





-45443-

Veröffentlichungen  
des Meteorologischen Observatoriums Aachen

herausgegeben durch dessen Direktor

O. Hoelper

---

Untersuchungen

über

Sonnen- und Himmelsstrahlung

von

Dr. Otto Hoelper

Privatdozent a. d. Techn. Hochschule

Aachen 1932

Aachener Verlags- und Druckerei-Gesellschaft, Aachen.





## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Die Wärmestrahlung der Sonne . . . . .	7
1. Ergebnisse der Intensitätsmessungen . . . . .	7
2. Intensitätsmessungen anderer Beobachtungsorte . . . . .	10
3. Die Durchlässigkeit der Atmosphäre . . . . .	11
a) Extinktionskoeffizienten trockener und feuchter dunstfreier Luft . . . . .	11
b) Der Trübungsfaktor . . . . .	12
c) Extinktionskoeffizienten der Dunsttrübung (Trübungs- koeffizienten) . . . . .	14
d) Unperiodische Änderungen der atmosphärischen Durchlässigkeit . . . . .	17
e) Zusammenfassung . . . . .	21
4. Wärmesummen . . . . .	22
II. Photoelektrische Messungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung . . . . .	26
1. Instrumentarium u. Methode der photoelektrischen Zellenmessungen . . . . .	26
a) Empfindlichkeitsänderung der Photozelle . . . . .	26
b) Die spektrale Empfindlichkeit der Photozelle . . . . .	27
c) Vergleichbarkeit photoelektrischer Zellenmessungen . . . . .	28
d) Blenden, Filter und Mattgläser . . . . .	28
2. Messungen der Sonnenstrahlung . . . . .	30
a) Intensitäten . . . . .	30
b) Extinktionskoeffizienten der kurzwelligen Sonnenstrahlung . . . . .	30
3. Messungen der Himmelsstrahlung . . . . .	34
a) Intensitätsmessungen . . . . .	34
b) Verhältnis der Sonnen- und Himmelsstrahlung . . . . .	37
4. Die Helligkeitsverteilung am Himmel . . . . .	39
III. Spektrographische Messungen der kleinsten Wellenlängen im ultra- violetten Sonnenspektrum . . . . .	46



## Vorbemerkung.

In der vorliegenden Untersuchung wird berichtet über kalorische Intensitätsmessungen der Sonnenstrahlung, und zwar der Gesamtstrahlung sowie zweier Filterbereiche verschiedener Wellenlängen. Ferner wurden mittels Cadmium- und Kaliumzelle in 4 Spektralbezirken Messungen der kurzwelligen Sonnen- und Himmelsstrahlung angestellt. Die Intensitätsmessungen der Strahlung von Sonne und Himmel sind auf gleiche Einheit bezogen und ihr gegenseitiges Verhältnis wurde im Wechsel des Tages- und Jahresganges und meteorologischer Einflüsse untersucht. Neben der vom ganzen Himmelsgewölbe auf eine horizontale Fläche einfallenden Strahlung als Gesamtheit wurde die Helligkeitsverteilung am Himmel in 2 Spektralbezirken gemessen und die Übereinstimmung der auf beiden Wegen gefundenen Resultate geprüft. Mit einem speziellen Ultraviolett-spektrographen wurde schließlich im Anschluß an die quantitativen Intensitätsmessungen die Ausdehnung und der Intensitätsabfall des kurzwelligen Spektrums unterhalb 320 untersucht.

Richtunggebend für die Untersuchung war die Frage nach der Durchlässigkeit der Atmosphäre. Dabei wurde die angewandte Messungsmethode einer eingehenden Kritik und Prüfung auf die Grenzen ihrer Anwendbarkeit unterworfen.

Das für die vorliegende Untersuchung verwandte Beobachtungsmaterial entstammt dem Zeitraum von Mai 1927 bis Juni 1930. Äußere Gründe, die damalige berufliche Tätigkeit des Verfassers am Kaiser-Karls-Gymnasium in Aachen, brachten es mit sich, daß die Beobachtungen in der Hauptsache nachmittags angestellt wurden. Abgesehen vom Hochsommer gehen lediglich Sonn- und Ferientage mit vollen Tagesreihen in die Messungen ein.

Aachen liegt unter  $50^{\circ} 47' N$  und  $6^{\circ} 6' E$ ; als Beobachtungsort diente das flache Dach meiner im Südwesten der Stadt gelegenen Wohnung.



# I. Die Wärmestrahlung der Sonne.

Für die Messungen der Gesamtintensität der Sonnenstrahlung wurde ein Michelson-Bimetallaktinometer der Moskauer Originalkonstruktion benutzt. Durch wiederholte Vergleiche mit 2 anderen Aktinometern gleicher Bauart wurden die Angaben kontrolliert und die Eichfaktoren nach Abschluß der Messungen unverändert gefunden. Die Beobachtungsergebnisse sind durch die Eichung an die Normalskala des Smithsonian-Instituts, die bekanntlich um 3,4% über der Angström-Skala liegt, angeschlossen.

Die über das ganze Spektrum sich erstreckende kalorische Intensität der Sonnenstrahlung läßt sich durch Vorschaltung des Zeiß'schen Rotfilters RG 2 und Differenzbildung der gemessenen Werte in zwei Teilbereiche, einen rot-ultraroten und einen grün-blau-violetten zerlegen. Das Filter RG 2 schneidet bei  $\lambda = 650$  scharf ab und besitzt in dem oberhalb anschließenden für die Sonnenstrahlung in Betracht kommenden Spektralbereich nahezu gleichmäßige Durchlässigkeit. Der Verlauf der hinter dem Filter gemessenen Strahlung der durchgehenden Wellenlängen setzt sich aus dem Reflexionsverlust an den beiden Begrenzungsflächen und dem eigentlichen durch das Glas hervorgerufenen Absorptionsverlust zusammen. Mörkoff<sup>82)</sup> hat neuerdings in Verbindung mit Marten diese Verluste zu 4,4 bzw. 2,3% für ein 1 mm dickes Filter bestimmt. Für das hier gebrauchte 2 mm-Glas ergibt sich danach, um die wahren Rotwerte zu erhalten, entsprechend der Beziehung  $J_d = J_0 (1-R)^2 p^2$  ein Zuschlag von 14,6% zu den gemessenen Beobachtungszahlen.

Die Auswertung der Messungen erfolgte unter Berücksichtigung der früher<sup>82)</sup> dargelegten Gesichtspunkte, die einerseits bei Einhaltung eines stationären Wärmezustandes der Apparatur möglichste Zuverlässigkeit der gemessenen Einzelwerte gewährleisten, andererseits bei der Mittelbildung über nur vollständige Reihen ungestörter Tage Normalwerte der Sonnenstrahlung aus einer relativ kurzen Beobachtungsperiode mit hinreichender Genauigkeit berechnen lassen. Da die überwiegende Zahl dieser Reihen nachmittags gewonnen wurde, Vor- und Nachmittag also mit sehr verschiedenem Gewicht in die Gewinnung von Tageskurven eingehen würde, wurden bei der Mittelbildung die Halbtagskurven nach Werten gleicher Sonnenhöhe vereinigt, und für die Untersuchung des täglichen Ganges einzelne vollständige Tagesreihen herangezogen. Auch so bleibt eine unregelmäßige Verteilung der Meßtage über das Jahr in ihrem Einfluß auf die Höhe der Mittelwerte noch bestehen. Die Zusammenfassung der Einzelwerte in monatlichen Abschnitten bringt

es mit sich, daß innerlich zusammengehörende Messungen einer Strahlungsperiode gelegentlich auseinandergerissen werden. Erst ausgedehnte Beobachtungsreihen über längere Zeiträume können erkennen lassen, ob hierdurch gegebenenfalls Extremwerte ausgeglichen und sekundäre Schwankungen der Jahreskurve unterdrückt wurden. Bisher sind solche noch nicht nachgewiesen, sie sind aber durchaus wahrscheinlich.

## 1. Ergebnisse der Intensitätsmessungen.

Die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung erfährt im Laufe des Jahres am Beobachtungsort beträchtliche Schwankungen; die mittägliche wie die zu jeder Stunde des Tages gemessene Intensität besitzt ihr Maximum im Juni, ihr Minimum im Dezember, eine Amplitude von 38% des Maximalwertes. Kommt hierin der Einfluß des Sonnenstandes zunächst zur Geltung, so äußert sich bei Beziehung auf die gleiche Sonnenhöhe (neben der Sonnenentfernung) der andere Faktor, die wechselnde Durchlässigkeit der Atmosphäre. Hier liegen bei allen Sonnenständen die höchsten Werte im Februar und März, die niedrigsten meist im August. Beide Einflüsse wirken im Jahreslaufe

Isoplethen der Sonnenintensität (Aachen)  
auf die horizontale Fläche.

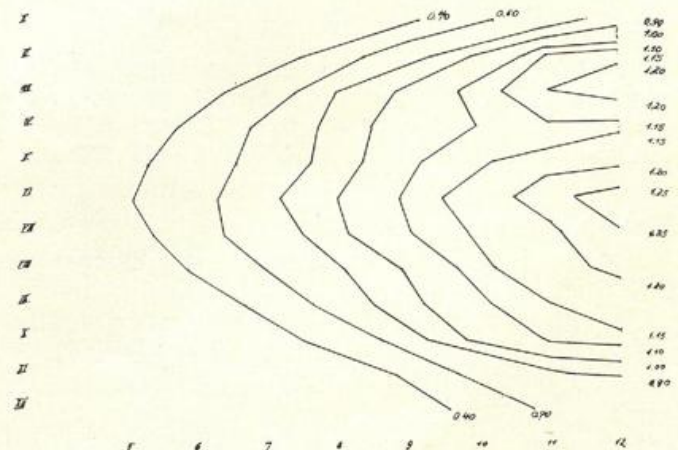


Fig. 1.

gegeneinander: Die Verringerung der atmosphärischen Schichtdicke bei steigender Sonne und gleichzeitig eine Vermehrung der Strahlungsschwächung durch die Beschaffenheit der Atmosphäre. Die letztere geht weitgehend parallel mit der Steigerung des Wasserdampfgehaltes zum

Tabelle 1.

**Tages- und Jahrgang der Sonnenstrahlung  
(gkal./cm<sup>2</sup>min.) zu jeder vollen Tagesstunde.**

a) Gesamtintensität der Sonnenstrahlung.

	5	6	7	8	9	10	11	12	Tage
Januar					0,34	0,64	0,84	0,94	5
Februar				0,62	0,83	1,01	1,15	1,19	8
März			0,59	0,91	1,03	1,12	1,20	1,22	8
April		0,47	0,77	0,94	1,05	1,10	1,13	1,14	6
Mai	0,31	0,57	0,70	0,96	1,09	1,14	1,19	1,19	7
Juni	0,37	0,61	0,88	1,00	1,11	1,19	1,22	1,24	7
Juli	0,26	0,61	0,83	0,99	1,10	1,16	1,19	1,22	10
August		0,41	0,70	0,89	1,01	1,14	1,19	1,22	7
September			0,51	0,82	0,98	1,08	1,16	1,17	7
Oktober			0,20	0,62	0,86	1,04	1,12	1,15	5
November				0,11	0,47	0,80	0,89	0,93	2
Dezember					0,24	0,55	0,76	0,76	3

b) Rotintensität der Sonnenstrahlung, einschließlich  
14,6% Filterzuschlag.

Januar					0,29	0,53	0,64	0,68	
Februar				0,52	0,69	0,77	0,83	0,85	
März			0,40	0,70	0,76	0,79	0,83	0,85	
April		0,34	0,52	0,64	0,71	0,75	0,77	0,77	
Mai	0,23	0,41	0,53	0,64	0,72	0,77	0,78	0,78	
Juni	0,23	0,44	0,61	0,69	0,75	0,78	0,79	0,81	
Juli	0,19	0,41	0,55	0,65	0,71	0,76	0,79	0,80	
August		0,31	0,48	0,60	0,69	0,75	0,77	0,79	
September			0,39	0,58	0,68	0,73	0,76	0,78	
Oktober				0,49	0,65	0,73	0,78	0,79	
November					0,39	0,62	0,64	0,65	
Dezember						0,48	0,54	0,54	

c) Intensität der grünblauen Sonnenstrahlung.

Januar					0,05	0,11	0,21	0,27	
Februar				0,10	0,14	0,25	0,33	0,35	
März			0,10	0,21	0,27	0,33	0,37	0,37	
April		0,14	0,25	0,31	0,34	0,35	0,36	0,37	
Mai	0,09	0,17	0,25	0,32	0,37	0,37	0,40	0,41	
Juni	0,14	0,16	0,27	0,31	0,36	0,40	0,43	0,43	
Juli	0,07	0,20	0,28	0,34	0,38	0,40	0,41	0,42	
August		0,10	0,23	0,29	0,33	0,40	0,41	0,43	
September			0,12	0,24	0,30	0,34	0,39	0,40	
Oktober				0,12	0,21	0,30	0,34	0,36	
November					0,09	0,19	0,25	0,28	
Dezember					0,03	0,12	0,22	0,22	

Tabelle 2.

**Tages- und Jahrgang der Sonnenstrahlung  
(gkal./cm<sup>2</sup>min.) geordnet nach Sonnenhöhen.**

a) Gesamtintensität der Sonnenstrahlung.

	5 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	55 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>
Januar	0,32	0,53	0,77	0,92								
Februar	0,54	0,70	0,84	1,00	1,18							
März	0,48	0,66	0,85	0,97	1,10	1,12	1,21					
April	0,38	0,54	0,71	0,83	0,92	0,99	1,05	1,09	1,12	1,15		
Mai	0,29	0,44	0,59	0,71	0,82	0,91	0,99	1,06	1,11	1,14	1,17	
Juni	0,26	0,40	0,56	0,69	0,84	0,91	0,97	1,06	1,11	1,15	1,17	1,22
Juli	0,20	0,39	0,55	0,70	0,83	0,91	0,98	1,05	1,11	1,15	1,17	1,22
August	0,18	0,42	0,54	0,70	0,82	0,91	0,98	1,05	1,14	1,17		
September	0,22	0,49	0,67	0,80	0,92	1,02	1,07	1,15	1,20			
Oktober	0,23	0,57	0,75	0,91	1,05							
November	0,20	0,43	0,73	0,90								
Dezember	0,26	0,48	0,73									

b) Rotintensität der Sonnenstrahlung, einschließlich  
14,6% Filterzuschlag.

Januar	0,28	0,44	0,60	0,70								
Februar	0,47	0,58	0,68	0,75	0,84							
März	0,43	0,55	0,66	0,73	0,77	0,79	0,83					
April	0,32	0,43	0,53	0,59	0,63	0,66	0,71	0,74	0,76	0,79		
Mai	0,25	0,31	0,41	0,48	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,77	0,78	
Juni	0,21	0,31	0,40	0,49	0,58	0,62	0,67	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80
Juli	0,16	0,28	0,37	0,45	0,52	0,58	0,63	0,68	0,72	0,75	0,77	0,79
August	0,15	0,25	0,40	0,48	0,57	0,62	0,66	0,71	0,73	0,76		
September	0,19	0,37	0,43	0,55	0,63	0,70	0,72	0,75	0,79			
Oktober	0,20	0,45	0,55	0,65	0,74	0,79						
November	0,19	0,34	0,52	0,64								
Dezember	0,23	0,40	0,53									

c) Intensität der grünblauen Sonnenstrahlung.

Januar	0,04	0,10	0,17	0,21								
Februar	0,08	0,12	0,16	0,24	0,34							
März	0,05	0,11	0,19	0,24	0,28	0,33	0,37					
April	0,06	0,11	0,18	0,24	0,29	0,32	0,34	0,35	0,36	0,36		
Mai	0,04	0,13	0,17	0,23	0,27	0,31	0,35	0,36	0,36	0,37	0,39	
Juni	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,29	0,30	0,34	0,36	0,38	0,38	0,42
Juli	0,04	0,11	0,17	0,25	0,31	0,33	0,36	0,37	0,39	0,40	0,40	0,43
August	0,03	0,16	0,20	0,23	0,25	0,29	0,32	0,35	0,41	0,41		
September	0,03	0,13	0,21	0,25	0,33	0,35	0,39	0,42				
Oktober	0,03	0,11	0,19	0,26	0,31							
November	0,02	0,09	0,20	0,26								
Dezember	0,02	0,07	0,20									

Tabelle 3.

**Tages- und Jahrgang des prozentualen Rotgehalts.**

a) zu jeder vollen Stunde.

	5	6	7	8	9	10	11	12
Januar					85	83	76	71
Februar				84	83	76	72	71
März			83	77	74	71	69	69
April		71	68	68	68	68	68	67
Mai	73	70	68	67	66	67	66	66
Juni	76	71	69	69	68	66	66	66
Juli	73	68	66	66	65	65	66	65
August			68	67	67	65	65	65
September			76	71	71	68	68	66
Oktober				80	76	70	70	69
November					82	77	71	70
Dezember					90	84	72	61

b) bei verschiedenen Sonnenhöhen.

	5 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	55 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>
Januar	85	82	78	77								
Februar	86	83	81	76	71							
März	94	84	78	65	74	71	69					
April	85	80	74	71	69	67	67	67	68	68		
Mai	83	71	71	68	67	66	65	66	67	67	66	
Juni	82	76	72	71	69	69	69	68	68	67	67	65
Juli	80	72	69	65	64	64	64	64	65	65	65	
August	82	76	70	68	70	68	67	67	64	65		
September	85	75	69	68	69	68	67	66	65			
Oktober	90	80	75	72	71							
November	92	80	72	71								
Dezember	91	85	74									

Sommer, doch ist die Intensität der Sonnenstrahlung gleicher Sonnenhöhe durchaus nicht allein abhängig von diesem; deutlich sind bei gleichem Wasserdampfgehalt im Laufe des Jahres zwei Perioden zu erkennen: Die Übergangszeit Februar—März ist den Wintermonaten Dezember—Januar, und der Herbst September—Oktober dem Sommer sehr überlegen (Figur 2). Die weitere Untersuchung läßt zeigen, auf welche Einflüsse der jährliche Gang der atmosphärischen Durchlässigkeit zurückzuführen ist.

Schon die Zerlegung der Gesamtintensität in die beiden genannten Spektralbezirke ist geeignet, Licht auf diese Zusammenhänge zu werfen. Die Strahlungskurven der Rotintensität zeigen im allgemeinen verwandten Gang zu denen der Gesamtstrahlung; doch sind sie flacher. Die Jahresamplitude ist geringer (35%), und das Maximum rückt eindeutig in die Frühjahrsmonate. Während die hohe Durchlässigkeit der Atmosphäre des Frühjahres im Verlauf der stündlich gemessenen Gesamtintensität nur als sekundäres Maximum zur Geltung kam, das erst bei Beziehung auf gleiche Sonnenhöhe zum absoluten Höchstwert des Jahres wurde, sind nicht nur bei gleichem Sonnenstande sondern zu jeder Stunde im März die gemessenen Rotwerte die größten des Jahres. Im rot-ultravioletten

Sonnen-Strahlungsintensität in Abhängigkeit vom atm. Wasserdampfgehalt.  
(Mittelwert für 15° und 20° Sonnenhöhe.)

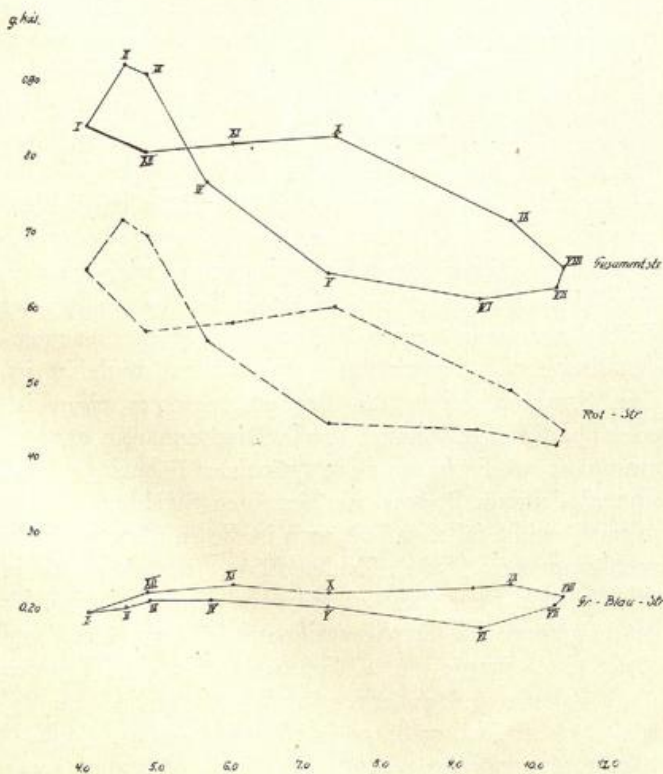


Fig. 2.

