Allgemeingut, die Aufgaben sind vorgezeichnet für weitere Forschung über die Angriffsfläche der Strahlung, die aufgenommenen Strahlengattungen, die Energieform, in welche sie überführt werden, um zur Wirkung zu gelangen, die Körpertiefen, in denen die Umwandlung stattfindet, die Strahlehäufung, simultan oder in unmittelbarer Folge, die Einzelwirkungen auf die Zellelemente. Nicht Röntgenstrahlung, sondern natürliches Licht übt die differentiellsten spezifischen Wirkungen aus, letzterem steht daher die allgemein-biologisch und wohl auch therapeutisch größere Bedeutung zu. Kurz erörtert ist das vom Verfasser auf S. 112 dieser Schrift, ausführlicher behandelt in zwei Fachschriften²⁾.

¹⁾ Sammlung Vieweg, 1920, Heft 50; Heft 1 des Schweizerischen Instituts für Hochgebirgsphysiologie und Tuberkuloseforschung in Davos (Selbstverlag), 1924; Verhandlungen der Klimatologischen Tagung Davos. Basel, Benno Schwabe & Co., 1925.

²⁾ Handb. d. ges. Strahlenbiol. u. Therap., Herausgeber Paul Lazarus, Verleger Bergmann, Bd. 1, 1927; Medizinische Welt, 1927, Heft 35 und 36.

In gleicher Art bezeugen die zahlreichen im Entstehen begriffenen Stationen zur Erforschung des Strahlungsklimas und Verfolgung verwandter geophysikalischer, nicht selten auch physiologischer Probleme die interessvolle Aufnahme und stetig fortschreitende Verbreitung der Ideen. Alles scheint daher dazu angetan, den Verfasser mit großer Freude und Hoffnung zu erfüllen — und doch schläft die Sorge nicht ganz, und er hat ihr Ausdruck verliehen in seinem vor der Internationalen Strahlungskommission 1925 gehaltenen Vortrag¹⁾ über „Messungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung im Dienste der Medizin“ mit den Worten:

„Wo außerhalb der berufenen Observatorien — wie beispielsweise an manchen Kurorten und Heilstätten — seriöse Messungen angestrebt werden, sollte man sie willig durch weitgehende Beratung unterstützen, aber gleichzeitig die Überwachung der Ausführung und der Verarbeitung der Resultate ausbedingen. Man achte streng darauf, daß nur durch Gegenzeichnung berufener Observatorien legitimierte Zahlen in die wissenschaftliche Literatur Eingang finden.“

Nichts ist für klimatische Studien gefährlicher, als, auf einigen Erfahrungen der Praxis fußend, die Resultate gewissermaßen vorweg zu nehmen, dem Beobachter gewissermaßen vorzuschreiben, was er zu finden und zu beweisen habe, wie es vor nicht gar langer Zeit gelegentlich der Gründung einer durchaus berechtigten und aussichtsreichen Station in der Eröffnungsrede geschah. Bedenken muß es erregen, wenn in einem anderen Falle aus Rivalitätsgründen die Gründungsgeschichte einer Station anders dargestellt wurde, als sie sich zugetragen hat. Beide Fälle deuten auf Mangel an Freiheit, der Grundlage ernster Forschungsarbeit. Der Verfasser hat in seinen Publikationen den Namen „Davos“ durch 15 Jahre wie das Feuer gemieden und ihn, wo es nur irgend angängig war, durch „Hochgebirge“ ersetzt, um nicht in den Verdacht zu kommen, irgendwelchen Lokalinteressen zu dienen, er hat erst nach 15jähriger Tätigkeit Fühlung genommen mit den Davoser Ärzten gelegentlich der von dem ganzen Schweizerlande getragenen Gründung des „Schweizerischen Instituts für Hochgebirgs-Physiologie und Tuberkuloseforschung in Davos“, während er sie bereits 10 Jahre hindurch innigst hatte mit weiten Ärztekreisen außerhalb des Ortes; er ist auch — wie eingangs dieses Nachwortes gesagt — zu eingehenden klimatischen Studien gewissermaßen nur im Nebenamte gekommen.

¹⁾ Zeitschr. f. d. ges. physik. Therap. 1926, S. 166.