Teil des Spektrums macht sich eben der Einfluß des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre überragend bemerkbar. Die Rotwerte nehmen mit zunehmendem Dampf-

druck kontinuierlich ab. Es sind die im roten Teile des Spektrums liegenden H<sub>2</sub>O-Banden, die eine starke Absorptionswirkung auf die einfallende Strahlung ausüben. Das zeigt auch besonders deutlich der Verlauf der Grünblau-(Kurz-)Strahlung. Diese ist vom Wasserdampfgehalt der Atmosphäre fast unabhängig. Sie hängt dagegen umso stärker von der Sonnenhöhe ab, und es fällt daher das mittägliche Maximum auf den Juli. Die Amplitude der jährlichen Schwankung ist mit 49% bedeutend größer als bei der Rot- und der Gesamtstrahlung. Auf gleiche Sonnenhöhen bezogen ist der jährliche Verlauf der Grünblau-Strahlung nun aber ganz anders als der der beiden anderen Strahlungsbereiche: An die Stelle der einfachen jährlichen Schwankung mit einem bei allen Sonnenhöhen ausgeprägten Höchstwert im Frühjahr, tritt ein unregelmäßiger Gang, der einmal das Frühjahr, besonders aber auch die Herbstmonate September—November als stark begünstigt hervortreten läßt. Erst nach Eliminierung des Wasserdampfeinflusses, also bei Beziehung auf gleichen Dampfdruck, fanden wir diese Eigentümlichkeit in der Rotstrahlung und damit auch in der Gesamtstrahlung. Die Teilung des gesamten Spektrums in zwei Teile läßt also erkennen, daß der jahreszeitliche Verlauf der Gesamtstrahlung, soweit er vom Wasserdampfgehalt abhängig ist, seine hauptsächlichste Variation in einer Veränderung des roten Anteils erfährt; daß daneben aber ein im ganzen Spektrums, im roten und grünblauen, wirksamer Faktor für die im Frühjahr und Herbst gegenüber der übrigen Jahreszeit gesteigerte Strahlung verantwortlich zu machen ist.

Es ergibt sich somit in der qualitativen Zusammensetzung der Strahlung, im prozentualen Gehalt der Sonnenstrahlung etwa an Rot ein systematischer Gang. Den stärksten Rotgehalt hat die Sonne im Winter, den niedrigsten im Sommer; die Frühjahrswerte übersteigen beträchtlich die im Herbst gemessenen Beträge. Bei gleicher Sonnenhöhe liegen die weitaus höchsten Werte im Frühjahr. Hier ist am deutlichsten zu sehen, daß die trockenere Atmosphäre der Monate Oktober bis März die Rotstrahlung viel weniger schwächt als in der übrigen Jahreszeit. Der Anteil der kurzwelligen Strahlung, als Ergänzung zu den prozentualen Rotwerten sofort zu errechnen, verfolgt natürlich den entgegengesetzten Gang. Mit Steigen der Sonne im Laufe des Jahres wächst er zunächst infolge der abnehmenden Diffusion; diese Steigerung wird noch unterstützt durch die infolge der Vermehrung des Wasserdampfgehaltes gleichzeitig hervorgerufene relativ stärkere Schwächung der langwelligen Rotstrahlung. Die mittägliche Augustsonne ist daher am rotärmsten, sie besitzt den größten Gehalt an kurzwelliger Strahlung. Wie bei gleicher Sonnenhöhe im Herbst gegenüber dem Frühjahr der prozentuale Rotgehalt geringer ist, so wird auch häufig im Tagesgang am Nachmittag eine Abnahme des relativen Rotanteiles beobachtet als Folge der Wasserdampfvermehrung bodennaher Schichten — allerdings nur dann, wenn nicht andere Einflüsse hinzukommen, die im ganzen Spektrum wirksam die Gesamtstrahlung gegenüber dem Vormittag stärker herabdrücken.

## 2. Intensitätsmessungen anderer Beobachtungsorte.

Bei einem Vergleich der in Aachen ermittelten Strahlungswerte mit den Zahlen anderer Beobachtungsorte (11, 59, 63, 32) fällt natürlicher Weise zunächst die Sechöhe als bestimmtes Moment ins Auge (Fig. 3). Das gleichmäßiger verlaufende Strahlungsniveau des Hochgebirges liegt erheblich höher, das Mittelgebirge zeitigt wenigstens im Winter höhere Intensitäten. Als in Meereshöhe gemessene Intensitäten interessieren hier in Gegenüberstellung die von Potsdam im norddeutschen Flachland und die von Karlsruhe im Stromgebiet des Rheins. Die Potsdamer Kurve verläuft in ihrer ganzen Erstreckung oberhalb der Aachener, während das südlichere Karlsruhe nur im Sommer wenig höher liegt. In ihrer jährlichen Schwankung folgt die Strahlung des Hochgebirges weit enger der Sonnenentfernung als im Meeresniveau. Im Flachland verschieben sich außerdem die Extreme im Winter auf den Februar, vom Juni auf den August: Einfluß des Wasserdampfes, der in Aachen und Karlsruhe wieder stärker sich geltend macht als in dem kontinentaler gelegenen Potsdam. Im ganzen besteht zwischen den Kurven für Karlsruhe und Aachen die größte Ähnlichkeit, die auch hinsichtlich des Verlaufs der Rotstrahlung zu beobachten ist.

Jährl. Gang der Strahlungsintensität bei 15° Sonnenhöhe.

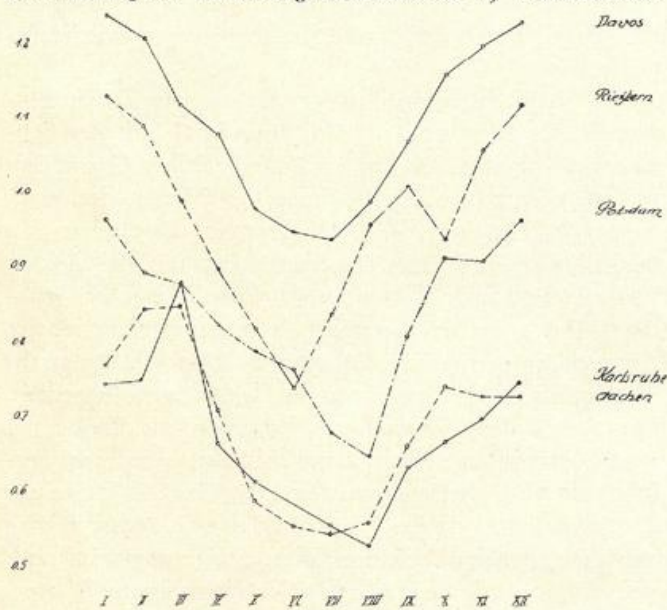


Fig. 3.

Hier ist allerdings der Vergleich bezüglich der Absolutgröße der gemessenen Werte nicht genau durchzuführen. Das in Karlsruhe verwandte alte Zeiß'sche Glasfilter F 4512 besitzt eine etwas abweichende Durchlässigkeit; bei gleicher Dicke von 2 mm ergaben in Aachen Vergleichsmessungen mit dem Filter RG 2 (ohne Fassung), daß ein 20% iger Zuschlag als Korrektur für Absorptions- und Reflexionsverluste zu befriedigender Übereinstimmung führt. Die Korrektionsgröße ist im Verhältnis zu der Korrektur des neuen Filters unerwartet groß. Vielleicht

spricht hierbei ein Randeffekt mit, der durch die Filterfassung hervorgerufen ist und auf den ein Teil des Unterschiedes entfällt. Jedenfalls zeigen Parallelmessungen des gleichen Glases mit und ohne die übliche Filterfassung, was bisher nie bemerkt wurde, daß durch die Fassung der üblichen Revolverblende gegenüber einem ungefaßten größeren Filter die Messungen gedrückt werden; auch wenn Randverschmutzungen, die leicht eintreten können, mit Sicherheit ausgeschlossen sind. Offenbar wird durch die Filterfassung verhindert, daß von der Seite her durch das Filter eindringende Strahlung noch wirksam wird. Übrigens hat Goetz<sup>25)</sup> auch experimentell auf anderem Wege einen 20% igen Zuschlag für das Filter F 4512 bestimmt.

Wenn also die Absolutwerte der hier und dort gemessenen Rotstrahlung nicht vergleichbar sind, so muß man auch bezüglich der klimatischen Deutung des Ganges der relativen Werte des prozentualen Rotgehaltes noch eine gewisse Vorsicht walten lassen. Da der relative Rotanteil nach der wechselnden Konstitution der Atmosphäre aus sehr verschiedenartigen Ursachen herauf oder herabgesetzt werden kann (s. u.), jedenfalls aber nicht ausschließlich vom Wasserdampfgehalt der Atmosphäre bestimmt ist, können zuverlässige Schlüsse nur gezogen werden, wenn die nähere Untersuchung der absoluten Intensitäten über diese Ursache Auskunft gibt. Ob die hohen Sommer- und Herbstwerte des prozentualen Rotgehaltes in Karlsruhe eine klimatische Besonderheit darstellen, die etwa in geringerem durchschnittlichem Wasserdampfdruck oder aber innerhalb der schlecht ventilierten Rheinebene etwa in einer besonders starken Herabsetzung der atmosphärischen Durchlässigkeit für die Gesamtstrahlung begründet ist, oder ob schließlich hierbei Eigenheiten der Meßperiode mitsprechen, wie die ungenügende Zahl und die ungleichmäßige Verteilung der Meßtage über das Jahr — das sind Fragen, die aus dem vorliegenden Zahlenmaterial nicht beantwortet werden können. Ebenso gehört ein ungleich größeres Beobachtungsmaterial dazu, zu entscheiden, ob die große Steigerung des Rotgehaltes der Frühjahrssonne in Aachen, die von einer ebenso bedeutenden Steigerung der absoluten Intensitäten begleitet ist, dem Strahlungsklima des Beobachtungsortes eigen ist, oder ob die ungewöhnlich große Diathermansie der Atmosphäre im Frühjahr 1929 (häufiger Föhneinfluß bei schneebedecktem Boden) mit einzelnen Strahlungswerten so ins Gewicht fällt, daß sie auch in diesen Monatsmitteln noch zu anormal hohen Zahlen führt. Jedenfalls fällt in den Februar 1929 auch das Maximum der in Aachen bis heute gemessenen Strahlungsintensität. Der Wert von 1,362 gkal. wurde am 2. Februar sowie am folgenden Tage nahezu und außerdem auch noch einmal am 27. Mai 1928 erreicht, während in Karlsruhe bei 45° Sonnenhöhe 1,367 gkal. am 3. April 1923 und in Potsdam 1,443 gkal. am 1. Mai 1920 maximal erreicht wurden. Die in Davos gemessenen Rotwerte lassen eher einen direkten Vergleich zu. Zwar handelt es sich um Messungen eines einzelnen Jahres, denen ausdrücklich nur beschränkte Vergleichsmöglichkeit zugeschrieben wird, aber da hier das

selbe Rotglas RG 2 benutzt und die Messungen in gleicher Weise auf Reflexion und Absorption korrigiert wurden, sind sie unmittelbar aufeinander zu beziehen. Im Jahresmittel findet sich bestätigt, was der Verfasser bereits früher für den Monat Oktober mit der Gegenüberstellung nicht auf Reflexionsverluste korrigierter Rotwerte (F 4512) von Davos, Riezlern und Potsdam belegte: Die Seehöhe wirkt verkleinernd auf den prozentualen Rotgehalt, weil in der Höhe die kurzwellige Strahlung weniger geschwächt wird als in der Ebene; ferner nimmt mit sinkender Sonne der Rotgehalt im Flachland erheblich stärker zu als im Hochgebirge. Auch hier wird die viel gleichmäßigere Strahlung des Hochgebirges wieder sichtbar.

### 3. Die Durchlässigkeit der Atmosphäre.

Bereits in den klimatischen Strahlungsmittelwerten des vorigen Abschnitts kommt die wechselnde atmosphärische Durchlässigkeit als starker, den Gang der Strahlung bestimmender Faktor zum Ausdruck. Weit mehr noch macht sich dieser Einfluß auf die Höhe der Einzelwerte geltend; kann doch unter sonst gleichen Verhältnissen der geographischen Breite, der Seehöhe und des Sonnenstandes die Strahlungsintensität der Ebene von Tag zu Tag leicht um 20% und mehr schwanken. In diesen unperiodischen Schwankungen äußert sich der starke Wechsel im optischen Reinheitsgrad der Atmosphäre, der in der Hauptsache durch Herkunft und Zusammensetzung der Luftmasse über dem Beobachtungsorte bestimmt ist.

#### a) Extinktionskoeffizienten trockener und feuchter dunstfreier Luft.

Die zahlenmäßige Bestimmung der Durchlässigkeit der Atmosphäre vermittelt das Bouguersche Gesetz. Es setzt die gemessene Sonnenintensität in Beziehung zu einem absoluten Maß, zur extraterrestrischen Strahlung. Bekanntlich gilt nun das Gesetz exakt nur für monochromatische Strahlung. Für das komplexe Strahlungsgemisch der Sonne würde es ein sehr kompliziertes Integral darstellen von der Form

$$J_m = \int_0^{\infty} J_{0\lambda} \cdot q_{\lambda}^m \cdot d\lambda = \int_0^{\infty} J_{0\lambda} \cdot e^{-\alpha_{\lambda} \cdot m} \cdot d\lambda$$

Bei der Anwendung des Bouguerschen Ansatzes auf die inhomogene Gesamtstrahlung folgt daher eine starke Abhängigkeit der Transmissionskoeffizienten resp. Extinktionskoeffizienten von der Luftmasse  $m$ , d. h. vom Sonnenstande und der Seehöhe, da mit zunehmender Schichtdicke die Energie der durchgehenden Strahlung sich mehr und mehr zum langwelligen Ende des Spektrums verschiebt.

Unsere Kenntnis des extraterrestrischen Energiespektrums der Sonne einerseits und der monochromatischen Transmission der Sonne andererseits basiert im wesentlichen auf den Messungen des Smithsonian-Instituts<sup>2, 23</sup>). Nun hat sich mit fortschreitender Methodik der amerikanischen Forscher im letzten Jahrzehnt eine Veränderung

dieser Grundlagen insofern ergeben, als die neueren Messungen nicht unbeträchtliche Korrekturen sowohl an den bisherigen Daten des extraterrestrischen Spektrums notwendig machten wie auch die monochromatischen Transmissionskoeffizienten der reinen und der wasserdampfhaltigen Atmosphäre sich ändern ließen. Es mag noch die Frage offen bleiben, ob die in den verschiedenen Messungsperioden gewonnenen Kurven des extraterrestrischen Sonnenspektrums realen Schwankungen entsprechen; wahrscheinlicher ist, daß mit den unbezweifelbaren Änderungen der Solarkonstante etwa verbundene tatsächliche Änderungen der extraterrestrischen Energieverteilung von geringerem Ausmaße sind als im Wechsel der über viele Jahre sich erstreckenden Messungen erhalten wurden. Nachdem die neueren Messungen unter sich zunehmend geringere Abweichungen aufweisen, dürfen wir annehmen, daß sie als Ergebnisse einer verbesserten Apparatur und einer fortgeschrittenen Methodik zu bewerten sind. Lediglich im äußersten IR oberhalb 2500 und besonders im UV unterhalb 320 bleibt eine größere Unsicherheit, die in der Schwierigkeit der experimentellen Messung begründet ist und zu einer Extrapolation nötigt. Fabry und Buisson<sup>19</sup>) wollen den Abfall der Energiekurve im Bereich der äußeren UV Wellenlängen durch die Kurve eines schwarz strahlenden Körpers von 6000 Grad wiedergeben; die von Abbot, Fowle und Alderich<sup>2)</sup> (1920/22) experimentell ermittelte Kurve liegt beträchtlich darunter. Auch bei Berücksichtigung der Absorption in den Fraunhoferschen Linien ist die Diskrepanz nicht vollständig zu beseitigen. Andererseits ist es schwer, die unter sehr ungünstigen atmosphärischen Bedingungen vorgenommenen Messungen Fabrys und die daraus gezogenen Schlüsse für genügend beweiskräftig zu halten, um die abweichenden experimentellen Resultate der amerikanischen Forscher auf Unvollkommenheiten ihrer Apparatur zurückführen zu können. Abbot, der die für die beiden Grenzbezirke anzubringenden Korrekturen seiner früheren Messungen neu bestimmt hat, schlägt im UV einen mittleren Wert jener beiden Energiekurven vor. Das ist natürlich ein Kompromiß, aber solange wir keine unbezweifelbare Kenntnis der äußersten Wellenlängen im extraterrestrischen Spektrum haben, muß die hierin liegende Unsicherheit von weniger als 2% der Solarkonstante in Kauf genommen werden. Auf deren absoluten Wert sind die Abbotschen Korrekturen für die Endbereiche des Spektrums übrigens von geringerem Einfluß, da sie in neueren Korrekturfaktoren der pyrheliometrischen Messungen nahezu ausgeglichen werden. Doch wirken sie sich in der extraterrestrischen Energieverteilung derart aus, daß das Verhältnis des kurzwelligen Bereiches zum langwelligen immer kleiner geworden ist. Hier kommt nun weiter noch hinzu, daß auch die atmosphärischen Durchlässigkeitskoeffizienten der monochromatischen Strahlung in wasserdampfhaltiger Luft Änderungen erfahren haben. Bekanntlich sind von Fowle die Transmissionskoeffizienten feuchter Luft für eine große Zahl von Wellenlängen an verschiedenen Beobachtungsorten unter gleichzeitiger spektroskopischer Be-

stimmung des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes ermittelt und durch Extrapolation auf Wasserdampfgehalt 0 die Transmissionskoeffizienten reiner Luft bestimmt worden. Diesen Werten haftet, zumal im kurzwelligen Gebiet, noch eine gewisse unperiodische Schwankung an, die einerseits durch reelle Durchlässigkeitsvariationen verursacht andererseits in dem Verfahren der Extrapolation begründet ist. Fowle hat die der Messungsperiode 1910 bis 1916 entstammenden Werte mit den aus der Rayleighschen Theorie sich rechnerisch ergebenden molekularen Zerstreuungskoeffizienten verglichen und so große Übereinstimmung gefunden, daß die Abweichung des Gesamtmittels von den theoretischen Werten nicht als systematisch angesehen werden kann. Es wäre daher durchaus vertretbar — wie das z. B. Kimball<sup>46)</sup> getan hat — die theoretischen Werte der Transmissionskoeffizienten für molekulare Zerstreuung den weiteren Betrachtungen als die wahrscheinlich endgültigen zu Grunde zu legen. Indessen müßte dann für die in trockener, wasserdampf- und dunstfreier Luft noch vorhandene Absorption der permanenten Gase noch eine weitere Korrektur angebracht werden. Es erscheint daher hier zweckmäßig, deren Einfluß zusammen mit dem der konstitutiven Bestandteile der Atmosphäre Rechnung zu tragen und, ohne noch offene Fragen der Theorie der atmosphärischen Zerstreuung zu berühren, die experimentell ermittelten Fowleschen Koeffizienten den weiteren Betrachtungen zu Grunde zu legen.

Die neueren Daten über die extraterrestrische Energiekurve und die monochromatische Durchlässigkeit der Erdatmosphäre hat zuerst Kastro<sup>41)</sup> zur Bestimmung der Transmissionskoeffizienten der inhomogenen Gesamtstrahlung in trockener wasserdampffreier Luft benutzt. Er hat das Energiespektrum zunächst als empirische Funktion der Wellenlänge dargestellt und dann durch analytische Integration den Energieinhalt ausgewertet. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden außer den Zerstreuungskoeffizienten trockener Luft auch die wasserdampfhaltiger Luft durch numerische Integrierung bestimmt, wie es in ähnlicher Weise Feußner und Dubois<sup>22)</sup> ebenfalls unternommen haben. Die selektive Absorption des Wasserdampfes wurde dann nach neueren Angaben Fowles gesondert berücksichtigt. Die vielfach, unter anderm von Lindholm<sup>51)</sup> und Angström<sup>8)</sup> angewandte lineare Formel von Fowle  $F = 0,10 + 0,0054 e_0 \cdot m$  kann kein uneingeschränkt gültiger Ausdruck sein, da offenbar für  $e_0 = 0$  auch  $F = 0$  sein muß. Wir haben wie bereits früher den Zusammenhang durch eine empirische Funktion höheren Grades dargestellt. Der Übergang zu den Absorptionskoeffizienten führt zu Zahlenwerten, die in bester Übereinstimmung stehen zu den kürzlich von Kimball neu berechneten. Die Berechnung wurde auch für die Gesamtstrahlung neu vorgenommen, da aus demselben Material auch für Teilbereiche des Spektrums die Koeffizienten zu bestimmen waren. Das gesamte Spektrum wurde hierfür durch das oben genannte 2 mm-Rotglas RG 2 unterteilt. Der Solarkonstante 1,94 gkal. entspricht danach ein extraterrestrischer Rotwert von 1,17 gkal. Um

die hinter dem Filter gemessenen Werte auf ihn beziehen zu können, müssen sie natürlich auf Reflexions- und Absorptionsverluste im Filter korrigiert werden. Es erscheint diese Korrektur der gemessenen Strahlungsintensität viel zweckmäßiger und namentlich in Hinsicht auf die aus der Differenz von Rot- und Gesamtstrahlung zu definierende Grünblau- (Kurz-) Strahlung auch richtiger, als durch Überlagerung der extraterrestrischen Energiekurve mit der Rotfilterdurchlässigkeit einen sozusagen hinter Rotfilter gemessenen charakteristischen Rotwert als fingierten Bezugswert aufzustellen. Die Koeffizienten der atmosphärischen Transmission werden auf diese Weise nicht mit den Eigenschaften des jeweiligen Filters belastet.

In den folgenden Tabellen 4 bis 6 sind die also berechneten Extinktionskoeffizienten der Gesamt-, Rot- und Kurzstrahlung für trockene und wasserdampfhaltige Luft zusammengestellt. Sie sind eine Funktion der Luftmasse; für eine andere Seehöhe müßte dieselbe Integration über die Koeffizienten der spektralen Extinktion gesondert vorgenommen werden. Für kleine Luftmassen und geringe Seehöhe kommt man aber ohne große Abweichung von den wahren Werten mit einer Multiplikation der für Meeresebene gültigen Koeffizienten in das Verhältnis der Barometerstände aus, z. B. resultierte für die Seehöhe von Riezern bis Luftmasse 4 eine maximale Abweichung von 2,5%, eine Unsicherheit, die unter den gegebenen Grundannahmen im Rahmen der Rechengenauigkeit bleibt.

Tabelle 4.

**Extinktionskoeffizienten der Gesamtstrahlung.**

m	1	2	3	4	6
für trockene reine Luft	W = 0 0,099	0,090	0,82	0,077	0,068
für feuchte dunstfreie Luft (H <sub>2</sub> O-Extinktion)	= 1 0,126	115	106	098	088
	= 2 153	140	130	121	110
	= 3 183	168	155	145	134
für feuchte dunstfreie Luft (mit Einbeziehung der selektiven H <sub>2</sub> O-Absorption)	W = 1 0,223	179	158	144	128
	= 2 273	223	199	181	163
	= 3 321	265	237	216	198

Tabelle 5.

**Extinktionskoeffizienten der grünblauen (Kurz-) Strahlung.**

m	1	2	3	4	6
für trockene reine Luft	W = 0 0,233	215	205	197	186
für feuchte dunstfreie Luft (H <sub>2</sub> O-Extinktion)	= 1 0,276	256	245	235	223
	= 2 315	293	277	266	252
	= 3 360	332	315	302	285

Tabelle 6.

**Extinktionskoeffizienten der rot-ultravioletten Strahlung.**

m	1	2	3	4	5
für trockene reine Luft	W = 0 0,021	20	20 <sub>1</sub>	20 <sub>1</sub>	19 <sub>e</sub>
für feuchte dunstfreie Luft (H <sub>2</sub> O-Extinktion)	W = 1 0,038	39	38	37	36
	= 2 59	59	58	56	54
	= 3 82	83	81	79	77
für feuchte dunstfreie Luft (mit Einbeziehung der selektiven H <sub>2</sub> O-Absorption)	W = 1 0,190	136	114	103	086
	= 2 247	186	155	140	122
	= 3 297	228	198	176	158

**b) Der Trübungsfaktor.**

Eine trockene wasserdampf- und dunstfreie Atmosphäre stellt einen Idealfall dar, der nur unter Ausnahmeverhältnissen erreicht wird. Gewöhnlich ist der Strahlungsminderung einer ideal zerstreuen Atmosphäre

eine nach Ort und Zeit variable Trübung überlagert, die den Hauptteil des Strahlungsverlustes bedingt und deren genaue Erfassung erst den atmosphärischen Zustand hinreichend charakterisieren läßt. Linke<sup>54)</sup> hat die Rayleighsche Zerstreung als Bezugsmaß für die optische Trübung gewählt und den Begriff des Trübungsfaktors eingeführt, der durch die Gleichung

$$T = \frac{A_m}{a_m} = \frac{2.3}{a_m \cdot m} \log \frac{J_0}{J_m}$$

definiert ist und dessen Unabhängigkeit vom Sonnenstande auf der Annahme basiert, daß die Strahlungsschwächung einer allein aus Luftmolekülen bestehenden Atmosphäre ( $a_m$ ) in gleicher Weise mit der Wellenlänge sich ändere wie die einer staub- und wasserdampfgefüllten ( $A_m$ ). Diese — übrigens von Linke s. Zt. ausdrücklich als Arbeitshypothese formulierte — Voraussetzung ist nur sehr wenig angenähert erfüllt. Dennoch hat der Trübungsfaktor als bequemes Rechnungsmittel weite Verbreitung gefunden, zumal nachdem jene hypothetische Voraussetzung als selbstverständlich geltend hingenommen wurde und der Trübungsfaktor eine anschauliche Definition fand als „Zahl von reinen und trockenen Atmosphären, welche zusammen die gleiche Extinktion bewirken wie die jeweilige trübe, feuchte Atmosphäre“. Geradezu verhängnisvoll aber wirkte die große Anschaulichkeit bei der von verschiedenen Autoren vorgenommenen Berechnung von Trübungsfaktoren für Höhenstationen und ihre Reduzierung zum Vergleich mit anderen Beobachtungsorten verschiedener Höhenlagen. Ich<sup>33)</sup> habe bereits im Jahre 1925 zahlenmäßig gezeigt, daß der Trübungsfaktor tatsächlich nicht unabhängig vom Sonnenstande sein kann, weil beträchtliche nicht zu vernachlässigende Teile der atmosphärischen Trübung die inhomogene Strahlung nach einer anderen Gesetzmäßigkeit schwächen als die Rayleighsche Zerstreung an den Luftmolekülen. Ich habe weiter darauf hingewiesen, daß die Reduktion der Luftmassen auf 760 mm nicht zu vergleichbaren Größen führt, sondern daß tatsächlich hierbei auf eine variable Einheit Bezug genommen wird, sodaß der Vergleich der Trübungsfaktoren verschiedener Beobachtungsorte untereinander eine weit weniger einfache Bedeutung hat als die des Vergleiches bloßer Zahlengrößen.

Nachdem inzwischen auch von anderer Seite (Dorn<sup>13)</sup>, Süring<sup>69)</sup> Bedenken erhoben worden sind gegen die Ableitung und vor allem den Gebrauch des Trübungsfaktors, hat jüngst Lauscher<sup>50)</sup> sich um eine weitere Klärung des Begriffes des Trübungsfaktors bemüht. Besonders verdienstvoll ist seine Untersuchung durch die Herausarbeitung des Trübungsfaktors als „Affinitätsverhältnis einer Trübungszustandskurve zu der Fundamentalkurve“, d. h. als einer Größe, die zur Seehöhe des jeweiligen Beobachtungsortes in einer unlösbaren Verbindung steht. Es ist demnach

$$T = \frac{2.3}{a_{m,b} \cdot m} \log \frac{J_0}{J_m}$$

wobei die  $a_{m,b}$  Extinktionskoeffizienten reiner wasserdampffreier Luft sind, die für jeden Barometerstand als

Funktion der Luftmasse und der spektralen Energieverteilung der Strahlung auf dem Wege bis zum Beobachtungsort gegeben und durch die Gleichung

$$a_{m,b} = -\frac{1}{m} 2.3 \cdot \log \int_0^\infty \frac{J_0 \lambda}{J_0} e^{-\alpha_\lambda \cdot \frac{b}{760} \cdot m} \cdot d\lambda$$

bestimmt sind.

Linke<sup>55)</sup> hat dagegen eingewandt, daß die Beziehung des Trübungsfaktors auf sogenannte wahre Luftmassen  $m \cdot \frac{b}{760} = m \cdot \beta$ , wobei  $m = \sec z$  und  $b$  der Barometerstand des Beobachtungsortes ist, diese Einschränkung ihrer Vergleichbarkeit beseitigt. Man reduziere damit auf gleiche Anzahl durchstrahlter Moleküle als Extinktionseinheit; lediglich besitze die diese enthaltende Luftsäule (die in Meeresniveau senkrecht über dem Beobachtungsort anstehe) bei einem niedrigeren Barometerstande die Neigung  $z = \arcsin \frac{760}{b}$ . Es ist aber leicht zu zeigen, daß auch in diese Definition der lokale Einfluß der Seehöhe eingeht und einen Vergleich der also errechneten Trübungsfaktoren unmöglich macht.

Nach der Linkeschen Definition des Trübungsfaktors als Verhältnis der Extinktionskoeffizienten trüber Luft zu der einer molekular zerstreuen Atmosphäre ist

$$T = \frac{2.3}{a_{m,\beta}} \log \frac{J_0}{J}$$

Hierin ist  $m = \sec z$  und  $a_{m,\beta}$  der auf die wahre Luftmasse  $m \beta$  bezogene Extinktionskoeffizient der ideal zerstreuen Strahlung; für Meeresniveau ist natürlich  $\beta$  gleich 1.

Schreiben wir, was rechnerisch dasselbe ist,

$$T = \frac{2.3}{a_{m,\beta} \cdot \beta} \log \frac{J_0}{J}$$

so stellt der Zähler den auf Luftmasse  $m$  bezogenen Extinktionskoeffizienten getrübler Luft dar; die Einheit der Luftmasse ist aber hier die senkrecht über dem Beobachtungsort anstehende Luftsäule. Der Nenner  $a_{m,\beta} \cdot \beta$  ist nichts anderes als

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{m \beta} 2.3 \cdot \log \int_0^\infty \frac{J_0 \lambda}{J_0} e^{-\alpha_\lambda \cdot (m \beta)} \cdot d\lambda \cdot \beta \\ & = -\frac{1}{m} 2.3 \cdot \log \int_0^\infty \frac{J_0 \lambda}{J_0} e^{-(\alpha_\lambda \cdot \beta) \cdot m} \cdot d\lambda \end{aligned}$$

der Extinktionskoeffizient reiner wasserdampffreier Luft für das Niveau des Barometerstandes  $b$  bei derselben Schichtdicke  $m$  und der genannten Luftmasseneinheit.

Wenn wir nun den Trübungszustand zweier Orte verschiedenen Barometerstandes aus gleichzeitigen Messungen charakterisieren wollen — solche Gleichzeitigkeit aber ist bei der starken Veränderlichkeit der atmosphärischen Trübung und insbesondere bei ihrer großen Abhängigkeit vom Sonnenstande unumgänglich —, so sind die danach er-

mittelten Trübungsfaktoren nicht zahlenmäßig vergleichbar. Auch unter Verwendung der wahren Luftmassen enthält die Definition des Trübungsfaktors tatsächlich eine variable Bezugseinheit — die jeweils senkrechte Entfernung des Beobachtungsortes von der Grenze der Atmosphäre —, und die „Schwankungen der Trübungsfaktoren an einem bestimmten Beobachtungsort sind durch die Beziehung auf eine diesem eigentümliche Einheit denen eines anderen Beobachtungsortes nicht kommensurabel“. Will man aber an den wahren Luftmassen als die Messung bestimmenden Größen festhalten, so ergibt sich eine nach der Seehöhe variierende zeitliche Verschiebung der zusammengehörenden Trübungsfaktoren, da der der Luftmasse  $m$  in Meeresniveau entsprechenden Sonnenhöhe im Niveau des Barometerstandes  $b$  bei gleichen Luftmassen ein anderer Sonnenstand entspricht. Die Schwierigkeiten des Vergleiches werden damit noch größer, da die zeitlichen Änderungen der atmosphärischen Trübung sehr beträchtlich und gerade nicht bekannt sind.

Feußner und Dubois haben den Versuch gemacht, durch eine rechnerische Erweiterung des Trübungsfaktors ein einheitliches Trübungsmaß zu ermitteln, das die optische Wirkung der trübenden Massen in allen Niveaus vergleichbar wiedergeben soll. Aber auch da ist übersehen worden, daß die Koeffizienten der die molekulare Zerstreuung überlagernden eigentlichen Trübung in verschiedenen Niveaus bzw. bei verschiedenen Luftmassen nicht dieselben bleiben.

Der Begriff des Trübungsfaktors hat sich außerordentlich fruchtbar für die methodische Entwicklung der Strahlungsmessungen erwiesen. Aber erst die deutliche Klarstellung der Grundlagen beseitigt die Unsicherheit der Auffassung und fehlerhafte Anwendung. Seine ursprüngliche Definition gibt ein empirisches Maß für den Trübungszustand eines Beobachtungsortes. Dagegen kann seine Veranschaulichung als Zahl von reinen trockenen Atmosphären usw. nur als eine Regel von angenäherter Gültigkeit angesprochen werden. Vor allem aber darf nicht außer acht gelassen werden, daß die Strahlungsschwächung physikalisch sehr verschiedene Vorgänge umfaßt, die eigener Gesetzmäßigkeit folgen und die daher nicht ohne weiteres zueinander in Beziehung zu setzen sind. Die ursprüngliche Ableitung des Trübungsfaktors hat die selektive  $H_2O$ -Absorption gar nicht berücksichtigt und die Wirkung des Dunstes lediglich nach Analogie der nicht selektiven  $H_2O$ -Extinktion qualitativ in die Rechnung einbezogen. Tatsächlich liegt hier der Grund dafür, daß auch bei gleichbleibender Trübung und einer Änderung der Sonnenhöhe infolge der damit einhergehenden spektralen Verlagerung eine Variation des Trübungsfaktors eintritt, der kein reeller atmosphärischer Vorgang entspricht. Feußner und Dubois haben diesen „virtuellen Gang“ durch Berechnung der Trübungsfaktoren für feuchte (aber dunstfreie!) Luft übersichtlich dargestellt und gleichzeitig gezeigt, daß bei Beschränkung auf den kurzwelligen, von der selektiven  $H_2O$ -Absorption nicht abhängigen Spektralbezirk der virtuelle Gang der Trübungsfaktoren für praktisch vorkommende hinreichend kleine Luftmassen

verschwindet, weil mit genügender Annäherung die Extinktion in wasserdampfhaltiger und trockener Luft demselben Gesetz folgt.

Für dunstfreie Luft wäre danach der Kurzstrahlungs-Trübungsfaktor ein einwandfreies Maß, lokale Trübungsänderung zu verfolgen. Inwieweit es aber erlaubt ist, für die Praxis der Strahlungsmessungen von der Wirkung des Dunstes — zumal auf den kurzwelligen Spektralteil — abzusehen bzw. eine gleiche Wellenlängenabhängigkeit wie für molekular zerstreute Luft anzunehmen, ist höchst fraglich. Verläuft der Vorgang der Strahlungsschwächung durch die atmosphärische Dunsttrübung parallel mit der molekularen Extinktion, sodaß also Änderungen des Trübungsfaktors tatsächlich Trübungsänderungen wiedergeben, oder tritt, weil der physikalische Vorgang anders geartet ist, ein virtueller Gang auf wie bereits unter Einfluß des Wasserdampfgehaltes der Atmosphäre beim Trübungsfaktor der Gesamtstrahlung und der Rotstrahlung, der die praktische Brauchbarkeit wesentlich einschränkt, oder evtl. gar aufhebt? In dem Bestreben, eine anschauliche Deutung des Trübungsmaßes zu finden, darf nicht übersehen werden, daß der Trübungsfaktor eine abgeleitete Größe ist und daß wir die bei der Strahlungsschwächung wirkenden Ursachen in ihrem physikalischen Verhalten erst erfassen, wenn wir auf die Grundgrößen zurückgehen.

### c) Extinktionskoeffizienten der Dunsttrübung (Trübungskoeffizienten).

Die Bedenken gegen die rechnerische Grundlage des Trübungsfaktors, der den Betrag der optischen Trübung als einen Faktor ( $J = J_0 \cdot e^{-\alpha_1 T m}$ ) der molekularen Rayleighschen Zerstreuung erscheinen läßt, haben den Verfasser veranlaßt, an seiner Stelle die über die molekulare Zerstreuung hinausgehende atmosphärische Trübung durch einen additiven Ausdruck ( $J = J_0 \cdot e^{-\alpha_1 m - \alpha_2 m - \alpha_3 m \dots}$ ) wiederzugeben. Wir haben früher aus damals in Riezlern und an der Nordseeküste erhaltenem Beobachtungsmaterial Extinktionskoeffizienten der inhomogenen Gesamtstrahlung als empirische Mittelwerte berechnet. Zur Erfassung des Strahlungsverlustes in der Atmosphäre und ihren Beimengungen haben wir diese komplexen Größen in Teilkoeffizienten zerlegt, indem wir den berechenbaren Anteil der Rayleigh-Extinktion und der Wasserdampfextinktion bzw. selektiven Absorption abtrennten und den verbleibenden Rest der Dunst-Absorption zuschrieben. In gleicher Weise den Einfluß der Dunsttrübung gesondert von den übrigen Wirkungen der Atmosphäre zu erfassen, hat später Lindholm<sup>51)</sup> an dem reichen Davoser Beobachtungsmaterial unternommen. Dabei hat sich die Berechnung des prozentualen Strahlungsverlustes aus den ermittelten Extinktionskoeffizienten als sehr anschaulich für die übersichtliche Darstellung der Verhältnisse erwiesen. In einer neueren Arbeit<sup>52)</sup> wendet Lindholm das Verfahren auf engere Spektralbereiche des sichtbaren und kurzwelligen Lichtes an, was den Vorteil mit sich bringt, von unsicheren Annahmen über die selektive  $H_2O$ -Ab-

Tabelle 7.

## a) Extinktionskoeffizienten der Luft- und Wasserdampfzerstreuung für die Gesamtstrahlung.

m =	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0
Januar					0,101	095	087	080
Februar				109	104	098	089	083
März			114	110	106	101	097	086
April		128	121	116	111	106	098	092
Mai	140	136	128	123	117	111	101	095
Juni	153	148	138	133	126	120	111	105
Juli	158	152	142	137	130	123	114	108
August		152	142	137	131	124	115	109
September			139	133	127	119	111	105
Oktober				122	117	110	101	095
November					111	104	95	89
Dezember						99	90	84

b) Absorptionskoeffizienten der selektiven H<sub>2</sub>O-Absorption für die Gesamtstrahlung.

m =	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0
Januar					0,053	045	041	039
Februar					063	055	047	041
März				072	064	056	048	042
April		094	076	068	060	052	048	046
Mai	110	099	081	074	067	059	054	051
Juni	119	107	088	081	073	063	058	055
Juli	121	109	090	082	074	065	060	057
August		109	090	083	075	066	061	058
September			088	080	072	064	059	055
Oktober				073	065	057	052	049
November					060	052	048	045
Dezember						047	043	041

## c) Dunsttrübungskoeffizienten der Gesamtstrahlung.

m =	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0
Januar					0,114	100	104	086
Februar				054	078	076	049	027
März				095	086	080	073	053
April		153	138	124	125	101	075	050
Mai	145	131	151	156	152	133	100	069
Juni	118	113	134	131	146	137	098	069
Juli	101	113	130	125	133	124	101	081
August		109	137	134	132	108	090	081
September			087	096	102	088	073	068
Oktober				072	081	082	068	074
November					105	122	125	111
Dezember						119	118	101

Tabelle 8.

## a) Extinktionskoeffizienten der Luft- und Wasserdampfzerstreuung für die grünblaue (Kurz)-Strahlung.

m =	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0
Januar					0,242	232	220
Februar				250	245	235	223
März			258	252	247	238	226
April		277	268	262	257	247	235
Mai	295	290	280	274	270	258	246
Juni	315	310	300	292	285	273	260
Juli	324	318	306	297	291	280	269
August		319	307	298	292	281	270
September		307	298	290	283	271	258
Oktober				271	265	256	244
November					256	246	235
Dezember						239	228

## b) Dunsttrübungskoeffizienten für die grünblaue (Kurz)-Strahlung.

m =	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	
Januar					0,204	166	140	
Februar					120	161	172	098
März				176	179	155	131	111
April		235	166	102	088	077	098	
Mai	242	202	161	161	143	119	065	
Juni	229	198	176	176	189	156	091	
Juli	186	131	101	080	087	099	060	
August		148	180	159	117	052	020	
September		116	125	113	097	045	056	
Oktober				129	116	108	087	
November					137	133	146	
Dezember						135	177	

Tabelle 9.

## a) Koeffizienten der Extinktion und selektiven Absorption wasserdampfhaltiger Luft für rot-ultrarote Strahlung.

m =	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0
Januar					0,106	097	081
Februar				124	112	105	090
März			140	129	117	108	092
April		181	149	138	126	117	101
Mai	215	200	171	157	142	133	114
Juni	238	222	192	176	161	147	131
Juli	247	231	199	183	167	153	140
August		232	200	184	168	154	141
September			194	178	162	147	129
Oktober				156	140	129	111
November					128	118	100
Dezember						107	090

## b) Dunsttrübungskoeffizienten der rot-ultraroten Strahlung.

m =	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	
Januar					0,082	0,089	0,099	
Februar					032	047	042	038
März				071	049	049	042	039
April		117	131	139	136	107	072	
Mai	098	112	149	152	152	131	109	
Juni	063	067	107	107	120	120	097	
Juli	073	099	123	143	146	134	107	
August		082	112	115	130	123	108	
September			058	079	095	106	097	
Oktober				043	064	066	064	
November					088	094	121	
Dezember						104	105	

sorption frei zu sein. Die Koeffizienten der Dunstabsorption (bezw. Extinktion) nennt Lindholm (offenbar in Analogie zu dem in französischen Arbeiten gebrauchten Begriff der *Densité optique*) „optische Trübungsdichte“. Sie unterscheiden sich von unserem Dunstabsorptionskoeffizienten durch den Modul des natürlichen Logarithmensystems. Aus dem Vergleich verschiedener Spektralbereiche erhält Lindholm bereits das wichtige Resultat, daß sie mit kleiner werdender Wellenlänge langsam zunehmen. Neuerdings hat nun Angström<sup>3)</sup> die Wellenlängenabhängigkeit der Dunstkoeffizienten, in die er den Einfluß der im ganzen Spektrum wirkenden H<sub>2</sub>O-Extinktion mit einbezieht, an spektralen Strahlungsmessungen eingehender untersucht und hierfür aus seinem Beobachtungsmaterial eine Proportionalität mit  $\lambda^{-1.3}$  bestimmt. Es handelt sich bei diesem Exponenten, der die Größe der Spektralabhängigkeit angibt, offenbar um einen Mittelwert; für Rayleighsche Zerstreung an sehr kleinen Teilchen würde er 4 betragen, für sehr große zu 0 werden. Kann er für mittlere Verhältnisse als konstant angesehen werden, so ergibt sich die Möglichkeit, eine von der Wellenlänge unabhängige Größe  $B = \frac{d}{\lambda - 1.3}$  als „Trübungskoeffizienten“ zu definieren. Damit wäre auch für komplexe Strahlung ein vom wechselnden Sonnenstande nicht beeinflusstes Trübungsmaß gewonnen, im anderen Falle wäre auch hier mit einem virtuellen Gang zu rechnen. Wie weit die genannte Voraussetzung sich bewährt, insbesondere wie groß die für den Einzelfall sich ergebenden Abweichungen vom Mittelwert sind, das müßte (an einem umfangreichen Beobachtungsmaterial) noch geprüft werden.