Bei solchen klimatischen Studien gilt es, unvoreingenommen in mühsamer ausdauernder Arbeit Baustein auf Baustein zusammenzutragen, unbekümmert um das Endresultat; dies springt erst aus mathematischer Behandlung des systematisch gesammelten Materials heraus und bringt nicht selten neben ganz neuen Gesichtspunkten Überraschungen. So doch auch im vorliegenden Falle: Der Verfasser ging an die Beobachtungen auf Muottas-Muraigl heran in dem Gedanken, daß dieser Ort wohl wegen seiner landschaftlich prächtigen Lage an etlichen Tagesstunden gewisser Jahreszeiten einen lockenden Aufenthalt biete, im übrigen aber die Extreme darstelle für eine überhaupt mögliche Bewohnbarkeit, und er steht nicht an — und spricht es aus, weil jegliche Möglichkeit der Realisierung fehlt und eine solche im striktesten Gegensatz zum Interesse der schönen Forschungsstätte stände — zu erklären, daß für viele Monate des Sommer- und Winterhalbjahres die besten Vorbedingungen vorhanden sind für einen kräftige Reiztherapie anstrebenden Kurort. Die in dieser Höhe oft schönsten Monate des Jahres, September und Teile des Oktober, desgleichen März und Teile des April werden ja heute von den Besuchern noch gar nicht ausgenutzt.

„Selbstlose, die reine Wahrheit suchende, freie, nicht überhastete Forschungsarbeit“ sei wie in Vergangenheit, so auch in Zukunft die Devise für klimatische Studien, dann werden sie den Fortschritten der gesamten physiologischen Wissenschaft reich dienen; anderenfalls tritt bald Verflachung ein und damit berechtigtes Nachlassen des Interesses und Verfall des ganzen Forschungszweiges.

Bisherige Publikationen des Verfassers.

Inauguraldissertation: Über Brommethacrylsäure und Isobrommethacrylsäure, 1904.

A. Arbeiten in wissenschaftlichen Zeitschriften.

- I. Physikalische Meteorologie.**
1. Die mittägliche Ortshelligkeit von Davos 1908 im Vergleich mit den Kieler Werten. Schriften d. Naturf.-Ver. f. Schleswig-Holstein, XIV, 2, 1909.
2. Über den Einfluß der gegenwärtigen atmosphärisch-optischen Störung auf Strahlung und Lufterlektrizität. Meteorologische Zeitschrift 1912 und 1913. 14 S.
3. Beobachtungen der Neutralen Punkte der atmosphärischen Polarisation. Ebenda 1913. 9 S.
4. Über den Verlauf und die geographische Verbreitung der atmosphärisch-optischen Störung 1912—1913 (zusammen mit J. Maurer). Ebenda 1914. 14 S.
5. Dämmerungsbeobachtungen 1911-1917. Ebenda 1917. 12 S.
6. Ringscheinungen um die Sonne 1912 bis 1917 und ihre Beziehung zur Sonnen-tätigkeit. Ebenda 1917. 14 S.
7. Himmelhelligkeit, Himmelpolarisation und Sonnenintensität in Davos 1911 bis 1918. Ebenda 1919. 28 S. u. 4 Abb.
8. Über den optischen Reinheitsgrad der Erdatmosphäre im Jahre 1919 und Januar/Februar 1920. Ebenda 1920. 3 S.
9. Dauerregistrierungen der Ortshelligkeit von Davos 1910—1920 mittels der photoelektrischen Zellenmethode. Ebenda 1921. 8 S.
10. Zur Darstellung des Polarisationsgrades des Himmelslichtes. Ebenda 1921. 3 S.
11. Registrierung der Intensität der Sonnen- und diffusen Himmelsstrahlung in absolutem Maß (zusammen mit A. Ångström). Ebenda 1921. 6 S. u. 1 Abb.
12. Fortschritte in Strahlungsmessungen. Ebenda 1922. 20 S. u. 1 Abb.
13. Über spezifisch-medizinische Klimatologie. Ebenda 1922. 4 S. u. 1 Abb.
14. Zum Vergleich des ersten Beobachtungsjahres der steiermärkischen Sonnenheilstätte Stolzalpe u. Davos. Ebenda 1922. 1 S.
15. Die wissenschaftliche und praktische Bedeutung der Meteorologie. Zeitschrift „Das Wetter“ 1923. Heft 1—6.
16. Das physikalisch-meteorologische Observatorium Davos. Meteorologische Zeitschrift 1924.
17. Klimatologie des Hochgebirges, insbesondere des rhätischen Hochlandes. Rede, gehalten gelegentlich der Einweihungsfeier des Forschungsinstitutes am 4. Januar 1924. 14 S.
18. Die physikalischen Grundlagen der Sonnen- und Himmelsstrahlung und ihre Anwendung in der Therapie. Die Naturwissenschaften, 12. Jahrgang, Heft 47. 22 S.
19. Sonnenintensität und photochemische Helligkeit auf dem Nord- und Südatlantischen Ozean (zusammen mit P. Perlewitz). Meteorologische Zeitschrift 1925. Heft 3. 3 S.
20. Das Davoser Frigorimeter; Instrument zur Dauerregistrierung der physikalischen Abkühlungsgröße (zusammen mit

- Rud. Thilenius). Ebenda 1925. Heft 2. 3 S.
21. Parallelmessungen der photochemischen Ortshelligkeit in Europa zwischen dem 40. und 60. Breitengrade, auf dem Atlantischen Ozean und an der Ostküste Südamerikas. Ebenda 1925. Heft 3. 17 S.
 22. Messungen der elektrischen Raumladung der Atmosphäre in Davos (zusammen mit K. Kähler). Ebenda 1925. Heft 11. 6 S.
 23. Schwankungen in den Werten der Solar-konstante. Ebenda, März 1926. 1 S.
 24. Vergleich zwischen den Davoser klimatischen Faktoren des Sommers und des Winters. Zeitschrift für die gesamte physikalische Therapie 1926. 3 S.
 25. Das Klima der Schatzalp. Brauers Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, August 1927. 14 S.
 26. Parallelmessungen der photochemischen Ortshelligkeit zwischen dem nördlichen Polarkreis und südlichen Wendekreis. Meteorologische Zeitschrift, Oktober 1927. 12 S.
 27. Physiologische Wirkung der Luftelektrizität. Zeitschrift „Das Wetter“ 1927. 10 S.

II. Physik.

1. Licht und Luft. Himmel und Erde 1912 (Urania, Berlin).
2. Über Unstimmigkeiten des Wulfschen Strahlers und anderer zur Messung kleinster luftelektrischer Größen dienender Instrumente. Physikalische Zeitschrift 1913. 4 S.
3. Erfahrungen mit photoelektrischen Zellen. Ebenda 1917. 8 S.
4. Zur Technik der Strahlungsmessungen (zusammen mit K. W. Meissner und W. Vahle). Meteorologische Zeitschrift, August 1924. 15 S. u. 5 Abb.
5. Über Elektrisierung von Wasser, Schnee und anderen festen Substanzen (zusammen mit K. Kähler). Annalen der Physik 77, 1925. 10 S.
6. Ausstattung und Arbeitsmethoden eines modernen Strahlungsobservatoriums. Meteorologische Zeitschrift 1926. Heft 9. 9 S.

7. Nachtrag zu „Ausstattung eines modernen Strahlungsobservatoriums“. Ebenda 1927. Heft 3. 3 S.
8. Zum Gebrauch der Cadmiumzelle. Strahlentherapie 25, 1927. 2 S.
9. Über Ozonmessungen auf spektroskopischem Wege. Meteorologische Zeitschrift, Oktober 1927. 3 S.

III. Astronomie.

1. Atmosphärisch-optische Störungen 1911 bis 1917. Astr. Nachr. Nr. 4899, 1917. 2 S.
2. Eine auf den momentanen Zustand der Erdatmosphäre abstellende Methode zur Bestimmung des Extinktionskoeffizienten. Ebenda Nr. 4999, 1919. 1 S.
3. Über Beobachtungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung und ihre Bedeutung für Geophysik und Astronomie. Naturwissenschaften 1919. 9 S.
4. Welchen Nutzen bringen die Polarisationsbeobachtungen der atmosphärischen Optik, Meteorologie, Geophysik und Astronomie? Mitteilungen der V. A. P. 1919. 14 S. u. 6 Abb.
5. Über Meteore und Polarbanden. Die Himmelswelt XXXV. 4 S.