Aus den oben mitgeteilten monatlichen Strahlungsmittelwerten sind die komplexen Koeffizienten der inhomogenen Gesamtstrahlung, sowie der Rot- und Kurzstrahlung berechnet. Von den zusammengesetzten Extinktionskoeffizienten wurden die berechenbaren Anteile der Luft und der Wasserdampfzerstreuung resp. der selektiven Absorption abgetrennt, sodaß die nachfolgend (Tab. 7—9) für verschiedene Luftmassen monatlich tabellierten Koeffizienten resultieren.

Die Extinktionskoeffizienten des Wasserdampfes und die Koeffizienten der selektiven H<sub>2</sub>O-Absorption weisen natürlich den durch den Dampfdruck aufgeprägten jährlichen Gang auf mit einem Minimum im Januar und einem Maximum im August. Der Einfluß der selektiven Absorption tritt dabei absolut stärker hervor als der der Extinktion. Doch ist er gleichmäßiger und die Schwankungen der Absorptionskoeffizienten sind kleiner. Die durch eine Vermehrung der Luftfeuchtigkeit hervorgerufene Steigerung der Absorption bleibt weit hinter der der Wasserdampfextinktion zurück.

Der klaren Abhängigkeit der Wasserdampfkoeffizienten vom Dampfdruck steht im Gang der Dunstkoeffizienten eine andere nicht minder deutliche Gesetzmäßigkeit gegenüber. Bei allen Sonnenhöhen steigen die Werte der Dunstabsorption zu einem Frühjahrsmaximum im Mai

Jährlicher Verlauf des prozentualen Strahlungsverlustes durch Dunsttrübung.

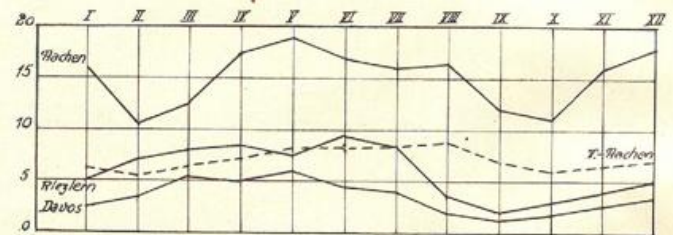


Fig. 4.

an, um dann stetig zu dem niedrigsten Wert im Spätherbst abzusinken; ein zweites sekundäres Maximum erreicht die Dunstabsorption bei den nur im Winter vorhandenen niedrigen Sonnenhöhen im Dezember. Damit geht ein täglicher Gang einher, der aus der Trennung der Vor- und Nachmittagswerte erst zu erkennen ist: Die Dunsttrübung wächst kontinuierlich bis zu den frühen Nachmittagsstunden an, um dann wieder abzunehmen. (Vergl. den folgenden Abschnitt sowie Tabelle 3, Zeitschrift für Geophysik, Jahrgang 1 p. 256); bei der Zusammenfassung der Halbtagsstrahlungskurven fällt dann das Maximum der Dunsttrübungskoeffizienten auf mitt-

Anm. Den jeweiligen einzelnen Anteilen der Strahlungsschwächung durch die Atmosphäre entspricht ein gewisser Strahlungsverlust, der für die Gesamtstrahlung in Prozenten der extraterrestrischen Energie in den folgenden Tabellen wiedergegeben ist:

**Verlustprozente der Sonnenstrahlung bei verschiedenen Luftmassen.**

	a) durch Extinktion in reiner, feuchter Luft.								b) durch selektive H <sub>2</sub> O-Absorption.								c) durch Dunst.								
	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	1,25	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0	8,0	
Januar					26,2	31,8	40,2	47,3					10,8	11,2	13,0	14,1						19,2	21,7	18,9	18,3
Februar				23,3	26,8	32,4	41,6	48,5				11,0	11,1	11,6	13,3	14,6				8,2	13,0	14,7	11,5	7,1	
März			20,4	24,2	27,2	33,3	42,4	49,0			10,6	10,8	11,2	11,7	13,4	14,5			11,9	12,4	13,1	13,9	12,0	8,6	
April		17,5	21,6	25,2	28,4	34,6	43,8	52,2		10,9	11,0	11,6	11,8	12,3	14,1	14,8		14,7	16,3	11,6	18,7	17,7	15,3	10,9	
Mai	16,1	18,5	22,6	26,5	29,6	35,9	45,4	51,8	10,8	11,2	11,6	12,4	12,9	13,4	15,1	15,6	11,6	12,2	17,2	19,7	21,1	20,9	17,8	18,4	
Juni	17,4	20,0	24,1	28,3	31,4	38,3	48,6	56,8	11,4	11,8	12,5	13,1	13,5	13,6	15,1	15,6	9,7	10,7	14,9	16,3	19,9	20,3	16,1	12,5	
Juli	18,0	20,5	24,8	29,1	32,4	38,9	49,6	57,9	11,5	12,2	12,4	13,3	13,5	13,9	15,3	15,4	8,4	10,5	14,4	15,5	17,7	18,4	16,0	12,9	
August		20,3	24,7	29,0	32,5	38,2	49,8	58,2		12,1	12,4	13,3	13,6	13,9	15,4	15,5		10,2	15,1	16,4	17,6	16,6	14,5	18,0	
September			24,3	28,3	31,7	37,8	48,6	56,8		12,3	13,0	13,2	14,0	15,1	15,3		10,1	12,5	14,5	14,3	12,8	11,7			
Oktober				26,1	29,6	35,6	45,4	53,2			12,3	12,5	13,2	14,6	15,2			10,2	12,5	14,3	13,4	14,1			
November					28,3	34,1	43,7	50,9					11,8	12,4	14,6	14,8						16,2	20,6	21,8	30,2
Dezember						32,8	41,8	49,1						11,5	13,2	14,2							21,1	20,8	28,7

lere Luftmassen. In einzelnen Monaten im Herbst und Winter liegen die größten Werte der Dunsttrübung bei großen Luftmassen, sodaß es zu einer direkten Umkehrung des Tagesganges kommt. Dieser auffallende, dem der  $H_2O$ -Koeffizienten ganz entgegengesetzte Gang der Dunstkoeffizienten gibt Aufschluß über diesen Teil der atmosphärischen Strahlungsschwächung der in seinen lokalen und zeitlichen Variationen am stärksten veränderlich ist. Es handelt sich bei der Dunstabsorption offenbar um verschiedene Wirkungen, die je nach der Jahreszeit vorherrschen. Während im Herbst und Winter in den dem Boden aufliegenden gelegentlich okular sichtbaren Dunstschichten starke Absorption stattfindet und mit steigender Sonne durch Beseitigung dieser Schichten sogar Aufklaren eintritt, ist die überaus starke vorsommerliche Dunstabsorption nicht sowohl durch absorbierende Fremdkörper, eigentlichen Dunst verursacht, als vielmehr die Wirkung der Vorgänge, die durch verstärkte Turbulenz, durch höher hinaufreichende Konvektion, Schichten- und Schlierenbildung die Atmosphäre weniger optisch durchlässig machen.

Daß die konvektiven Vorgänge bei der Dunstabsorption die größte Rolle spielen, zeigt auch das Verhalten der beiden Spektralteile. Die Dunstkoeffizienten der Kurzstrahlung nehmen mit kleinen Luftmassen, also mit steigender Sonne ganz beträchtlich zu, viel stärker als die der Gesamtstrahlung. In den Monaten stärkster Zunahme der Sonnenstrahlung fällt die mittägliche Trübungszunahme am meisten auf. Die ultrarote Strahlung ist dagegen durch eine weit geringere Schwankung der Trübungskoeffizienten im Laufe des Tages gekennzeichnet. Diese dämpft offenbar stark den gleichsinnigen täglichen Gang der Gesamtstrahlung, die auch im Jahresgang der Rotstrahlung annähernd parallel verläuft; auch ist das Maximum der Rottrübung nicht so scharf ausgeprägt, die Juliwerte stehen noch auf gleicher Höhe. Die Kurzstrahlung zeigt die absolut stärkste Trübung bei höchststehender Sonne, und zwar ein scharfes Maximum im Mai und Juni. Vergleichen wir die Werte bei niedrigen Sonnenständen im Jahresverlauf untereinander, so ergibt sich ein ausgesprochener Höchstwert im Winter, ein tiefster im August. Die Auflockerung der Atmosphäre im Jahresverlauf spiegelt sich hier besonders deutlich wieder.

#### d) Unperiodische Aenderungen der atmosphärischen Durchlässigkeit.

Bei der Zusammenfassung von Halbtagsreihen zu monatlichen Mitteln werden die Eigentümlichkeiten des täglichen Ganges ebenso unterdrückt wie die besondere Abhängigkeit der Strahlungsverhältnisse von der jeweiligen Wetterlage. Im allgemeinen folgt natürlich im Laufe des Tages die Strahlung der Sonnenhöhe, aber während im Winter und Frühjahr bei ungestörten Verhältnissen die Sonnenstrahlung ihr Maximum um Mittag erreicht und beiderseits die Strahlungskurve symmetrisch ansteigt, ist diese Symmetrie im Herbst und Sommer selten, häufig fällt sogar der Höchstwert nicht mit dem höchsten

Sonnenstande zusammen, und zwar liegt er im Sommer meist vor, im Herbst dagegen nach Mittag. Dieses gegensätzliche Verhalten ist natürlich eine Folge der jährlichen Schwankung der Konvektion. Die starke sommerliche Einstrahlung führt zu einer beträchtlichen Durchmischung der unteren Schichten, wobei die Staub- und Dunsttrübung bedeutend vergrößert wird. Der tägliche Gang wird daher nur bis zu einer gewissen Sonnenhöhe einigermaßen störungsfrei gefunden, dann bedingt die mit der stärkeren Insolation einsetzende aufsteigende Konvektionsströmung häufige und stark wechselnde Unregelmäßigkeiten; erst gegen Abend, nach Beruhigung des vertikalen Luftaustauschs ergeben die Messungen wieder einwandfreie Werte. Im Herbst dagegen werden die unteren Schichten durch überwiegende Ausstrahlung allmählich stabiler, es lagert sich an Kondensationskernen in ihnen Feuchtigkeit an, die erst mit dem Steigen der Sonne verdunstet, aber bei fortschreitender Jahreszeit die Vormittagswerte mehr und mehr beeinträchtigt.

Die Unsymmetrie des Tagesganges und die im Laufe des Jahres wechselnde Beeinträchtigung der Vor- bzw. Nachmittagswerte der Sonnenstrahlung ist eine auch aus anderen Beobachtungsreihen (D a v o s, P o t s d a m, R i e z l e r n, F r e i b u r g) bekannte Erscheinung. Aus der Berücksichtigung des prozentualen Rotgehaltes zog der Verfasser bereits früher<sup>32)</sup> den Schluß, daß die konstitutiven Bestandteile der Atmosphäre, insbesondere eine Vermehrung des Gesamtwasserdampfgehaltes der unteren Schichten hierfür keinesfalls verantwortlich zu machen seien. Es zeigte sich nämlich vor allem im Sommer, daß mit der Herabsetzung der Gesamtintensität am Nachmittag eine weniger starke Abschwächung der Rotstrahlung verbunden war, sodaß eine Erhöhung des relativen Rotgehaltes resultierte. Sie muß vielmehr verursacht sein durch Teilchen, die groß sind gegen die Wellenlänge. Nach den Ergebnissen B o u t a r i c s<sup>6)</sup> kann nämlich eine Zunahme lichtzerstreuender Teilchen, die klein sind gegen die Wellenlänge der einfallenden Strahlung, wohl deren Intensität schwächen, aber niemals die Polarisationsgröße, das können nur größere Teilchen. Es hat aber J e n s e n<sup>40)</sup> schon vor vielen Jahren gezeigt, daß die Polarisationsgröße einen stark ausgeprägten und mit der atmosphärischen Durchlässigkeit ganz parallel gehenden Tagesgang besitzt mit einem Minimum etwa 2 Stunden nach Mittag. G o c k e l<sup>24)</sup>, der ebenfalls die Erhöhung des relativen Rotgehaltes bei durch atmosphärische Trübung herabgesetzter Sonnenstrahlung beobachtete, hat darauf aufmerksam gemacht, daß das Rotfilter neben der kurzwelligen Strahlung auch die äußerste ultrarote abschneidet und daß auch dadurch eine relative Zunahme der Rotstrahlung gegenüber der Gesamtstrahlung erklärt werden kann, weil flüssiges Wasser das Ultrarot stärker absorbiert als das sichtbare. Tatsächlich ist allgemein bei cirrösem Himmel — es ist bekannt, daß selbst bei — 20 Grad Wolken noch unterkühltes Wasser enthalten können — der Rotgehalt erhöht, und in Übereinstimmung hiermit steht die Tatsache, daß mit den mittäglich aufsteigenden Konvektionsströmungen in der Nähe der Sonne, besonders leicht durch ein Rot- oder

Blauglas, häufig Kondensationserscheinungen zu beobachten sind, Dunstschwaden ohne scharfe Konturen, die deutlich (Tyndall-Phänomen) als Zwischenstadien beginnender bzw. sich auflösender Kondensation anzusehen sind.

Die Gesamtheit der Vorgänge, die in einer immerhin nur geringfügigen und von anderen Erscheinungen häufig überdeckten Unregelmäßigkeit des relativen Rotwertes bereits zu erkennen waren, wird nun von den Dunsttrübungskoeffizienten genauer erfaßt und drückt sich wie im jährlichen Verlauf so im Tagesgang und in ihren unperiodischen Schwankungen deutlich aus.

Für den täglichen Strahlungsgang einer stabilen sommerlichen Wetterlage charakteristisch sind die Messungen etwa vom 20. oder 21. Mai oder 14. Juli, bei denen die Dunsttrübungskoeffizienten im Laufe des Vormittags kontinuierlich über Mittag bis zu einem Höchstwert am frühen Nachmittag ansteigen, um dann zunächst langsam, später schneller bis zu Werten herabzugehen, die wenig über dem Morgenwert in gleicher Sonnenhöhe liegen.

Den herbstlichen umgekehrten Gang mit seinem mit-täglichen Aufklaren zeigt dagegen der 14. Oktober; hier fällt das Minimum der Dunsttrübung auf den frühen Nachmittag, von da nimmt sie schnell wieder bis zu den morgendlichen hohen Werten zu.

Der eben beschriebene tägliche Gang der Strahlungsintensität bzw. der Trübungskoeffizienten tritt nun nicht an allen Tagen unterschiedslos rein in Erscheinung, ihm sind die unperiodischen Änderungen überlagert, die im engeren Zusammenhang mit den Witterungserscheinungen das Strahlungsniveau in seiner Gesamtheit systematisch verschieben. Man hat sich öfter bemüht, die Größe der

Strahlungsintensität in einen funktionellen Zusammenhang zu systematischen Änderungen der meteorologischen Elemente zu bringen, aber wie im jährlichen Gang verschiedene Einflüsse sich überdecken und eine eindeutige Abhängigkeit nicht ohne weiteres zutage treten lassen, so ist auch bei den unperiodischen Änderungen eine unmittelbare eindeutige Abhängigkeit der Strahlungsintensität etwa vom Dampfdruck oder der relativen Feuchtigkeit nicht zu ermitteln. Soweit der Bodendampfdruck ein Maß ist für die in der Atmosphäre tatsächlich enthaltenen Wasserdampfmen-gen — und das ist er bekanntlich nur im Mittel über lange Zeiträume, wie auch im Jahresverlauf etwa —, besteht natürlich eine Beziehung zwischen Strahlungsintensität und Dampfdruck; aber im Einzelfall ist die Hann-Süringsche Formel, die vom Bodendampfdruck auf den Gesamtwasserdampfgehalt der von der Strahlung durchsetzten Luft schließen läßt, nicht anzuwenden, und daher versagt hier wie zu erwarten die Anwendung einer aus Mittelwerten abgeleiteten Beziehung wie z. B. die von Milch<sup>61)</sup> für den Zusammenhang zwischen Trübungs-faktor und Dampfdruck. Aus demselben Grunde bleibt auch die Abtrennung des dem Wasserdampfgehalt entsprechenden Anteils im Extinktionskoeffizienten für den Einzelfall problematisch. Der Einsatz einer feuchten Höhenströmung z. B., der in den am Boden gemessenen Werten des Dampfdruckes nicht nachweisbar ist, erhöht natürlich auch den auf den Wasserdampf zurückgehenden Teilbetrag der Strahlungsminderung. Aber die Verhältnisse sind offenbar nicht allein durch den absoluten Wasserdampfgehalt bestimmt, sondern werden im ungleich höheren Maße von den mit der jeweiligen Wetterlage in Verbindung stehenden vertikalen Luftbewegungen beeinflusst. Nicht so sehr hinsichtlich ihres Wasserdampfgehaltes unterscheiden sich für ihre Strahlungsdurchlässigkeit die verschiedenen Luftkörper als vielmehr durch ihren verschiedenen vertikalen Aufbau und die Intensität der auf- bzw. absteigenden Luftströmung.

Die obengenannte *sommerliche Wetterlage vom 20. Mai 1929* war in der Existenz eines *kontinental-polaren Kaltluftkörpers* einheitlicher Struktur begründet. Vom weißen Meer über die baltischen Länder und die Ostsee waren in den Vortagen kalte Luftmassen arktischen Ursprungs in die deutschen Küstengebiete vorgestoßen und bis an den Nordabhang der Alpen ausgeflossen. Am Südrande einer ostwestlichen über Mitteleuropa sich erstreckenden Hochdruckbrücke herrschte am 20. bei schwacher nordöstlicher Luftströmung absinkende Bewegung mit sehr geringer relativer Feuchtigkeit, guter Sicht (über 20 km) und tiefblauem Himmel (Linke-Skala VIII). Die um Mittag besonders niedrigen prozentualen Rotwerte bei sehr hohen Absolutwerten auch der Gesamtstrahlung deuten auf relativ schwache Absorption in den Wasserdampf-banden des roten Spektralbereichs; tatsächlich ist die grünblaue Kurzstrahlung übernormal und die Dunsttrübungs-koeffizienten dieses Spektralbezirks liegen unter dem Durchschnitt. Auffallend ist ihre starke Verminderung bei kleineren Luftmassen. Das gleiche Verhalten zeigt die Kurzstrahlung meistens in absinkender, noch nicht geal-

Tabelle 10.

**Dunsttrübungskoeffizienten in Abhängigkeit von der Wetterlage. (0, ...)**

a) Gesamtstrahlung.

	5	4	3	2,5	2,0	1,5	1,5	2,0	2,5	3	4	5
20. 5.	-007	000	007	026	035	076	071	055	046	019	021	
21. 5.	135	153	187	225	272	309	284	266	224	194	166	
14. 7.	048	075	096	104	115	105	137	082	083	104	110	086
21. 7.	166	179	210	215	224	259	220	224	193	173	169	171
14. 10.	102	079	077	079	073			064	057	067	094	093
2. 2.	044	036	011	-007					005	028	048	066
21. 2.	197	231	226	197					210	181	155	120
20. 3.	141	144	135	150				116	171	102		

b) Kurzstrahlung.

20. 5.	234	217	216	225	149	137	166	239	236	273		
21. 5.	245	246	267	336	394	407	359	361	343	286		
14. 7.	263	246	210	131	074	122	102	081	096	122		
21. 7.	294	279	267	241	286	311	271	294	319	294		
14. 10.	188	172	183	174			144	174	171	212		
2. 2.	042	050	015	020				020	006	007	022	
21. 2.	371	380	352					402	406	300	266	
20. 3.	205	214	236	268				279	247	152		

terter Luft polaren Ursprungs. Die Erklärung muß gesucht werden in der ungewöhnlichen Kernarmut frischer Polarluft, die daher für kurzweilige Strahlung besonders durchlässig ist, während die übrigen Spektralbereiche eine relativ stärkere Schwächung erfahren, die durch konvektive Vorgänge bei großen Sonnenständen noch erhöht wird.

Mit dem Abbau des hohen Druckes durch wärmere Luftströmungen im Norden schrumpfte die Hochdruckbrücke zusammen. Die Luftbewegung nimmt ab, gleichzeitig vermindert sich die Sicht auf durchschnittlich 10 km, die relative Feuchtigkeit nimmt etwas zu. Über dem Beobachtungsorte liegt am 21. noch der gleiche Luftkörper, wenn auch oberhalb 2500 m die Winde bereits auf die im Norden vorbeiziehende Störung ansprechen, so ist bis zur Höhe des Hamburger Aufstieges keine Diskontinuität erkennbar. Jedoch die Strahlung ist sehr gemindert. Die eingetretene Änderung im Verlaufe der Strahlungskurve zeigt deutlich, in welcher Weise die Entwicklung der Wetterlage sich auswirkte. Der Gang der Dunstrückungskoeffizienten der Gesamtstrahlung ist derselbe wie am Vortage, aber sie sind bedeutend größer. Die Kurve ist als Ganzes in ein höheres Niveau gerückt. Auch die vom Wasserdampf freien Dunstrückungskoeffizienten der Kurzstrahlung zeigen den gleichen Gang einer kontinuierlichen Zunahme bis zu einem Maximum am frühen Nachmittag; daß sie höher liegen als jene, nimmt nicht wunder, es ist die Folge der kleineren Wellenlänge. Gleichzeitig geht damit eine Erhöhung des prozentualen Rotgehaltes einher. Keinesfalls ist diese etwa durch stärkere Austrocknung der zusammensinkenden Luftmassen bedingt; da sie bei großen Sonnenhöhen besonders kräftig ist und dann die über den ganzen Tag allgemein zu konstatierende Verstärkung in erheblichem Betrage überlagert, ist erkennbar, daß sie eine Folge der Vorgänge ist, die zu einer besonders starken Schwächung der kurzweiligen Strahlung führt. Es spielen sich hier bei der Veränderung der Strahlungsverhältnisse vom 20. zum 21. Mai offenbar ähnliche Kondensationsvorgänge ab, wie wir sie oben für die Verminderung der atmosphärischen Durchlässigkeit an Sommernachmittagen in Anspruch nahmen. Durch Konvektion in die Höhe geführter Wasserdampf lagert sich an Kondensationskerne und nun in größerer Zahl vorhandene Trübungspartikel an, und durch weitere Vereinigung kleiner zerstreuer Teilchen vermehrt sich allmählich die Trübung. Die enge Beziehung zwischen der Farbe des Himmelsblau und dem Alter der Luftmassen bestätigt diesen Schluß, der auch *Milch's* obengenannten Überlegungen über den Zusammenhang zwischen Trübungsfaktor und Dampfdruck eine Grundlage gibt. *Milch* war genötigt, zur Ableitung seiner Beziehung zwischen Sommer und Winter zu trennen, wobei sich für den Sommer eine um 33% weniger steile Abhängigkeit der Trübung vom Wasserdampfgehalt ergab als im Jahresdurchschnitt. Ein beträchtlicher Bruchteil dieser Abhängigkeit ist eben nicht auf Veränderungen des Wasserdampfgehaltes, sondern auf Veränderungen im Dunst zurückzuführen.