IV. Balneologie.

1. Vorschläge zum systematischen Studium des Licht- und Luftklimas. Veröffentlichungen der Zentralstelle für Balneologie I, 7, 1912. 14 S.
2. Über den Einfluß der gegenwärtigen optisch-atmosphärischen Störung auf Strahlung und Luftelektrizität. Ebenda II, 3, 1914. 4 S.
3. Klimatologie im Dienste der Medizin. Zeitschrift für physikalische und diätetische Therapie XXIV, 9, 1920. 6 S.
4. Sonnenscheindauer Schömburg/Davos. Zeitschrift für Tuberkulose 37, 1, 1922. 5 S.

V. Medizin.

1. Lichtfilter. Münchener Medizinische Wochenschrift 6, 1916.
2. Vergleichende Lichtmessungen. Deutsche Medizinische Wochenschrift 34, 1916. 5 S.
3. Höhensonne. Strahlentherapie VIII, 1912. 3 S.

4. Wirkung der ultravioletten Strahlen auf die Vegetation. Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie 184, 1920. 1 S.
5. Der Gehalt des Lichtes an Ultraviolett. Gräfes Archiv für Ophthalmologie 104, 1—2, 1922. 4 S.
6. Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung. Strahlentherapie 1919. 90 S. und 11 Abb.
7. Über ultraviolette Strahlung. Ebenda XIV, 1922. 13 S.
8. Hochgebirgsklima und Hochgebirgsphysiologie. Umschau 7, 1922 und Natur und Technik 2, 1922. 4 S.
9. Die für den Mediziner wichtigen meteorologisch-klimatologischen Kenntnisse. Klinische Wochenschrift I, 1922. 6 S.
10. Über geeignete Klimadarstellungen. Zeitschrift für physikalische und diätetische Therapie 11, 1922. 26 S. u. 4 Abb.
11. Tageslichtmessungen in Innenräumen. Schweizerische Zeitschrift für Gesundheitspflege 1922. 8 S.
12. Zur Technik der Strahlungsmessungen. Strahlentherapie 1924. 8 S.
13. Die physikalischen Grundlagen der Sonnen- und Himmelsstrahlung und ihre Anwendung in der Therapie. Ebenda XVIII. 28 S. u. 9 Abb.
14. Das Davoser Frigorimeter; Instrument zur Dauerregistrierung der physikalischen Abkühlungsgröße (zusammen mit Rud. Thilenius). Zeitschrift für die gesamte physikalische Therapie, Bd. 29. 6 S.
15. Dasselbe. Strahlentherapie XIX. 5 S.
16. Dasselbe. Schweizerische Zeitschrift für Gesundheitspflege, 5. Jahrg., 1925. 5 S.
17. Haut- und Körpertemperaturen und ihre Beeinflussung durch physikalische Reize (zusammen mit A. Loewy). Annalen der Schweizerischen Gesellschaft für Balneologie und Klimatologie XX. 16 S.
18. Dasselbe. Strahlentherapie XX, 1925. 21 S.
19. Klimatologie d. Hochgebirges. Schweizerische Medizinische Wochenschrift Nr. 46, 1925. 9 S.
20. Dasselbe. Medizinische Klinik 1925.
21. Dasselbe. Annalen der Schweizerischen Gesellschaft für Balneologie und Klimatologie 21. 10 S.
22. Klimatologie des Hochgebirges. Verhandlungen der Klimatologischen Tagung Davos 1925. Benno Schwabe & Co., Basel. 11 S.
23. Beiträge zur Kenntnis des Sonnen- und Quarzlicht - Erythems und Pigments. Strahlentherapie 1926. 22 S.
24. Messungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung im Dienste der Medizin. Zeitschrift für die gesamte physikalische Therapie 1926. 6 S.
25. Dasselbe. Geografiska Annaler 1926. 5 S.
26. Die physikalischen Grundlagen der Sonnen- und Lichttherapie. Medizinische Welt, Oktober 1927, Heft 35 und 36. 6 S. und 3 Abb.
27. Über kombinierte meteorologisch-physikalisch-physiologische Klimastudien. Zeitschrift für die gesamte physikalische Therapie 1927. 7 S.
28. Physiologische Wirkungen der Luftelektrizität. Zeitschrift für wissenschaftliche Bäderkunde 1927. 10 S.