Das gleiche Bild ansteigender Trübung der Atmo-

sphäre zeigt eine ähnliche *Wetterlage im Juli 1929*. Allerdings war hier kein typischer Polarlufteinbruch dem ersten Tage der Strahlungsperiode vorhergegangen.

Der am 14. über Großbritannien und der Nordsee lagernde Kern hohen Druckes war langsam von Westen her auf den Kontinent übergetreten; in der nordwestlichen Strömung der Vorderseite dieses Hochdruckgebietes wurden *kühle maritime Luftmassen* weit nach Mitteleuropa hineingetragen. Ihre Durchlässigkeit ist erheblich geringer als die frischer polarer Luft. Im Einklang mit einer relativen Feuchtigkeit von über 80% und anfänglich kleiner Horizontalsicht (4 km) aber tiefblauem Himmel (Linke-Skala IX) steht, daß die Dunstabsorption der kurzen Wellenlängen sogar beträchtlich über der Norm liegt und erst zu dieser heruntergeht, nachdem auch die Sicht besser geworden war. Gleichzeitig sinkt auch der prozentuale Rotgehalt schnell zu einem über Mittag beibehaltenen Tiefstwert herab. Es ist die Auflösung von Kondensationsprodukten der untersten Luftschichten, die sich hier äußert. Sie überdeckt im kurzweiligen vollständig den normalen Gang; auch die langweilige Strahlung wird von ihr beeinflusst, derart, daß durch die erhöhten Morgenwerte der Dunstrückung der Anstieg zum Maximum der täglichen Konvektion etwas abgeflacht wird; aber auch am Nachmittage halten sich ihre Werte auf ziemlicher Höhe. Die Tagesamplitude ist von derselben Größe wie am 20. Mai; während sie aber damals reine Wirkung der Konvektion war, spielen hier die Vorgänge bodennaher Schichten stärker mit, ohne welche eine größere Amplitude als an jenem Tage zu erwarten gewesen wäre. Zwar kaum so gesteigert, wie am 21. Mai, an dem die größere Trübungsschwankung offenbar erst möglich wird durch eine beträchtlichere Erhöhung des gesamten Trübungsniveaus. Der Vergleich beider Tage läßt nun auch erkennen, daß der vielleicht naheliegende Schluß: Die Erhöhung des allgemeinen Trübungsniveaus im Juli gegenüber dem im Mai sei entsprechend der Herkunft der Luftmassen auf eine stärkere Zunahme des Wasserdampfgehaltes zurückzuführen als hier bei Zugrundelegung mittlerer Dampfdruckverhältnisse angenommen wurde, nicht ohne weiteres gezogen werden muß. Die Größe des von einer Steigerung des H<sub>2</sub>O-Gehaltes herrührenden Einflusses in den Koeffizienten der selektiven Absorption der Gesamtstrahlung ist nur gering. Sie beträgt für mittlere Verhältnisse zwischen Mai und Juli nur 0,006 bis 0,012. Jedenfalls bleibt sie weit zurück hinter den tatsächlich beobachteten Änderungen der Dunstrückungskoeffizienten, auch wenn der Einfluß der nicht-selektiven H<sub>2</sub>O-Extinktion, der im Sommer bei der Gesamtstrahlung von der gleichen Größenordnung ist wie die eben genannte selektive Absorptionswirkung, mit 0,010—0,018 hinzugenommen wird. Wenn der hier in Betracht kommende Betrag von 0,050—0,060 auf diese Weise erklärt werden soll, ergäbe sich eine doppelt so große Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfgehaltes wie im Mittel von Mai bis Juli. Sie wäre an sich nicht unmöglich — zwar bei anderen Luftmassen —, aber hier spricht die spektrale Zerlegung unmittelbar dagegen.

Denn in diesem Falle müßten natürlich auch die Dunsttrübungskoeffizienten der Kurzstrahlung, die zwar von selektiver H<sub>2</sub>O-Absorption unberührt ist aber sehr stark von der nichtselektiven H<sub>2</sub>O-Extinktion abhängt, eine entsprechende Steigerung um 0,040 bis 0,058 erfahren. Davon ist keine Rede, vielmehr liegen sie im Gegensatz zu den erhöhten Trübungskoeffizienten der Gesamtstrahlung noch unter den entsprechenden vom 20. 5.

Zu den folgenden Tagen nimmt bei sich abschwächender Hochdrucklage die atmosphärische Trübung in ähnlicher Weise wie im Mai zu. Die maximalen mittäglichen Intensitäten der Gesamtstrahlung betragen am

14.	15.	16.	18.	21.	Mai
1,216	1,164	1,160	1,110	1,097	gkal.

Am 15. und 16. liegt der Beobachtungsort noch im Kern des sehr langsam ostwärts sich verlagernden Drucks. Am 17. morgens ist die erste Front einer atlantischen Störung bis zur englischen Ostküste gekommen. Sie macht sich oberhalb 3500 Meter in der Winddrehung bemerkbar und hat bis zum folgenden Morgen die Nordsee bereits überschritten. Nach dem Durchzug der Okklusionsfront, die nur vorübergehende Bewölkung mit leichten Gewittern brachte, stellt sich am 18. die Hochdruckwetterlage wieder her, die in den beiden folgenden Tagen Mitteleuropa beherrscht und bei heiterem Himmel zu starker Insolation führt, bis am 21. schließlich die Verstärkung eines im Norden vorbeiziehenden Ausläufers mit der Ausbildung von Einbruchsgewittern zur Beendigung der Hochdruckwetterlage führt.

Die mitgeteilten Koeffizienten der Dunsttrübung zeigen die Auswirkung der Wetterlage auf die Strahlungsverhältnisse. Am 18. ist die Wiederherstellung der trockenen Hochdruckwetterlage in der verminderten Trübung zu erkennen. Das stärkere Herabgehen der Trübungskoeffizienten am Abend ist prognostisch fast stets auf Beständigkeit der Wetterlage zu deuten. Von den beiden folgenden Tagen liegen keine Messungen vor, so ist nicht zu sehen, ob auch hier die meistbekundete Beobachtungstatsache sich bestätigt, daß die durch abendliches Nachlassen der Konvektion eintretende Verminderung der Trübung sich weiter durch die Nacht zum Morgen festsetzt. Am 21. liegen die Frühwerte schon wieder etwas höher, Folge des der täglichen Periode überlagerten Trübungsanstieges, der schon durch die in der Höhe einsetzende Zufuhr maritimer Luft bedingt wird.

Wie hierdurch bei unverändert guter Horizontalsicht der Trübungsgehalt der Atmosphäre vergrößert wird, zeigt gut das Beispiel des 20. 3., an dem *maritime Warmluft* von Südwesten her einströmend den Übergang zu *cyklonalem Westwetter* einleitet. Die Trübungskoeffizienten sowohl der Gesamtstrahlung wie der beiden Spektralbereiche sind gegen die Monatsmittelwerte um das Doppelte erhöht, besonders fällt bei den hohen Trübungswerten der relativ niedrige Rotgehalt am Mittag und am Nachmittag auf, möglicherweise eine Folge des größeren H<sub>2</sub>O-Gehaltes. Auch hier ist zu sehen, daß im

Einzelfall eine Wasserdampfzunahme in oberen Atmosphärenschichten durch eine wärmere Höhenströmung anderer Herkunft in ihren Auswirkungen auf die Größe der Strahlungsintensität von den in den Trübungskoeffizienten der Gesamtintensität wiedergegebenen Einflüssen nicht zu trennen ist.

Wie der tägliche Gang der Dunsttrübungskoeffizienten mit seinem Maximum bei hochreichender Konvektion im Frühjahr und im Sommer unter verschiedensten Wetterlagen ausgeprägt bleibt und ferner in der Höhe des Strahlungsniveaus und den mehr oder weniger starken Abweichungen vom gleichmäßigen Anstieg und Abfall der Einfluß wechselnder Luftkörper und ihres Verhaltens offenbar wird, so ist auch der im Spätherbst und Winter umgekehrte Tagesgang charakteristisch und wird durch zusätzliche Einflüsse nicht verdeckt, wohl aber variiert.

Auf der Rückseite eines über Finnland gelegenen Wirbels waren am 13. Oktober 1928 *polare Kaltluftmassen grönländischer Herkunft* in breitem Strome südwärts geflossen, waren am folgenden Tage über Mittel- und Westeuropa zur Ruhe gekommen und brachten mit dem nun einsetzenden Absinken hohe Strahlungsintensität. Die Dunsttrübung der maritim-polaren Luftmassen — höher als der kontinental-polaren Kaltluft vom 20. Mai — entspricht der vom 14. Juli, doch bringt der im winterlichen Gang stärker zum Ausdruck gelangende Einfluß der bodennächsten Luftschichten eine besonders große Herabsetzung der Durchlässigkeit für die Kurzstrahlung. In der hohen Gleichmäßigkeit der Strahlungsschwächung — nahezu unverändert paralleler Gang der Dunsttrübungskoeffizienten im ganzen Spektrum —, spiegelt sich die sehr stabile Schichtung der Atmosphäre, ganz im Gegensatz zu der im Sommer häufigen Beobachtung, daß ganz engbegrenzte zeitliche oder auch örtliche Variationen im Auf- und Absteigen der Luft bereits Diskrepanzen der nicht streng gleichzeitig, sondern hintereinander vorgenommenen Filtermessungen verursachen.

Auch dann, wenn in der Höhe Warmluft eindringt und erhebliche Steigerung der Trübungskoeffizienten besonders auch (siehe oben) der Kurzstrahlung hervorruft, bleibt der tägliche Gang erhalten. So am 21. Februar 1929, da der Beobachtungsort noch im Bereich intensiver Ausstrahlungskälte lag, dagegen *oberhalb 3000 Meter bereits Warmluftmassen* mit erheblicher Erwärmung und starker Feuchtigkeitszunahme herantransportiert wurden, während die festen Höhenstationen lediglich Erwärmung durch Absinken aufweisen. Das Verhalten der untersten, dem Boden aufliegenden Schichten ist eben sehr ausschlaggebend für die Gestaltung der Strahlungsverhältnisse.

Das wird dann besonders deutlich, wenn *lokale Einflüsse, Stau oder Föhn die Eigenheit der Luftmassenherkunft so vollständig modifizieren*, daß sie nicht mehr wiederzuerkennen sind.

In den *ersten Februartagen 1929* bot die Druckverteilung über Europa ein typisch-winterliches Bild: Während die sibirische Anticyklone bis weit nach Westeuropa hinein vorgestoßen und der größte Teil Europas mit kontinen-

talen Kaltluftmassen bedeckt war, wurde auf der Vorderseite einer tiefen isländischen Zyklone subtropische Warmluft über Frankreich und England in kräftigem Strome nordostwärts in Bewegung gesetzt. Über der nur wenige hundert Meter mächtigen Bodenkaltluft hatte ein intensiv absteigender Luftstrom die atmosphärische Durchlässigkeit seit Tagen auf hohen Werten gehalten. Bei der lebhaften Luftbewegung kam in Aachen noch Föhneinfluß hinzu, der bei tiefblauem, wolkenlosem Himmel und einer relativen Feuchtigkeit von weniger als 20% die Bodensicht zu den ungewöhnlichen Werten von über 50 Kilometern ansteigen ließ. Ihnen entsprachen ganz außerordentlich niedrige Werte der Dunsttrübung, die Atmosphäre war praktisch dunstfrei. Da sie, dem hohen Rotgehalt zufolge, auch unter dem jahreszeitlichen Mittel) sehr wasserdampfarm war, wurden die unter Annahme einer mittleren Feuchtigkeit berechneten Werte der Dunstkoeffizienten bei Luftmasse 2 rechnerisch sogar negativ.

Schließlich sollen im Rahmen dieser Betrachtungen noch *Ausnahmeverhältnisse* erwähnt werden, unter denen die atmosphärische Durchlässigkeit in ganz ungewöhnlichem Maße herabgesetzt war. Im Juni 1929 war an allen Beobachtungstagen zuerst ein außerordentlich hoher Rotgehalt aufgefallen, der im Vergleich zu demselben Monat des Vorjahres — und wie sich später herausstellte, auch des folgenden Jahres — um 3,5 bis 4% höher lag. Die Absolutintensitäten fanden sich weit unter dem Durchschnitt liegend und besonders die Kurzstrahlung erwies sich hier gegenüber den Normalwerten um ein Vielfaches geschwächt. Die Größe der Trübung war aus der Wetterlage nicht zu erklären, meist handelte es sich an den in Rede stehenden Strahlungstagen um Zufuhr maritim-polarer Luft, die im Bereich relativ hohen Druckes bereits im Zusammensinken begriffen war. Der Himmel war stets weißlich-blau, Größe V der Linkeschen Blauskala wurde selten überschritten. Es sind auch von anderer Seite Beobachtungen mitgeteilt worden, die auf eine ungewöhnlich verringerte Durchlässigkeit der Atmosphäre im Juni 1929 hinweisen. A. Peppeler<sup>64 a)</sup> hat bereits die Vermutung ausgesprochen, daß es sich um eine stratosphärische Trübung handele. Die Berechnung der Trübungskoeffizienten ergibt nun ganz bedeutend höhere Werte, als nach dem jahreszeitlichen Mittel auch bei Berücksichtigung der Luftmassenherkunft zu erwarten wären. Es seien hier die Dunsttrübungskoeffizienten vom 11. 6. wiedergegeben:

m	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Gesamtstrahlung	0,238	0,193	0,208	0,196	0,206
Rot-Strahlung	0,158	0,130	0,123	0,160	0,170
Grünblau-Strahlung	0,390	0,311	0,300	0,266	0,263
% Rotgehalt	72	73,	74	75,	78
mittl. % Rotgehalt	68,	68,	70,	73	74,

Die Steigerung ist vor allem bei niedrigen Sonnenhöhen sehr stark, während für höhere Sonnenstände die Werte nicht übermäßig vergrößert erscheinen. Da die

kurzwellige Strahlung im Vergleich zu den sonst gemessenen Werten verhältnismäßig sehr viel mehr geschwächt ist als die der anderen Spektralbereiche, andererseits aber die relativ größere Durchlässigkeit der Atmosphäre für die großen Wellenlängen im Hinblick auf deren absolut sehr große Schwächung nicht auf eine verringerte Beteiligung des atmosphärischen Wasserdampfes schließen läßt, bleibt nur die Annahme, daß die Trübung durch fremde Beimengungen der Atmosphäre hervorgerufen ist. Wäre sie in bodennahen Schichten zu suchen, so müßte die Konvektion sich stärker äußern. So aber wird durch das spektral verschiedene Verhalten der Strahlung der Schluß auf den Sitz der Trübung in der oberen Atmosphäre sehr wahrscheinlich gemacht.

### e) Zusammenfassung.

Entscheidend für die Art und Größe der Strahlungsschwächung und damit für die Beurteilung der obigen Ergebnisse ist die Frage der Wellenlängenabhängigkeit der optischen Trübung. Die Dunsttrübungskoeffizienten der kurzwelligen Strahlung sind größer als die der Gesamtstrahlung. Entsprechend der Verlagerung des Intensitätsmaximums bei steigender Sonne nach den kurzen Wellen nimmt der Unterschied mit steigender Sonne zu. Doch verbirgt sich hinter der Gleichmäßigkeit des ausgeglichenen Jahresdurchschnittes ein sehr ausgeprägter systematischer Wechsel für verschiedene Jahreszeiten; abgesehen von den höchsten Sonnenständen liegen die Quotienten  $\frac{d_{\text{kurz}}}{d_{\text{gesamt}}}$  der Dunsttrübungskoeffizienten für Gesamt- und Kurzstrahlung in den Monaten April bis September um ebenso viel unter dem Jahresmittel wie sie in den Monaten Oktober bis März darüber liegen. Die spektrale Abhängigkeit ist offenbar nicht durch eine einfache Gesetzmäßigkeit bestimmt.

Angström<sup>3)</sup> hat wie erwähnt aus den monochromatischen Strahlungsregistrierungen des Smithsonian Instituts für normale atmosphärische Verhältnisse einen Durchschnittswert von  $a = 1,3$  für den Größenexponent der spektralen Abhängigkeit ermittelt. Nach Eliminierung des Wellenlängeneinflusses findet er im Mittel die aus etwa 40 gleichzeitigen Messungen der Kurz- und der Gesamtstrahlung errechneten Trübungskoeffizienten (*turbidity coefficient*  $B = \frac{d}{\lambda^a}$ ) von gleicher Größenordnung. Es ist bereits aus diesem ausgewählten Material zu ersehen, daß in den Einzelwerten eine größere Diskrepanz auftritt, und zwar bemerkenswerterweise derart, daß bei größeren B-Werten die aus der Kurzstrahlung errechneten Werte niedriger liegen. Angström glaubt, daß die gleichbleibende Filterkonstante bei mit der Trübung veränderter Strahlung hierfür verantwortlich sei. Doch ist schwerlich ein so starker Einfluß damit verbunden, vielmehr gibt die Untersuchung der Einzelwerte Auskunft darüber, daß reelle Änderungen der atmosphärischen Durchlässigkeit von der für mittlere Verhältnisse gültigen Berechnungsweise nicht erfaßt werden.

Tabelle II.

**Verhältnis der Angströmschen Trübungskoeffizienten  
für die Kurz- und die Gesamtstrahlung  $\frac{B_r}{B_t}$**

	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	6,0
Januar					1,34	1,23	1,04
Februar				1,62	1,69	1,72	1,40
März			1,40	1,52	1,48	1,53	1,41
April		1,20	0,91	0,75	0,77	0,77	1,01
Mai	1,14	1,08	0,82	0,86	0,86	0,87	0,86
Juni	1,28	1,27	1,02	1,00	1,04	0,96	0,99
Juli	1,19	1,04	0,80	0,75	0,75	0,84	0,77
August		1,15	1,06	0,97	0,82	0,74	0,76
September			1,14	1,04	0,96	0,71	0,89
Oktober				1,34	1,12	1,09	1,04
November					1,07	1,07	0,97
Dezember						1,05	1,09

Wenn wir den Angströmschen Ansatz auf unsere Messungen anwenden, so finden wir, daß ganz systematisch im Jahresverlauf die B-Werte der Kurzstrahlung von Oktober bis März größer, in den Sommermonaten kleiner sind als die der Gesamtstrahlung. Es ist genau derselbe Wechsel mit einem Maximum des Verhältnisses im Februar, einem Minimum im Juli—August, wie wir ihn oben für den Quotienten unserer Dunsttrübungskoeffizienten  $d$  gefunden haben. Auch für Davos und Potsdam wird der gleiche Jahresgang gefunden; nicht unbeachtlich, daß in der reinen Luft des Hochgebirges die Werte sowohl im Frühjahr als im Sommer erheblich höher liegen.

Es ist naheliegend, die für den Sommer aus der Rot- und Gesamtstrahlung errechneten größeren Dunsttrübungskoeffizienten mit der Steigerung des Wasserdampfgehaltes in Verbindung zu bringen. Angström hält überhaupt die von Fowle statuierte Extinktionswirkung des Wasserdampfes für nicht reell und nicht abtrennbar von der optischen Trübung. Doch bleiben auch bei einer Zusammenfassung der  $H_2O$ -Extinktionskoeffizienten und der Dunsttrübungskoeffizienten die hier in Rede stehenden spektralen Beziehungen, insbesondere der systematische tägliche und jährliche Wechsel bestehen. Es scheint auch nicht wahrscheinlich, daß die Abweichungen in einer fehlerhaften Berechnung der selektiven  $H_2O$ -Absorption begründet sind. Zwar tritt eine stärkere Angleichung ein, wenn wir an Stelle der von Angström benutzten bekannten linearen Gleichung zwischen selektiver Absorption und Wasserdampfgehalt die strengere hier verwandte Beziehung benutzen, aber der Unterschied ist nicht so bedeutend. Der Einfluß der selektiven Absorption müßte schon bei der Berechnung der Fowleschen Absorptionsbanden für großen  $H_2O$ -Gehalt systematisch zu niedrig und für geringeren ebenso bedeutend zu hoch angesetzt sein, wenn die Unterschiede auf diese Weise erklärt werden sollen. Dagegen spricht aber vor allem, daß mit steigender Sonne bei gleichbleibendem Wasserdampfgehalt das Verhältnis der B-Werte zunimmt und zuletzt auch im Sommer erheblich über 1 ansteigt. Die hier zum Ausdruck kommen-

den Änderungen im gegenseitigen Verhältnis der Kurz- und Gesamtstrahlungen müssen in tatsächlichen Änderungen der optischen Trübungen ihren Grund haben. Die im Laufe des Jahres und Tages und außerdem mit der Herkunft der Luftmassen wechselnde Konstitution der Atmosphäre bleibt auf den Größenexponent der spektralen Abhängigkeit nicht ohne Einfluß. Mit größerem Wasserdampfgehalt sind die Voraussetzungen für die Bindung von Suspensionen und Kernen zu größeren Aggregaten gegeben, damit muß der Größenexponent abnehmen, und die Folge ist eine weniger schnelle Extinktionszunahme zum kurzwelligen Ende. Auf der anderen Seite verschiebt sich mit steigender Sonne im Laufe des Tages das Intensitätsmaximum der durchgehenden inhomogenen Strahlung nach den kurzen Wellen hin, sodaß die Trübungskoeffizienten für den kurzwelligen Bereich stärker zunehmen als der spektralen Energieverteilung bei niedrigen Sonnenständen entspricht. Schon in ganz eng begrenzten Bereichen der kurzwelligen Strahlung (siehe weiter unten II 2) läßt sich diese Verschiebung nachweisen. Die im Einzelfalle wechselnde Herkunft der Luftmassen ist natürlich von großem Einfluß und geeignet, diese Beziehung zu unterstreichen oder aber auch abzuschwächen; die oben angeführten Beispiele verschiedener Wetterlagen belegen das im einzelnen.