VI. Allgemeines.

1. Klima und Kultur. Berliner Tageblatt Nr. 101, 1921.
2. Die Gesundheit und Kraft spendende Sonne. Tuberkulose-Fürsorge-BI. 8, 1921.
3. Höhenluft. Berliner Tageblatt Nr. 199, 1922.
4. Reizphysiologische Studien über den Gesang der Vögel im Hochgebirge. Pflügers Archiv 1924. 15 S.
5. Heilwirkungen des Hochgebirges. Berliner Tageblatt, April 1924. 2 S.
6. Die physikalischen Grundlagen der Sonnen- und Himmelsstrahlung und ihre Anwendung in der Therapie (für das gebildete Laienpublikum). Die Umschau XXVIII. Heft 39. 3 S.
7. Die Gesundheit und Kraft spendende Sonne. Die Arve, Chur.
8. Zwanzig Jahre Höhenklimaforschung. Unsere Welt, August 1925. Heft 8. 3 S.

9. Das Davoser Frigorimeter. Die Umschau 1925. Heft 47. 2 S.
10. Welche biologischen Wirkungen haben die verschiedenen Strahlenarten in Abhängigkeit von ihrer Wellenlänge? Ebenda 1926. Heft 12. 4 S.
11. Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos. Festband der Naturforschenden Gesellschaft Graubündens 1926. 16 S. u. 7 Taf.
12. Klima des Hochgebirges. Die Umschau 1926. 3 S.

VII. In fremden Sprachen.

a) Englisch.

1. On observations of solar and sky radiations and their importance to climatology and biology and also to geophysics and astronomy. Monthly Weather Review 18, 1, 1920. 7 S.
2. Suggestions concerning Dr. C. G. Abbot's program for four world observatories for the observation of extra-terrestrial solar-radiation. Ebenda 48, 6, 1920. 4 S.
3. Registration of the intensity of sun and diffused sky radiation. Ebenda 49, 3, 1921. 4 S.
4. Progress in radiation measurements. Ebenda 50, 1922.
5. The physical-meteorologic Observatory Davos (Switzerland). Ebenda 1924.
6. Part I of the Davos Institute for Alpine Physiology and Tuberculosis Research, containing 1. General remarks on meteorology and climatology, 2. Radiation, 3. Medical climatology and high altitude climate. 64 S. u. 5 Abb.
7. Climatology of the high mountains in generally and of the Rhaetian Mountains in particular. Lecture delivered on the occasion of the inauguration of the Davos Institute for Alpine Physiology and Tuberculosis Research on the January 4th. 1924. 14 S.
8. On the technique of the measurements of solar radiation in restricted spectral regions. Monthly Weather Review, Vol. 52. 2 S.
9. Radiation and polarisation measurements during the solar eclipse of

April 8th. 1921 at Davos. Ebenda 1925. Vol. 53, Nr. 5. 1 S.

10. Fluctuations in the values of the solar constant. Ebenda, December 1925. 3 S.
11. The alpine climate in summer and winter (with Dr. Hudson). The British Journal of Tuberculosis, July 1926. Vol. XX, Nr. 3. 7 S.
12. Papers on the relation of the atmosphere to human comfort. Monthly Weather Review, February 1926. 5 S.

b) Französisch.

1. Quel profit les mesures de la polarisation et du rayonnement solaires et céleste apportent-elles à la météorologie, la géophysique et l'astronomie. Archives de Genève V, 2, 1920. 2 S.
2. Cahier 1 de l'Institut de Physiologie de haute montagne et de Recherches sur la tuberculose à Davos, concernant: 1. Généralités sur la météorologie et la climatologie, 2. Radiation, 3. Climatologie spécifiquement médicale et climat d'altitude. 68 S. u. 5 Abb.
3. Climatologie de la haute montagne et du haut plateau grison en particulier. Conférence faite à la séance d'inauguration de l'Institut de recherches de Davos le 4 Janvier 1924. 15 S.
4. Vingt ans de recherches climatiques à l'altitude. Courrier de Davos 1926.

c) Russisch.