Es kann kein Zweifel sein, daß der Größenexponent der spektralen Extinktion keine Konstante ist, die etwa gemäß den Köhlerschen<sup>47)</sup> Anschauungen durch hauptsächlich vorkommende Tröpfchengruppen bestimmter Größenordnung begründet sei; er stellt sich vielmehr als ein empirischer Mittelwert dar aus Werten, die für geordnete Reflexion von 0 wenig verschieden sind und andererseits für sehr kleine Partikelchen die Rayleighsche Größe 4 annehmen. Die Schwankungsbreite quantitativ festzulegen und im Sinne einer dynamisch-klimatologischen Betrachtungsweise ihre zeitlichen und örtlichen Verschiedenheiten näher zu bestimmen, bleibt die nächste Aufgabe.

#### 4. Wärmesummen.

Eine besondere Bedeutung beanspruchen unter klimatologischen Gesichtspunkten gegenüber den einzelnen gemessenen Intensitätswerten der Sonnenstrahlung die von der Sonne in gewissen Zeiten tatsächlich zugestrahlten Wärmesummen. Die Ableitung dieser Wärmesummen aus Intensitäts- und Sonnenscheindauer begegnet bekanntermaßen methodischen Schwierigkeiten und Fehlern, die hauptsächlich in der ungenauen Erfassung der wirklichen Sonnenscheindauer durch die gebräuchlichen Sonnenschein-autographen begründet sind. Wenn hinzukommt, daß die Intensitätsmittelwerte einer relativ kurzen Meßperiode entstammen und daher wie weiter oben dargelegt nur mit Einschränkung als Normal- oder Durchschnittswerte angesprochen werden können, so erhebt sich die Frage, inwieweit den also ermittelten Strahlungssummen im Vergleich zu denen anderer Beobachtungswerte klimatische Bedeutung zukommt.

Die Aachener Reihe der Sonnenscheinregistrierungen

gehört zu den längsten des Preußischen Meteorologischen Instituts. Da innerhalb des dreißigjährigen Zeitraumes von 1897 bis 1926 die Glaskugel des Campbell-Stokes-Autographen die gleiche geblieben ist, außerdem die Auswertung immer unter der unveränderten Kontrolle von Professor Polis vorgenommen wurde, kann sie als homogen angenommen werden. Unter diesen Verhältnissen darf angenommen werden, daß die verschiedenartigen, aber im Durchschnitt sich gegenseitig aufhebenden Apparaturfehler das Mittel der Sonnenscheindauer nicht mehr störend beeinflussen. Wenn derselbe Autographentyp verwandt wurde, können zwar von abweichender Durchlässigkeit und, was noch mehr zu beachten ist, anderem Brechungsindex herührende Inkongruenzen in Einzelfällen nicht unbeträchtlichen Wert annehmen. Aber solange nicht systematische Auswertungsfehler oder ganz besonders herausfallende Apparaturfehler vorliegen, können wir 25jährige Mittelwerte wohl als hinreichend charakteristische Größe zur klimatischen Charakterisierung eines Beobachtungsortes ansehen. Das ist vor allem gut möglich, wenn die Registrierungen die gleiche Periode umfassen und sich auf Gebiete erstrecken, die eine größere klimatische Verschiedenheit aufweisen. Weniger günstig erscheinen indessen die Verhältnisse für Vergleichsmessungen, wenn andere Apparat-Typen zugrundegelegt sind und im Hinblick auf die Kombination der Sonnenscheinregistrierungen mit den Intensitätsmessungen von den Angaben der Sonnenscheindauer absolute Geltung verlangt wird. Die Potsdamer Strahlungsmessungen von Marten<sup>57)</sup> sind auf die Registrierungen eines Jordanschen Sonnenscheinautographen bezogen. Aus der Gegenüberstellung zweier sich nahezu deckender 20- bzw. 25jähriger Reihen werden ganz beträchtliche Differenzen, besonders für die Monate hochstehender Sonne ermittelt.

Mittlere tägliche Sonnenscheindauer in Potsdam.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
(93—12) Jordan-Autograph	1,6	2,2	3,8	5,3	6,2	7,3	6,7	6,2	5,1	3,4	1,8	1,3
(91—15) Campbell-Stokes-Autograph	1,7	2,4	3,5	5,4	7,3	7,8	7,0	6,6	5,0	3,3	1,9	1,5

Es ist wohl sicher, daß sie auf unreelle Überleistungen des Campbell-Stokesschen Apparates bei hohen Sonnenständen zurückzuführen sind. Die Folgerung steht ganz im Einklang mit den Resultaten, die sich aus der Registrierung der Strahlungsintensitäten in Davos ergeben haben. Die aus den Angaben des Campbell-Stokesschen Autographen errechneten Werte übertreffen die gleichzeitig direkt registrierten Strahlungssummen im Durchschnitt von 6 Jahren um 5,2 %. Ein Teil der Differenz kommt wohl dadurch zustande, daß in die Berechnung des Produktes aus Sonnenscheindauer und Intensität der Intensitätsfaktor mit stets vollem Werte eingeht, während tatsächlich der Registrierapparat auch auf erheblich niedrigere Intensitäten anspricht; in der Hauptsache ist der Unterschied aber erklärt durch die Mehranzeige der Sonnenscheindauer bei intermittierender Bewölkung und höchststehender

Sonne, zumal der jährliche Gang der Abweichung in den Davoser und den Potsdamer Zahlen übereinstimmt.

Die Abweichungen der aus einer kürzeren Strahlungsreihe ermittelten durchschnittlichen Werte der Sonnenintensität von streng definierten Normalwerten langjähriger Messungsreihen treten gegenüber den möglichen Fehlern der Sonnenscheinregistrierungen zurück. Ein zahlenmäßiges Urteil erlaubt die Gegenüberstellung der von Lindholm<sup>52)</sup> kürzlich berechneten Normalwerte (1915 bis 1928) mit den früher (1909 bis 1910) von Dorno<sup>10)</sup> erhaltenen. Der mittlere Tagesgang aus der nur 1½-jährigen Dornoschen Reihe stimmt mit dem aus der späteren 13-jährigen Reihe nahezu vollständig überein. Ebenso verglich Marten seine früher abgeleiteten Werte mit neuen Normalwerten aus den Jahren 1914 bis 1923. Die hier bestehenden Differenzen erreichen in den einzelnen Monaten außer bei Sonnenhöhen unter 5 Grad nicht den Wert von 0,1 gkal., höchstens bei den niedrigen Sonnenständen der Wintermonate also bis zu 10% des Absolutwertes.

Für die Berechnung der Wärmesummen fallen glücklicherweise die Intensitätsdifferenzen jener niedrigen Sonnenhöhen kaum oder gar nicht ins Gewicht. Selbst eine Ueberschlagsrechnung, die sich auf Sonnenscheinregistrierungen eines Beobachtungsortes stützt und sicherlich stärker abweichende Intensitätsmessungen eines anderen Ortes heranzieht, kann noch zu Werten führen, die bei den möglichen relativ größeren Fehlern der Sonnenscheinregistrierungen im Rahmen der erzielbaren Genauigkeitsgrenzen bleiben. So hat Verfasser<sup>34)</sup> die Strahlungssummen von Aachen für die obengenannte 25jährige Periode auf 45 500 gkal. geschätzt. Ohne Berücksichtigung des Umstandes, daß die Potsdamer Strahlungswerte auf die Jordansche Registrierung zurückgeführt sind, käme die Überschlagsrechnung auf 47 700 gkal.; die tatsächlich aus den Aachener Intensitätsmessungen und Registrierungen nach Campbell-Stokes errechneten stellen sich auf 47 000. Es wird ersichtlich, in welchem Betrage die errechneten Strahlungssummen noch unsicher sind.

Wenn wir die oben diskutierte Gegenüberstellung der Davoser Pyrheliographenregistrierungen und der dortigen Berechnung der Strahlungssummen berücksichtigen, andererseits die verschiedenen Registrierungen der beiden Potsdamer Sonnenscheinautographen in Betracht ziehen, müssen wir zugeben, daß die aus den Angaben des Campbell-Stokes errechneten Strahlungssummen im allgemeinen wohl zu hoch gegriffen sind und daß daher auch der niedrigere Betrag von 45,5 gkal. den tatsächlich unter Berücksichtigung der Bewölkung zugestrahlten direkten Wärmesummen näherkommt als der ohne Korrektur aus den Registrierungen des Sonnenscheinautographen errechnete. Vor allem bei weiteren Vergleichen der in die Literatur übergegangenen Zahlen sind aber Vorbehalte nötig. Einem strengeren Vergleich der auf diese Weise ermittelten Strahlungssummen verschiedener Beobachtungsorte haften noch manche schwerwiegende Mängel an, doch besteht in einer kritischen Verwendung des Materials der einzige Weg, über das Strahlungsklima größerer

Gebiete eine angenäherte quantitativ bestimmte Vorstellung zu gewinnen.

So sind in den nachfolgenden Tabellen die Energiesummen in der üblichen Weise zusammengestellt, die bei wolkenlosem Himmel und bei Berücksichtigung der Bewölkung der horizontalen Fläche zugestrahlt werden.

Insofern in diesen Tabellen neben der Sonnenscheinintensität auch der Einfluß der Sonnenscheindauer zum Ausdruck gelangt, geben sie eine Ergänzung zu den diskutierten Ergebnissen der Intensitätsmessungen, die für sich genommen die strahlungsklimatischen Verhältnisse nicht charakterisieren. Es stimmt zwar im allgemeinen der jährliche Gang in der Zu- und Abnahme der Sonnenscheindauer mit den der Wärmesumme überein — so fallen die Maximalwerte nicht mit der höchsten Intensität, sondern mit der längsten Sonnenscheindauer im Juli zusammen, aber der Abfall zum August beispielsweise ist viel stärker, als der noch langen Sonnenscheindauer entspricht; die kürzere im Mai bringt bei größerer Stärke der Strahlung auch höhere Strahlungssummen. Genau so liegt der Vergleich April/September; wie für die ganzen Frühjahrsmonate Januar bis April die höheren Intensitäten der Sonne trotz geringerer Sonnenscheindauer gegenüber September bis Dezember größere Strahlungssummen bedingen. Das steht scheinbar in einem gewissen Gegensatz zu den Ergebnissen über die atmosphärische Durchlässigkeit

Tabelle 12.

**Mittlere tägliche Wärmesummen auf die horizontale Fläche (gkal./cm<sup>2</sup>) bei wolkenlosem Himmel.**

	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	
	7-8	6-7	5-6	4-5	3-4	2-3	1-2	12-1	
Januar						0,6	5,0	11,2	14,0
Februar				1,1	9,4	17,5	25,9	30,3	
März			0,8	9,6	20,3	30,3	38,3	43,3	
April		0,4	8,0	18,9	30,3	40,5	47,3	50,6	
Mai		4,2	13,2	25,1	37,4	47,7	56,0	60,0	
Juni	1,0	6,9	17,5	31,4	42,0	52,8	60,6	64,8	
Juli	0,4	5,4	15,9	27,3	40,0	50,3	58,8	63,6	
August		1,5	9,0	19,2	31,5	43,2	53,8	57,6	
September			1,8	11,1	23,0	32,6	41,2	47,0	
Oktober				2,4	11,0	20,8	30,6	34,0	
November					2,2	8,9	16,0	19,1	
Dezember						1,8	3,0	8,2	11,8

und die besonders große Reinheit im Spätherbst. Indessen geht hier die gar nicht zu vernachlässigende Wasserdampfschwächung mit erheblichen Beträgen ein. Sie ist bis weit in den Herbst hinein noch sehr hoch, und in den beiden letzten Monaten des Jahres nimmt dann die Dunsttrübung der bodennahen Schichten außerordentlich zu.

Die aus der Periode der Sonnenintensität und aus der Variation der Bewölkung resultierende jährliche Pe-

Tabelle 13.

**a) 30jähr. Mittel der Sonnenscheindauer in Aachen**

	Vormittags								Nachmittags							
	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
Januar					0,05	0,17	0,24	0,32	0,33	0,27	0,20	0,15	0,00			
Februar				0,10	0,16	0,28	0,32	0,33	0,33	0,32	0,28	0,18	0,03			
März				0,06	0,27	0,36	0,38	0,39	0,39	0,38	0,36	0,29	0,10	0,00		
April		0,03	0,14	0,28	0,41	0,43	0,48	0,49	0,47	0,46	0,45	0,39	0,28	0,16	0,00	0,00
Mai	0,10	0,20	0,43	0,48	0,55	0,52	0,54	0,52	0,52	0,51	0,49	0,47	0,45	0,39	0,10	0,00
Juni	0,03	0,24	0,35	0,40	0,45	0,45	0,50	0,50	0,50	0,47	0,48	0,47	0,43	0,39	0,42	0,01
Juli	0,38	0,22	0,35	0,41	0,47	0,47	0,51	0,52	0,51	0,50	0,49	0,47	0,43	0,37	0,06	0,00
August		0,08	0,31	0,41	0,47	0,51	0,51	0,53	0,54	0,54	0,50	0,48	0,44	0,34	0,08	
September			0,03	0,18	0,44	0,49	0,51	0,53	0,53	0,51	0,48	0,41	0,20	0,04	0,00	
Oktober				0,05	0,27	0,38	0,43	0,45	0,46	0,44	0,40	0,29	0,08	0,00		
November					0,12	0,15	0,30	0,32	0,32	0,32	0,26	0,15	0,00			
Dezember					0,00	0,16	0,27	0,31	0,22	0,20	0,14	0,03	0,00			

**b) Mittlere tägliche Wärmesummen auf die horizontale Fläche (gkal./cm<sup>2</sup>) mit Berücksichtigung der Bewölkung (97-26)**

	Vormittags								Nachmittags								Monat
	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	V.	12-1	1-2	2	3	3-4	4-5	5-6	6-7	
Januar				0,03	0,85	2,69	4,48	8,05	4,62	3,02	1,00	0,09				8,73	520,1
Februar			0,11	1,50	4,90	8,29	10,00	24,80	10,00	8,29	4,90	1,69	0,03			24,91	1391,9
März			0,58	5,48	10,91	14,55	16,89	48,41	16,89	14,55	10,91	5,89	1,73			49,97	3049,8
April	0,01	1,12	5,29	12,42	17,42	22,70	24,79	83,75	23,78	21,90	18,23	11,82	5,29	1,28	0,00	82,30	4981,5
Mai	0,84	5,68	12,05	20,57	24,49	30,24	31,20	125,07	31,20	28,56	23,38	17,57	11,30	5,15	0,42	117,58	7522,2
Juni	1,66	6,73	12,56	18,90	23,76	30,30	32,40	126,31	32,40	28,48	23,33	19,74	13,50	6,83	2,90	127,19	7605,0
Juli	1,19	5,57	11,19	18,80	23,64	29,99	33,07	123,60	32,44	29,40	24,65	18,80	11,74	5,88	0,32	123,25	7405,5
August	0,12	2,79	7,87	14,81	22,03	27,44	30,53	105,59	31,10	29,05	21,60	15,12	8,45	3,06	0,12	108,50	6636,8
September		0,05	2,00	10,12	15,97	21,01	24,97	74,12	24,91	21,01	15,25	9,43	2,22	0,52		73,34	4423,8
Oktober			0,12	2,97	7,90	13,16	15,30	39,45	15,64	13,46	8,32	3,19	0,19			40,80	2487,8
November				0,26	2,23	4,80	6,11	13,40	6,11	5,12	2,31	0,33				13,87	818,1
Dezember					0,48	2,21	2,48	5,17	2,60	1,64	0,42	0,05				4,71	305,7
																	47148,2

riode der Strahlungssummen ergibt sich nun übersichtlich, wenn wir den Anteil der jeweiligen Verluste durch die Atmosphäre und die Wolkendecke den Summen gegenüberstellen, die der Erde von der Sonne her zufließen. Der in der Atmosphäre selbst extingierte Betrag (Tagesmittelwert) steht im Einklang mit den aus den Extinktionskoeffizienten errechneten prozentualen Strahlungsverlusten für verschiedene Luftmassen.

Tabelle 14.

**Mittlere tägliche solare Wärmesummen (gkal./cm<sup>2</sup>) auf die horizontale Fläche.**

	Ohne Atm.	mit Atmosphäre wolkenlos	mit Wolken	d. Atm. Exting. in %	Wolkenabs. in %	zum Boden kommen
Januar	181	62	17	66	25	9
Februar	339	168	50	50	35	15
März	520	285	98	45	36	19
April	740	392	166	47	31	22
Mai	877	487	243	44	28	28
Juni	972	554	254	43	31	26
Juli	944	523	247	45	29	26
August	793	432	214	46	27	27
September	596	313	147	47	28	25
Oktober	394	198	80	50	30	20
November	247	92	27	63	26	11
Dezember	161	50	10	69	24	7

Schließlich mögen hier zur weiteren Kennzeichnung nach einer von Peppeler<sup>63</sup>) gegebenen Zusammenstellung die mittleren solaren Wärmemengen noch für eine Reihe von typischen Beobachtungsstationen einander gegenübergestellt werden, die im Laufe des Jahres bei wolkenlosem Himmel bzw. bei mittlerer Bewölkung zur Erde gelangen.

Tabelle 15.

**Jahressummen der direkt zugestrahlten Wärmemengen (Kal.) ohne Atmosphäre bei wolkenlosem Himmel und bei mittleren Bewölkungsverhältnissen für die horizontale Flächeneinheit (1 cm<sup>2</sup>).**

Ort	ohne Atm.	mit Atmosphäre		Die Atm. exting. ohne Wolk. % v. 1	Wolken-decken allein schirmen ab %	Gesamt-verlust 4+5 %	Zur Erdoberfläche gelangen %
		ohne Wolk.	mit Wolk.				
	1	2	3	4	5	6	7
Davos	221,8	142,0	78,1	36	29	65	35
Riezlern (Allgäu)	220	140,3	69,8	36	32	68	32
Feldberg (Schwarzw.)	217,8	141,6	69,1	35	33	68	32
Feldberg (Taunus)	212,3	129,0	51,4	39	37	76	24
Karlsruhe	213,2	110,9	55,2	48	26	74	26
Aachen	206,7	108,3	47,1	48	30	78	22
Potsdam	202,3	115,7	53,2	43	31	74	26

## II. Photoelektrische Messungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung.

Das Ziel der meteorologischen Strahlungsforschung ist ein doppeltes: Es handelt sich einmal darum, Art und Größe der an einem Ort der Erde einfallenden Strahlungsenergie klimatographisch zu erfassen und zu bestimmen, welche Intensitäten an störungsfreien Tagen und unter durchschnittlichen Verhältnissen eingestrahlt werden; zum anderen besteht die Aufgabe darin, zu untersuchen, in welcher Weise die von der Sonne ausgesandte Strahlung innerhalb der Atmosphäre verändert wird, welche Energiemassen hier für uns verloren gehen, welche in anderer Form für uns nutzbar bleiben. Daraus ergibt sich, daß die alleinige Messung der direkten Sonnenstrahlung unzureichend ist und selbst eine rein klimatologische Betrachtungsweise einseitig bleibt, wenn sie nur einen Teil der wirkenden Strahlungsenergie berücksichtigt und den anderen nicht minder wichtigen, die Himmelsstrahlung, vernachlässigt. Vollends, für die weitergehende Aufgabe, die Aufstellung des Energiehaushaltes der in der Atmosphäre umgesetzten Strahlungsmengen sind Messungen der Himmelsstrahlung unentbehrlich. In der Erfassung der auch vom Himmel einfallenden Strahlung, in der Beziehung dieser zur direkten Sonnenstrahlung, liegt der Ausgangspunkt für eine Betrachtung, die über die optischen Vorgänge innerhalb der Atmosphäre nähere Aussagen zu machen erlaubt. Dabei ist die Einstellung auf zahlreiche, möglichst enge Spektralbereiche um so erstrebenswerter, als gerade mit den wechselnden Zuständen der Atmosphäre starke Verschiebungen in der qualitativen Zusammensetzung besonders auch der Himmelsstrahlung verbunden sind.

### 1. Instrumentarium und Methode der photoelektrischen Zellenmessungen.

Systematische Untersuchungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung definierter Spektralbezirke, die möglichst gleichzeitige Messungen zum Ziele haben und über einen längeren Zeitraum sich erstrecken, liegen nur ganz vereinzelt vor. Erst die Einführung der photoelektrischen Zellen in den Dienst der meteorologischen Strahlungsmessungen hat das Hilfsmittel gebracht, das die instrumentelle Eignung für solche Untersuchungen besitzt: hinreichend strenge spektrale Empfindlichkeit und Anpassungsfähigkeit des Strahlungsempfängers an die großen Intensitätsunterschiede zwischen der direkten Sonnen-

strahlung einerseits und der diffusen Himmelsstrahlung andererseits. Aus umfangreichen praktischen Erfahrungen hat Dorno<sup>12)</sup> eine Methode entwickelt, die eine kompensierte und gleichzeitig zuverlässige Handhabung der Photozellen für atmosphärische Strahlungsmessungen gestattet. Sie besteht in einem elektrometrischen Entladeverfahren, in dem der positive Pol der Zelle in Verbindung mit dem Elektrometer zu einem bestimmten Potential aufgeladen und die Entladungsgeschwindigkeit über einen unveränderten Skalenbereich (Voltabfall) unter dem Einfluß der Belichtung gemessen wird. Bei genauer Innehaltung gleicher Meßanordnung, insbesondere bei Beachtung des linearen Verlaufs der Zellcharakteristik und der Elektrometerkurve im Bereiche des Abfalls sowie unter Verwendung auf einander abgestimmter Zellen, haben Süring, Kühl, Götz, Linke, Lindholm, Hoelper u. a. die Methode benutzt und wertvolles Beobachtungsmaterial gesammelt. Eine Reihe von Verbesserungsvorschlägen zur Sicherung der noch nicht befriedigenden Vergleichbarkeit dieser Messungen sind dabei entstanden. Nachdem die Methode seither auch in weiteren Kreisen Eingang gefunden hatte und Strahlungsmessungen einen beinahe beängstigenden Umfang gewannen, zeigte sich jedoch, daß unter weniger sorgsam und geschulten Händen eine Reihe von Mängeln auftraten, die das zusammengetragene Beobachtungsmaterial und die daraus gezogenen Schlüsse einer zum Teil sehr berechtigten Kritik aussetzten. Insbesondere hat Linke auf Mängel bei der Benutzung von Cd-Zellen und bei der Beurteilung mit ihr erhaltener Messungsergebnisse aufmerksam gemacht. Insofern jedoch seine Kritik die Methode als solche angreift, ist sie sicherlich zu weitgehend und eine Anzahl mit der Methode vertrauter Forscher, mit ihnen auch der Verfasser, haben daher auch Einspruch gegen sie erhoben.

#### a) Empfindlichkeitsänderungen der Photozelle.

Nachdem die Frage der Proportionalität von Lichtintensität und Photostrom trotz Elsters und Geitels Nachweis nicht zur Ruhe gekommen war, haben die Untersuchungen Rosenbergs<sup>66)</sup> die Bedingungen für das Auftreten von Ermüdungserscheinungen geklärt und die spätere Arbeit von Fleischer und Goldschmidt<sup>21)</sup> hat das für die meteorologischen Strahlungsmessungen wichtige Ergebnis gebracht, daß in den Charakteristiken

(Stromspannungskurven) gasfreier Zellen keine Differenzen bei wechselnder Spektralzusammensetzung des auf fallenden Lichtes auftreten und auch gasgefüllte Zellen hiervon frei sind, solange ihre Spannung unter dem kritischen Punkt liegt. Eine scheinbare Ermüdungserscheinung unterhalb des kritischen Potentials, bei Kaliumzellen aufgetretener kurzzeitiger Stromabfall nach Einsetzen der Belichtung hat Küh1<sup>48)</sup> aufgeklärt als vorge täuscht durch Änderungen der Spannung in den als Spannungszelle der Zelle dienenden Akkumulatoren. Die Spannung kleiner Akkumulatoren im offenen Zustande sinkt stets bei Entnahme auch von Strömen so kleiner Größenordnung wie der Zellenstrom. Wenn also die Akkumulatoren durch den Zellenstrom geschlossen werden, so können zunächst Überspannungen bis zu mehreren Prozent auftreten, deren Abfall dann als Ermüdung wirkt. Bei sehr starker Überlastung, beispielsweise bei anfänglich vorgekommener Benutzung zu großer Blenden im direkten Sonnenlicht, sind dem Verfasser bei gasgefüllten Kaliumzellen auch langsam abklingende Nachwirkungen vorgekommen, die sich derart äußern, daß unmittelbar anschließend geringe Intensitäten zu klein gemessen wurden. Die Erscheinung betraf die folgenden Messungen der diffusen Himmelsstrahlung ebenso wie mit entsprechend verkleinerter Blende gemessene Sonnenintensität und machte bis zur Erholung der Zelle von solcher Nachwirkung innerhalb einer Stunde etwa jede Messung illusorisch. Eine zweite, nur zu Vergleichszwecken benutzte Kaliumzelle, zeigte dieselbe Erscheinung, während eine ältere, von Rosenberg hergestellte und 1922 freundlichst zur Verfügung gestellte Zelle bei allerdings nur mäßiger Beanspruchung ganz frei davon war. Es hat sich gezeigt, daß bei Vermeidung solcher Überanspruchung und bei Innehaltung einer möglichst unveränderten Stärke des Zellenstroms diese Nachwirkungen mit Sicherheit ausgeschaltet werden konnten. Durch vorsorgliche Änderung der Blenden bzw. der verwandten Kapazitäten war es möglich, in aufeinanderfolgenden Messungen sehr verschiedener Intensitäten die ausgelösten Stromstärken bei vielfach wechselnder Reihenfolge in stets gleicher Höhe zu reproduzieren.

Auf Überlastung beruht auch sicherlich die langsame Empfindlichkeitsabnahme, wie sie von Aurèn<sup>4)</sup> an einer bei Registrierungen sehr hoch ( $10^{-7}$  A) beanspruchten Kaliumzelle festgestellt wurde. Die Empfindlichkeit ging in 6 Monaten auf 60% zurück. Solche Empfindlichkeitsänderungen sind bei vorsichtiger Handhabung vermeidbar. Bei gasfreien Cadmiumzellen sind sie nach Dorno nur in Verbindung mit mechanischen Verletzungen des Zellbelags sicher beobachtet; bei den in ihrer absoluten Empfindlichkeit sehr gesteigerten gasgefüllten Zellen sind mit größter Wahrscheinlichkeit Gasreste oder bei der Destillation des wirksamen Zellbelags vorgekommene Fehler dafür verantwortlich zu machen, also dem eigentlichen Photoeffekt wesensfremde Störungen. Jedenfalls ist durch Vergleichsmessungen mit zwei Reservezellen Cd 5180 und K 5396 und durch die alljährliche Wiederkehr nahezu derselben Sonnenintensitäten für die hier be-

nutzten\*) Cadmium- und Kaliumzellen Cd 5395 und K 5199 nachgewiesen, daß die hiesigen Messungen von einer Störung durch Empfindlichkeitsänderungen frei sind.

## b) Die spektrale Empfindlichkeit der Photozelle.

Während Empfindlichkeitsänderungen der Photozellen bei vorsichtiger Handhabung und sorgsamer Überwachung atmosphärische Strahlungsmessungen kaum beeinflussen können, erwachsen größere Schwierigkeiten aus ihrer verschiedenen spektralen Empfindlichkeit. Da die spektrale Zusammensetzung der Sonnen- und Himmelsstrahlung nicht konstant bleibt, sondern in Abhängigkeit vom Sonnenstande, von der Meereshöhe und von der atmosphärischen Trübung Änderungen erfährt, die mit Intensitätsänderungen der Lichtquelle sich überdecken, sind die erhaltenen Messungsergebnisse nicht ohne weiteres zahlenmäßig zu vergleichen. Es ist zunächst nicht erkennbar, in welchem Betrage eine Steigerung des ausgelösten Photostroms auf einen Intensitätszuwachs des gemessenen Spektralgebiets, in welchem anderen Betrage auf eine evtl. Änderung in der spektralen Energieverteilung der Strahlung zurückgeht. Vor allem an der *Cadmiumzelle* setzt hier die Kritik ein, weil die im Tages- und Jahresverlauf wechselnde Ausdehnung des UV-Sonnenspektrums, für dessen kürzeste Wellenlängen die Cadmiumzelle zunehmende Empfindlichkeit zeigt, eine starke Verschiebung des optischen Schwerpunktes der wirksamen Strahlung und damit eine Überhöhung der Intensitätskurve bedingt. Indessen gelingt es, durch passend gewählte Filter den UV-Spektralbereich so zu unterteilen, daß dieser Übelstand stark eingeschränkt und sogar ganz beseitigt wird. Für die quantitative Untersuchung der physikalischen Vorgänge, die beim Abbruch des kurzwelligen Spektrums mitspielen, wird man freilich der spektrographischen Zerlegung des Strahlungsgemischs nicht entraten können, aber mit genügend scharf abschneidendem Filter — wie es z. B. das Minoglas, aber nicht unterschiedslos in allen Exemplaren, tut — lassen sich zunächst zahlenmäßig vergleichbare Werte über die Intensitäten bestimmter Spektralbezirke gewinnen. So wurde im UV-Spektrum für die laufenden Messungen durch ein Minoglasfilter der Endbereich unterhalb 308 abgetrennt, ein zweites Minoglas, angeblich gleicher Eigenschaft, besaß bei gleicher Dicke bedeutend größere Durchlässigkeit bis zu  $\lambda = 305$ . Parallelmessungen bei gleicher Sonnenhöhe ließen den Einfluß der wechselnden atmosphärischen Zustände gut verfolgen. Besonders auch zur Messung der UV-Himmelsstrahlung, die spektralphotometrischen Messungen schwer zugänglich ist,

\*) Der „Gesellschaft zur Förderung der Klimaforschung im Nordseegebiet“ bin ich zu Dank verpflichtet, daß sie im Anschluß an frühere Untersuchungen an der Nordseeküste ein Dorno'sches Universalphotometer zur Verfügung stellte. Mit diesem Instrument, speziell mit Cadmiumzellen gemachte Erfahrungen wurden bereits in einer vor zwei Jahren abgeschlossenen Arbeit niedergelegt, die für eine von der Geklino Herrn Prof. Dorno gewidmete Festschrift bestimmt war. Da die vorliegende Untersuchung auf die Ergebnisse jener Arbeit Bezug nimmt, wurden die Ausführungen über Instrumentarium und Methode i. T. hier wieder aufgenommen, nachdem die Herausgabe des Dornohefes der Geklino sich bisher verzögert hat.

gewinnt bei Kenntnis der gleichzeitig spektrographisch gemessenen Endwellenlänge, die integrierende Cadmiumzelle erhöhte Bedeutung.

Die Kaliumzelle wurde unter 2 Filterkombinationen benutzt, deren Durchlässigkeitsbereich für I (je 5 mm F 3873 + 5899) mit  $\lambda = 450 - 510$  nm und für II (je 2 mm F 3653 + F 5899) mit  $\lambda = 370 - 440$  nm angegeben waren. Zur spektrographischen Nachprüfung der spektralen Empfindlichkeit der Kaliumzelle bestand keine Möglichkeit. Jedoch ist für die Filterkombination II aus der Homogenität der Messungen und der Übereinstimmung der aus ihnen sich ergebenden Transmissionskoeffizienten (s. w. u.) mit denen monochromatischer Strahlung der Schluß gerechtfertigt, daß der genannte Spektralbereich mit hinreichender Schärfe innegehalten wird und seinen Schwerpunkt bei etwa 400 besitzt. Dagegen trifft das nicht zu für die andere Kombination. Hier werden offenbar größere Wellenlängen mitgemessen, sodaß eine erheblich größere Spektralbreite erfaßt wird.

### c) Vergleichbarkeit photoelektrischer Zellenmessungen.

Die spektrale Empfindlichkeit verschiedener Photozellen ist für dieselbe Wellenlänge bekanntlich im allgemeinen nicht die gleiche. Für die Vergleichbarkeit von Messungsergebnissen verschiedener Zellen folgen daraus Unzuträglichkeiten, deren Größe bisher zum Teil nicht berücksichtigt worden ist. Die übliche Beziehung auf Standardzellen mittels Reduktionsfaktoren ist einwandfrei, wenn stets unter denselben Verhältnissen gemessen wird, d. h. wenn mit der Sonnenhöhe — nach der die Reduktionsfaktoren meist geordnet werden — die gleiche Änderung der spektralen Strahlungsqualität angenommen werden kann. Es wird übersehen, daß das bei verschiedener Seehöhe nicht der Fall ist und Linkes Kritik ist hier sehr berechtigt. Schon die Messungsergebnisse derselben Zelle sind, wie oben dargelegt, in verschiedenen Niveaus nur unter gewissen Voraussetzungen quantitativ vergleichbar, bei verschiedenen Zellen fällt die spektrale Zusammensetzung der Strahlung als Funktion von Sonnenstand und Seehöhe ins Gewicht. Ich habe darauf schon früher<sup>38)</sup> hingewiesen und einen Vorschlag zur Reduktion der Eichfaktoren gemacht, der der wechselnden spektralen Verteilung der Strahlung Rechnung trägt. Sicher geht man natürlich bei Benutzung von Zellen, deren Empfindlichkeitskurven übereinstimmen und deren Reduktionsfaktoren daher konstant sind. Das trifft für die hiesigen Kaliumzellen zu. Im anderen Falle muß der durch Vergleichsmessungen irgendwo festgestellte systematische Gang der Reduktionsfaktoren für die betreffende Seehöhe korrigiert werden. Wenn solche Korrektur nicht aus örtlich wiederholten Parallelmessungen experimentell festgestellt werden kann, muß eine plausible Annahme über die Änderung der spektralen Energieverteilung mit der Seehöhe eingeführt werden, die den tatsächlichen Verhältnissen wenigstens mit erhöhter Wahrscheinlichkeit nachkommt. Wir beziehen die Zellen bei gleichen wahren Luftmassen, also bei gleicher Zahl durchstrahlter

Luftmoleküle aufeinander. Es wird damit zwar implizite die Verschiebung der Energieverteilung nach Rayleighs Gesetz stipuliert, was gewiß nicht ganz zutrifft, doch gibt

Prozentualer Rotgehalt der Sonnenstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe (bezogen auf gleiche wahre Luftmassen).

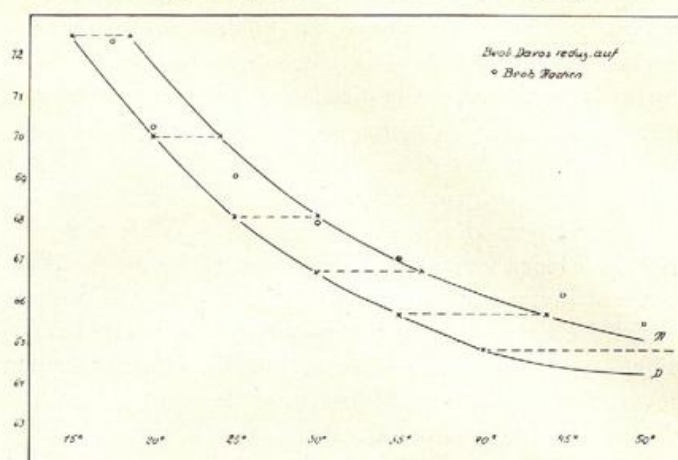


Fig. 5.

die Beschränkung auf möglichst trübungsfreie Tage eine hinreichend genaue Übereinstimmung mit den tatsächlichen Verhältnissen. Jedenfalls muß die Übereinstimmung in dem hier in Betracht kommenden relativ engen Bereiche des kurzwelligen Gebietes, wo der Einfluß der selektiven  $H_2O$ -Absorption entfällt, besser sein als bei einer Unterteilung des Gesamtspektrums; und da ergab sich für mittlere Verhältnisse bereits eine bemerkenswert geringe Differenz zwischen den in Aachen beobachteten prozentualen Rotwerten und den aus Davoser Messungen bei gleichen Luftmassen errechneten.

### d) Blenden, Filter und Mattgläser.

Es ist oben bereits der zur Anpassung an die wechselnden Intensitäten erforderliche Blendenwechsel erwähnt worden. Eine Gefahr für die Genauigkeit der Einzelmessung ist damit verbunden: die Veränderung der Appertur. Sie ist beim Universalphotometer in der heutigen Form nicht unbedeutend, da bei direkten Sonnenmessungen mit der Sonne ein Stück des Himmels einstrahlt, das ebenfalls hohe Intensität besitzt. Veränderungen dieses ringförmigen Himmelsektors, die bei einem Blendenwechsel eintreten, müssen daher in möglichst engen Grenzen gehalten werden. Bei den sehr kleinen Blenden, wie sie vor der hochempfindlichen Kaliumzelle ausschließlich verwandt wurden, sind sie nicht bedeutend, da hier der Öffnungswinkel des Strahlungskegels kaum verändert wird. Bei der Cadmiumzelle, wo die Intensitäten stärker wechselten, wurde der Blendenwechsel durch Zuhilfenahme geringer Kapazitätsänderung möglichst eingeschränkt.

Wäre der Helligkeitsabfall in Sonnennähe stets der gleiche (vergleiche unten) so würde mit der experimentellen Bestimmung der Blendenverhältnisse vor Sonne — das geometrische Öffnungsverhältnis ist unbrauchbar — eine hinreichende Korrektur gegeben sein. Indessen schwankt dieser; unter Einfluß atmosphärischer Trübun-

gen strahlt die Sonnenumgebung stärker als bei ganz klarer Sonne. Wenn nun auch durch Gegeneinanderwirken von Sonne und Sonnenumgebung eine gewisse Kompensation eintritt, so bleibt bei größeren Blenden doch eine Abhängigkeit der Blendenverhältnisse von der Sonnenhöhe und dem atmosphärischen Zustand bestehen. Jener ist leicht Rechnung zu tragen; dieser nur durch empirische Korrekturen, die unter Extremverhältnissen ziemliche Werte erreichen. Ihnen zu begegnen ist in den vorliegenden Mitteln nicht versucht worden, da die verwerteten Meßreihen möglichst trübungsfreie Tage enthielten, deren evtl. Korrekturen erheblich unter jenem Betrag liegen. Die vor verschiedenen Zellen bzw. Filtern verwandten Blenden sind entsprechend den verschiedenen spektralen Empfindlichkeiten der Zellen bzw. Filter meist verschieden, in jedem Falle ist mit Rücksicht auf die wechselnden Verhältnisse das Blendenverhältnis besonders festgestellt. Für die Messungen der Himmelsstrahlung erübrigte sich angesichts der größeren Gleichmäßigkeit des diffusen Himmelslichtes ein Blendenwechsel.

Aber hier erforderte die angestrebte Vergleichbarkeit der Sonnen- und Himmelsstrahlungsmessungen andere Korrekturen. Die vom Himmel auf eine horizontale Fläche fallende Strahlung wurde hinter einem diffundierenden Milchglas bzw. bei der Cadmiumzelle einem Satz von drei gerauhten Uviol-Mattgläsern gemessen. Infolge der diffusen Reflexion bzw. Brechung in diesem Glaskörper wirkt dessen Unterseite wie eine selbstleuchtende Fläche, deren Abstand von dem Strahlungsempfänger für die gemessene Intensität maßgebend ist. Der ausgelöste Photostrom ist um so größer, je näher das Mattglas der Zelle steht, d. h. mit Annäherung an die Zelle wächst seine scheinbare Durchlässigkeit. Es führt also zu unrichtigen Resultaten, wenn diese wie üblich in der Filterfassung bestimmt wird. Der Bezugsfaktor muß vielmehr unter denselben Verhältnissen, wie sie bei laufenden Messungen herrschen, ermittelt werden. Die bei Nichtbeachtung eintretenden möglichen Fehler sind sehr beträchtlich, sie können weit mehr als 100% ausmachen.

Die genaue Durchlässigkeitsbestimmung des Milch- bzw. Mattglases vor der Photozelle ist die Grundlage einer zuverlässigen Bestimmung des Verhältnisses von Sonnen- und Himmelsstrahlung. Sie mit einer künstlichen Lichtquelle vorzunehmen, wurde für bedenklich gehalten, zumal für die Cadmiumzelle. Sie wurde daher vor Sonne durchgeführt und unter verschiedenen Sonnenhöhen wiederholt.

	Filter II	Filter I	Dat.	
Milchgl. Kal. 5396 1/1 Bl.	1,72	1,83	1,77	—
Kal. 5396 1/50 Bl.				13.8.
"	1,66	—	—	steig. So. Höhe
"	1,62	—	—	Mittag
Mittel bezog auf Kal. 5199				
Milchgl. Kal. 5199, 1/10 Bl.	1,58	1,80	25.8.	Borkum
Kal. 5199 1/300 Bl.				12 Uhr
"	1,59	1,78	27.9.	Aachen
"				12 Uhr
UV Mattglas 1/1 Bl. 5395	Minos	ohne M.		
1/50 Bl. 5395	0,88	1,08	27.8.	Borkum
"	0,88	1,12	27.9.	Aachen
"	0,84	1,01	21.2.	Aachen

Die Bezugsfaktoren stimmen in den einzelnen Filterbereichen für wechselnde Sonnenhöhe zwischen 16 und 48 Grad und für verschiedene Beobachtungsorte gut überein. Eine spektrale Verschiebung innerhalb dieser Bereiche macht sich also nicht bemerkbar, wohl ist dagegen das Milchglas vor Filter I im Vergleich zu Filter II etwas durchlässiger, ebenso wie das der Fall ist im Bereiche des Minosfilters gegenüber dem kurzwelligen Ende des UV. In dem Endbereich von 308 bis 297 nimmt die Durchlässigkeit also um etwa 25% ab; der Ausdehnung des Spektrums zu kleineren Wellenlängen muß also bei der Reduktion des Himmelslichtes Rechnung getragen werden.