1. Das physikalisch-meteorologische Observatorium Davos. Davoser Russische Nachrichten VI, 24 u. 25, 1913. 4 S.

d) Spanisch.

1. Über spezifisch-medizinische Klimatologie mit besonderer Berücksichtigung des spanischen Klimas. Los Progresos de la Clinica, Madrid.
2. Climatologie de Altura especialmente de las montañas reticas. Revista medica de Barcelona 1924. Nr. 5. 9 S.
3. Climatologie de altura especialmente de las montañas reticas. Discurso pronunciado en ocasión de la Asamblea Inaugural del Instituto de fisiología de la alta montaña y de investigaciones sobre la tuberculosis. 15 S.

e) Italienisch.

1. *Climatologia dell' alta montagna in ispecial modo delle montagne retiche. Conferenza tenuta il 4 gennaio 1924 nell' occasione della seduta inaugurale dell' Istituto di fisiologia e di ricerche sulla tubercolosi.* 15 S.

f) Holländisch.

1. *Klimatologie van het hochhebergte in 't bijzonder van het Rhätische hoogland. Voordracht, gehouden ter gelegenheid der feestelijke vergadering van het „Forschungsinstitut“ op 4 Januari 1924.* 15 S.

B. Beiträge für Hand- und Lehrbücher.

1. *Die Physik der Sonnenstrahlung. Handbuch der Balneologie I, D, 1916.* 30 S. und 6 Abb. Georg Thieme, Leipzig.
2. *Die Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung. Lehrbuch der Strahlentherapie.* Urban & Schwarzenberg, Berlia.
3. *Die klimatische Behandlung, „Das ärztliche Volksbuch“.* Emil Hochdanz A.-G., Stuttgart.
4. *Beiträge zu den Tabulae biologicae (Oppenheimer und Pincussen) über*

- Radioaktivität, Luftpolektrizität, spezifisch-medizinische Klimatologie.* 12 S.
5. *Die Grundlagen der Klimotherapie. Handbuch der praktischen Therapie 1926.* Joh. Ambr. Barth. 15 S. und 2 Abb.
6. *Die physikalischen Grundlagen der Sonnen- und Lichttherapie. Handbuch der gesamten Strahlenbiologie, Pathologie und Therapie.* J. F. Bergmann, München 1927. 29 S. u. 12 Abb.

C. Selbständige Veröffentlichungen.

1. *Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, 1911.* Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. 153 S., 78 Tab., 30 Abb.
2. *Das Physikalisch-Meteorologische Observatorium Davos, 1912.* Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. 12 S. u. 8 Abb.
3. *Dämmerungs- und Ringerscheinungen 1911 bis 1917. Abhandlungen des Preußischen Meteorologischen Instituts V, 5, 1917.* 92 S. u. 11 Taf.
4. *Himmelselligkeit, Himmelpolarisation und Sonnenintensität 1911 bis 1918. Ebenda VI, 1919.* 290 S., 26 Taf., 68 Tab.
5. *Physik der Sonnen- und Himmelsstrahlung. „Die Wissenschaft“ 63, 1919.* Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. 126 S. u. 16 Abb.

6. *Klimatologie im Dienste der Medizin. „Tagesfragen“ 50, 1920.* Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. 74 S. u. 11 Abb.
7. *Band I des Davoser Forschungsinstitutes (Selbstverlag), enthaltend: 1. Allgemeines aus Meteorologie und Klimatologie, 2. Strahlung, 3. Spezifisch-medizinische Klimatologie und Höhenklima.* 64 S. u. 5 Abb.
8. *Ausstattung moderner Strahlungsobservatorien (Selbstverlag des Forschungsinstitutes), 1927.* 13 S. u. 11 Taf.
9. *Grundzüge des Klimas von Muottas-Muraig! (eine meteorologisch-physikalisch-physiologische Studie). Band III des Davoser Forschungsinstituts.* 177 S., 11 Abb., 41 Tab.

	Luftdruck bei 0° C in mm			Lufttemperatur in Zentigraden					
	Mittel	Maximum	Minimum	7 ^{1/2} ^a	1 ^P	6 ^{1/2} ^P	Mittel	Mittleres Maximum	Mittleres Minimum

23. Juli bis 2. August 1923	560,2	566,0	553,0	7,5	12,6	9,3	9,8	12,6	7,3
2. bis 14. Oktober 1923.	556,3	562,0	546,0	0,8	2,4	1,6	1,2	3,1	0,1
20. bis 27. Januar 1924 .	554,7	562,2	550,5	- 6,5	- 5,4	- 7,3	- 6,4	- 5,1	- 8,0
8. bis 13. März 1924 . .	556,9	560,1	554,3	- 9,6	- 6,2	- 8,2	- 8,0	- 5,3	- 9,6
18. bis 19. Juni 1924 . .	562,8	563,7	562,0	7,5	14,4	8,6	10,2	14,4	7,3

23. Juli bis 2. August 1923	633,3			13,4	17,6	11,9	14,3	19,2	7,6
2. bis 14. Oktober 1923.	630,4			1,7	7,2	2,6	3,8	8,6	0,3
20. bis 27. Januar 1924 .	633,4			- 7,8	- 1,8	- 7,5	- 5,7	- 0,9	- 8,8
8. bis 13. März 1924 . .	633,5			- 13,0	± 0,0	- 7,8	- 6,9	0,3	- 13,5
18. bis 19. Juni 1924 . .	633,0			13,9	18,5	9,9	14,1	18,9	4,9

Juli/August	634,8			9,4	16,9	9,8	12,0	24,5	3,4
Oktober	632,1			1,1	10,2	2,5	4,6	16,9	- 7,8
Januar	631,0			- 10,6	- 3,0	- 9,1	- 7,6	4,8	- 21,3
März	628,6			- 6,1	3,4	- 3,8	- 4,4	9,5	- 15,2
Juni	633,6			8,8	15,0	8,4	10,7	22,9	1,9

Juli/August	722,4			15,7	21,8	17,0	18,2	29,0	10,6
Oktober	721,1			6,4	11,3	7,9	8,5	19,2	- 0,3
Januar	722,6			- 2,7	0,2	- 1,6	- 1,4	8,3	- 10,7
März	719,2			1,2	6,9	3,6	3,9	15,3	- 6,4
Juni	722,0			14,6	20,2	15,7	16,8	28,0	8,6

Tabelle 1.
Meteorologische Elemente.

Abso- lutes Maxi- mum	Abso- lutes Mini- mum	Relative Feuchtigkeit in Proz.					Absolute Feuchtigkeit in mm					Windrichtung in Proz.						
		7 ¹ / ₂ ^a	1 ^P	6 ¹ / ₂ ^P	Mittel	Abso- lutes Mini- mum	7 ¹ / ₂ ^a	1 ^P	6 ¹ / ₂ ^P	Mittel	Abso- lutes Mini- mum	Windrichtung in Proz.						
												N	NE	E	SE	S	SW	W

Muottas-Muraigl.

15,2	5,5	70	51	69	63	34	5,45	5,66	6,04	5,72	3,05	29	3	3	—	10	36	19
11,2	— 5,8	78	72	78	76	20	3,60	3,84	4,05	3,83	1,50	31	—	—	12	24	9	6
— 1,8	— 9,7	51	37	49	46	5	1,47	1,12	1,27	1,29	0,13	22	72	6	—	—	—	—
— 2,7	— 13,7	41	51	49	47	19	0,82	1,42	1,22	1,15	0,42	40	47	13	—	—	—	—
14,4	7,3	74	52	53	60	—	5,75	6,35	4,43	5,51	—	50	—	—	33	—	17	—

Davos; gleiche Tage.

75	51	30	8,49	7,25	5,28
98	74	32	5,12	5,43	3,33
89	63	52	2,49	2,63	1,11
93	43	31	1,54	1,91	1,25
64	39	33	7,53	6,16	4,69

Davos 1867 bis 1920.

85	60	31	7,83
89	60	28	4,66
89	71	46	2,30
87	60	35	2,99
79	59	31	6,88

Zürich; lt. Klimaatlas.

83	57	41	11,45
92	70	49	7,10
90	76	53	3,60
85	58	38	4,70
79	57	36	10,20