Es wäre wertvoll gewesen, die Durchlässigkeitsbestimmungen auch im diffusen Himmelslicht zu wiederholen. Indessen ist bei diffuser Beleuchtung durch ein senkrecht einfallendes Strahlenbündel die Intensität des blauen Himmels zu gering. Bei der Übereinstimmung der spektralen Energieverteilung ist im Bereiche engbegrenzender Filter kein Unterschied zu erwarten; wohl könnte die Frage sich ergeben, ob nicht die Energie der kürzesten Wellenlängen im Spektrum des diffusen Lichtes zu gering wird, daß eine merkbar stärkere Durchlässigkeitsverminderung als im direkten Sonnenlicht auftritt. Auf die Frage kommen wir weiter unten zurück.

Bekanntlich zeigen nun alle diffuserstreuenden Mattgläser im durchgehenden oder auffallenden Licht praktisch Abweichungen vom Lambert'schen Kosinusetz. Bei dem dreidimensional getrübbten Milchglas, das in Verbindung mit einer mattierten Uviol-Glasplatte vor der Kaliumzelle benutzt wurde, sind die Abweichungen vom Kosinusetz so klein, daß mit hinreichender Genauigkeit Übereinstimmung angenommen werden kann und eine Korrektur sich erübrigt. Bei den oberflächlich ge-

Diffusionskurve des UV-Mattglases in Abhängigkeit vom Auffallwinkel der Strahlung.

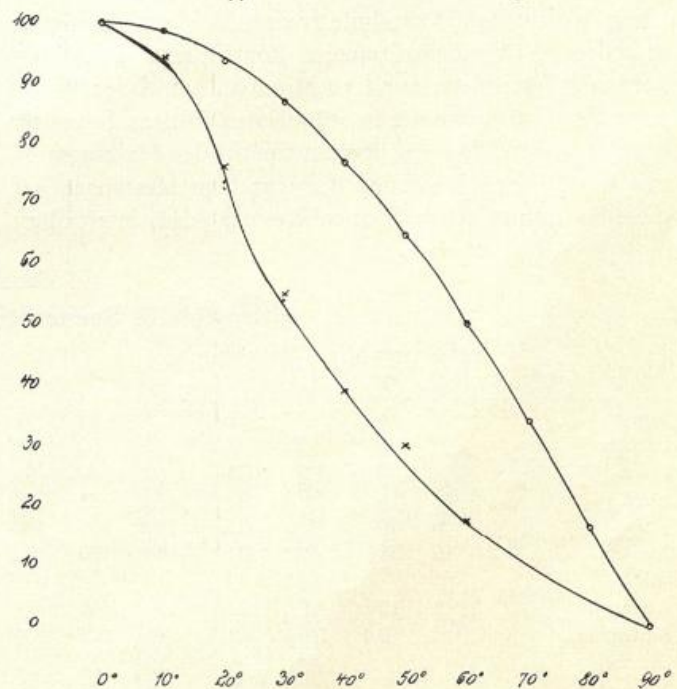


Fig. 6.

rauchten UV-Mattgläsern treten dagegen erhebliche Unterschiede auf. Für die Summe der vom Himmelsgewölbe unter verschiedenen Winkeln einfallenden Strahlen ergibt sich graphisch der Reduktionsfaktor auf eine ideal zerstreute Platte zu 1,53 (Abbildung). Die wechselnde Helligkeitsverteilung am Himmel, die bei numerischer Integration im einzelnen zu berücksichtigen wäre, bleibt bei diesem einfachen Verfahren außer Anlaß.

Es ist nicht das Ziel der vorliegenden Untersuchung, Normalwerte der kurzwelligen Sonnenstrahlung zu gewinnen, die aus Mittelwerten langperiodischer Beobachtungsreihen abgeleitet in erster Linie klimatologische Bedeutung beanspruchen wollen. Es war vielmehr beabsichtigt, durch zeitlich zusammengehörende Messungen die Sonnen- und Himmelsstrahlung aufeinander zu beziehen, um unter wechselnden Verhältnissen des Sonnenstandes und der Jahreszeit die beiden Strahlungsanteile in ihren Schwankungen und in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit zu erfassen und aus dieser Beziehung Aufschluß über die optischen Vorgänge in der Atmosphäre zu gewinnen.

Für diesen Zweck war die Zahl der verwertbaren Tage naturgemäß beschränkt; dennoch waren für jeden Monat der Messungsperiode (abgesehen vom Juli) im Durchschnitt 2 Tage vorhanden, die ganz oder nahezu wolkenlosen Himmel hatten. Da nur eine stabile Wetterlage in Frage kam, ist der Strahlungscharakter der Tage ziemlich gleichmäßig, es handelt sich fast ausschließlich um Hochdruckwetter mit absinkender kontinentaler Luftzufuhr. Die Messungen wurden in fester Reihenfolge: Sonne—Himmel—Sonne für alle 4 Spektralbezirke ausgeführt, jede in dreimaliger Wiederholung über den bei allen Messungen beibehaltenen Spannungsabfall von 120 bis 90 Volt verifiziert. Die Eichkurve des Einfaden-Elektrometers wurde mit einer Krüger-Batterie überwacht und ihre Konstanz im Laufe der Meßperiode mehrmals mit Hilfe eines von Professor Starke aus dem Physikalischen Institut der Hochschule freundlichst zur Verfügung gestellten Präzisionsvoltmeters kontrolliert. Die Messungsreihe erforderte rund 50 Minuten, sodaß der Tagesgang der Einzelmessung in stündlichen Werten festgelegt werden konnte. Die gut übereinstimmenden Halbtagskurven wurden zur Beziehung der einzelnen Messungen auf dieselbe Stunde bzw. Sonnenhöhe graphisch interpoliert

und in leichter Glättung ohne Zwang monatsweise zusammengefaßt.

## 2. Messungen der Sonnenstrahlung.

### a) Intensitäten.

In den nachfolgenden Tabellen 16 bis 20 sind die Intensitätsmessungen der Sonne, geordnet a) nach Tagesstunden, b) nach Sonnenhöhe zusammengestellt. Die verschiedenen Tabellen sind energetisch untereinander natürlich nicht vergleichbar, die Energie des Sonnenspektrums nimmt ja zum kurzwelligen Ende hin sehr steil ab. Qualitativ bestehen indessen Vergleichsmöglichkeiten. Die jährlichen und täglichen Schwankungen der kurzwelligen Strahlung insgesamt sind viel bedeutender als wir von der Gesamtintensität und besonders von deren rot-ultrarotem Anteil kennen. Sie steigert sich um ein vielfaches:

	U. V.			Bl. V.		Ges.	Rot
	< 303	< 360	> 308	II	I		
Von 10 <sup>0</sup> bis Mittag im Winter	7,5	7,2	6,1	2,9	2,0	1,7	1,5
Von 10 <sup>0</sup> bis Mittag im Sommer		115		5,7	4,2	3,1	2,9
Von 15 <sup>0</sup> bis Mittag im Sommer	31,2	29	15,3	4,0	2,7	2,2	2,0
Mittags vom Winter zum Sommer	8,0	7,2	3,4	1,7	1,2	1,3	1,2

Der Tagesgang hängt ganz ausgesprochenermaßen von der Sonnenhöhe ab, das Maximum fällt immer auf den Mittag; im übrigen ist über systematische Unterschiede der Vor- und Nachmittagswerte aus dem zur Diskussion stehenden Material natürlich nichts auszumachen. Auch im Jahresgang zeigt der klare Anstieg der UV-Intensität zu jeder Stunde von Dezember bis Juli, daß der Sonnenstand ausschlaggebend ist für die Höhe der Strahlung. Bemerkenswert ist, daß trotz der erschwerten Maßgenauigkeit des langwelligen UV auch hier der Gang innegehalten wird.

Die vor der Kaliumzelle gemessenen Spektralbereiche — in sich übereinstimmend — weichen hiervon ab: Bis 9 Uhr etwa behauptet sich auch hier der vorwiegende Einfluß des Sonnenstandes, weiter gegen Mittag setzen sich andere Einflüsse stärker durch, die für gedrückte April-

Tabelle 16.

### Ultraviolette Sonnenstrahlung (Cdzelle ungef.)

	a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen														
	5	6	7	8	9	10	11	12	5 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>	25 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup>	35 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup>	45 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup>	55 <sup>0</sup>	60 <sup>0</sup>			
Januar					1,6	8	17	22	Januar	5	16,5	24											
Februar				0,8	7,2	21	32	36	Februar	2	5	13,5	28	38									
März			2	12	24	40	60	75	März	1,5	6	12	21	28	40	60							
April			6	19	34	56	85	104	April	0,3	2	6,8	13	22	30	41	54	76					
Mai		9	20	47	82	109	129	138	Mai	0,6	4	11	18	31	46	61	77	97	119	138			
Juni	1,2	10	31	62	99	133	160	172	Juni	2	6	14	25	40	55	72	92	117	148	172			
Juli									Juli														
August		3	12	48	92	130	158	174	August	1	6	14	30	50	72	102	130	156	180				
September			0,4	10	40	86	124	150	September	0,5	6	15	37	65	104								
Oktober				8	18	35	70	86	Oktober	2,0	11	35	86										
November					3	13	30	40	November	1,0	6	16	40										
Dezember					0,5	5	10	14	Dezember	3	14												

Tabelle 17.

**Langwellige UV-Sonnenstrahlung (Cdzelle > 308).**

a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen														
	5	6	7	8	9	10	11	12		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar					0,5	2,0	3,5	4,0	Januar	0,8	2,8	4,2										
Februar				0,2	1,5	3,5	5,2	5,8	Februar	0,2	1,1	2,5	4,8	6,0								
März				0,8	2,5	4,5	7,0	8,2	März	0,4	1,2	2,2	3,0	4,5	7,0							
April			0,5	1,0	3,5	6,0	9,0	10,0	April	0,4	1,1	2,0	2,8	3,3	4,5	6,0	7,0					
Mai			1,0	5,0	9,0	10,5	11,0	11,5	Mai				1,2	3,0	4,8	5,8	7,8	9,0	10,9	11,5		
Juni		1,5	4,0	7,0	10,0	12,4	13,0	13,5	Juni	0,8	1,8	3,2	4,5	6,2	7,8	9,2	11,0	13,0	13,6			
Juli									Juli													
August			2,0	5,5	9,5	12,0	12,5	14,0	August		1,0	2,2	4,0	5,5	8,0	9,6	12,5	13,2	14,5			
September				1,5	5,5	12,0	15,5	17,0	September		1,0	2,0	5,0	7,8	10,0							
Oktober					2,0	5,5	9,5	12,0	Oktober	0,5	2,5	6,4	12,0									
November					0,4	2,5	5,5	6,5	November	0,2	1,0	3,0										
Dezember						0,8	1,6	2,4	Dezember	1,0	3,6											

Tabelle 18.

**Kurzweiligste UV-Sonnenstrahlung (Cdzelle < 308).**

a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen														
	5	6	7	8	9	10	11	12		10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°		
Januar					1,1	6,0	13,5	18,0	Januar	4,2	13,7	19,8										
Februar				0,6	5,7	17,5	26,8	30,2	Februar	1,8	3,9	11,0	23,2	32,0								
März				11,2	21,5	35,5	53,0	66,8	März	5,6	10,8	18,8	25,0	35,5	53							
April			5,5	18,0	30,5	50,0	76,0	94,0	April	1,6	4,7	11,0	19,5	26,7	36,5	48,0	69,0					
Mai		8,3	19,0	42,0	73,0	89,5	118,0	126,5	Mai	3,6	10,2	16,8	28,3	41,2	55,0	69,2	88,0	108,7	126,5			
Juni		8,5	27,0	55,0	89,0	130,6	147,0	158,5	Juni	5,2	12,2	21,8	35,5	48,8	64,2	82,8	106,0	135,0	158,4			
Juli									Juli													
August			10,0	42,5	83,5	118,0	145,5	160,0	August	5,0	12,8	26,0	44,5	64,0	92,0	117,5	142,0	167,0				
September				8,5	34,5	74,0	118,5	133,0	September	5,5	13,2	32,0	57,2	94,0								
Oktober					16,0	29,5	60,5	74,0	Oktober	1,5	8,0	30,0	74,0									
November					2,4	10,5	24,5	33,5	November	0,8	5,0	13,0	34,0									
Dezember						4,2	8,4	11,6	Dezember	2,0	10,4											

Tabelle 19.

**Blauviolette Sonnenstrahlung (Kal. I)**

a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen														
	5	6	7	8	9	10	11	12		5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar				0,10	1,56	2,30	2,54	2,62	Januar	2,00	2,50	2,60										
Februar			0,18	0,92	1,80	2,32	2,63	2,76	Februar	1,06	1,58	2,14	2,57	2,80								
März									März													
April		0,22	0,78	1,22	1,40	1,58	1,74	1,84	April	0,22	0,45	0,78	1,13	1,25	1,35	1,44	1,59	1,72				
Mai	0,20	0,70	1,30	1,72	2,03	2,19	2,32	2,38	Mai	0,30	0,60	0,84	1,27	1,53	1,72	1,87	2,00	2,24	2,38			
Juni	0,70	1,10	1,50	1,82	2,00	2,10	2,18	2,28	Juni	0,70	1,00	1,20	1,39	1,60	1,77	1,90	2,00	2,07	2,13	2,26		
Juli									Juli													
August		0,45	1,08	1,75	2,04	2,16	2,26	2,30	August	0,40	0,72	1,14	1,48	1,80	1,97	2,07	2,16	2,26				
September			0,74	1,58	2,20	2,72	2,98	3,04	September	0,78	1,32	1,75	2,14	2,50	2,88	3,10						
Oktober			0,12	0,70	1,60	2,20	2,50	2,60	Oktober	1,17	1,70	2,10	2,60									
November				0,28	0,52	0,78	1,14	1,58	November	0,42	0,68	0,88	1,32									
Dezember					0,10	0,44	1,06	1,22	Dezember	0,60	1,06											

Tabelle 20.

**Blau-ultraviolette Sonnenstrahlung (Kal. II)**

a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen														
	5	6	7	8	9	10	11	12		10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°		
Januar				0,20	4,60	6,50	7,20	7,50	Januar	5,45	7,20	7,50										
Februar			0,65	2,50	4,75	6,20	7,10	7,80	Februar	2,60	4,20	5,65	6,55	7,80								
März									März													
April	0,25	1,10	2,55	3,85	4,75	5,50	6,00	6,30	April	1,00	1,75	2,60	3,55	4,00	4,45	4,95	5,45	5,85				
Mai	0,50	2,15	4,50	6,10	7,15	7,55	7,80	8,00	Mai	0,75	1,75	3,15	4,35	5,45	6,10	6,70	7,05	7,35	7,80	8,00		
Juni	1,75	3,60	5,50	6,90	8,70	8,25	8,55	8,70	Juni	1,75	3,15	4,15	5,05	6,05	6,70	7,20	7,60	8,00	8,35	8,70		
Juli									Juli													
August		1,40	4,00	6,60	8,10	8,65	9,00	9,45	August	1,45	2,55	4,25	5,75	7,15	7,70	8,35	8,65	8,95				
September			1,95	5,15	7,40	9,25	9,75	10,00	September	2,00	4,20	5,75	7,30	8,50	9,75	10,00						
Oktober				2,05	4,95	7,00	8,65	9,20	Oktober	3,30	5,30	7,00	9,00									
November				0,60	1,50	2,25	3,30	3,90	November	1,00	1,75	2,50	4,00									
Dezember					0,20	0,72	2,30	3,20	Dezember	1,20	2,25											

werte aber sehr gehobene Werte im Herbst und Frühjahr verantwortlich sind. Es ist die im jährlichen Verlauf wechselnde Durchlässigkeit der Atmosphäre, die bei Beziehung auf gleiche Sonnenhöhe in allen Spektralbereichen klar zum Ausdruck kommt.

Die von unperiodischen Durchlässigkeitsänderungen der Atmosphäre hervorgerufenen Schwankungen photoelektrischer Zellenmessungen sind erheblich größer als bei kalorischen Messungen. Ich habe früher a. a. O. in der ausführlichen Behandlung kürzerer Beobachtungsperioden hierfür Beispiele gegeben. Die auf nur wenige Tage in den einzelnen Monaten sich beziehenden Zahlwerte müssen dadurch von gewissen Zufälligkeiten der Wetterlage noch abhängig bleiben. Dennoch besteht in dem hier wiedergegebenen jährlichen Gang bei gleicher Sonnenhöhe eine gute Übereinstimmung sowohl bei den in sich ganz verschieden reagierenden Cadmium- und Kaliumzellen untereinander, als besonders auch in den Messungen dieser mit denen nichtselektiv empfindlicher Strahlungsapparatur. Es liegt hierin auch besonders eine Gewähr dafür, daß unsere Kaliumzelle als solche nicht mit systematischen Instrumentenfehlern behaftet ist.

UV-Messungen mit ungefilterter Cadmium-Zelle liegen mehrfach vor. Aus den oben näher dargelegten Gründen sind sie nur mit Einschränkung und unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausdehnung des Sonnenspektrums vergleichbar, doch soll gezeigt werden, in welchem Aus-

Jährlicher Gang der auf die Cadmiumzelle wirkenden UV-Intensität bei 20° Sonnenhöhe (bezogen auf Davoser Galvanometerskala).

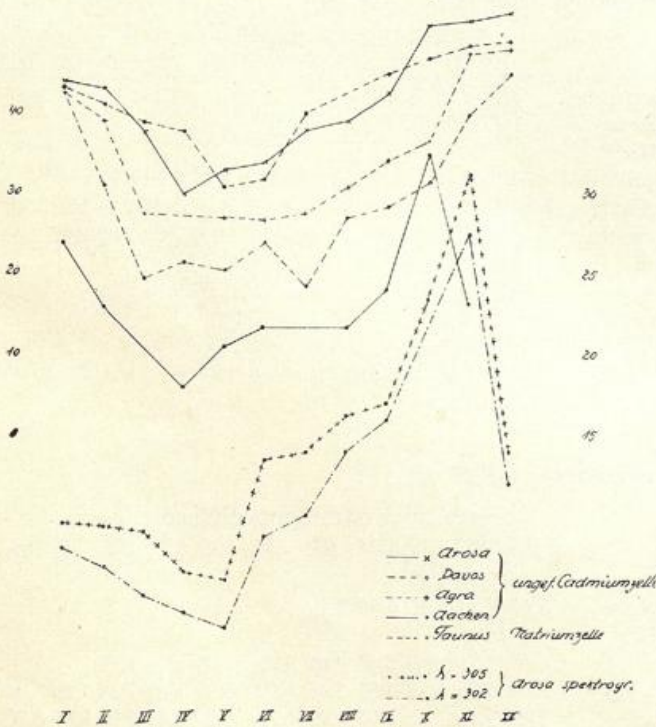


Fig. 7.

maße die jährliche Schwankung der atmosphärischen Durchlässigkeit auf solche Messungen sich auswirkt. Es finden sich bei gleicher Sonnenhöhe im Hochgebirge

(Davos, Arosa) wie in mittlerer Höhe und Ebene (Agra, Gießen, Aachen) die niedrigsten Werte im Frühjahr, die höchsten im Spätherbst, im Hochgebirge geht zum Frühwinter die Steigerung noch weiter, während an den trüben November- und Dezembertagen die Messungen der tiefgelegenen Flachlandorte sehr beeinträchtigt sind. Zur weiteren Ergänzung sind in relativen Einheiten die mit einer Natriumzelle<sup>30)</sup> auf dem Taunus gewonnenen Resultate der blau-ultravioletten Strahlung und ferner die von Götz<sup>26)</sup> mit dem Dobsonspektograph in Arosa gemessenen Intensitäten der beiden Wellenlängen 302 und 305 beigegeben; sie ordnen sich den mit der Zelle erhaltenen Werten vorzüglich ein, während höchst merkwürdigerweise der jährliche Gang der Wellenlänge 323 nach den gleichzeitig mitgeteilten Angaben vollkommen abweichend von den hier in 4 Spektralbezirken unabhängig voneinander gegebenen Werten verläuft.

### b) Extinktionskoeffizienten der kurzwelligen Sonnenstrahlung.

Zur weiteren Diskussion der photoelektrisch erhaltenen Sonnenintensitäten untersuchen wir ihre Beziehung zur atmosphärischen Durchlässigkeit. Die Messungen der Gesamtintensität haben ergeben, daß für die Durchlässigkeitsminderung der Atmosphäre nur zum kleinen Teil der H<sub>2</sub>O-Gehalt verantwortlich ist, daß dagegen der mit dem vertikalen Austausch in Beziehung stehende Einfluß der optischen Trübung sie in ganz charakteristischer Weise beeinträchtigt. Im kurzwelligen Bereich, wo die selektive H<sub>2</sub>O-Absorption zwar ganz entfällt, ist die extingierende Wirkung des Wasserdampfes noch zu berücksichtigen. Wie weit sie von der optischen Trübung abzutrennen ist, bleibt die Frage, da besonders im ultravioletten Spektrum die Extinktionskoeffizienten reiner wasserdampf freier Luft nicht genau feststehen. Die bisherige Festsetzung des extraterrestrischen Energiespektrums in kurzwelligem UV beruht, wie oben erwähnt, auf einer summarischen Schätzung, auf einer zwischen der theoretischen Berechnung und der praktischen Beobachtung vermittelnden Annahme. Hierbei trägt Abbot den wechselnden atmosphärischen Zuständen Rechnung, indem er zur Auswertung Koeffizienten hoher und niedriger Transmission corresponding to very clear and to rather hazy conditions benutzt. Die nach seinen Messungen berechneten und auf Meeresniveau reduzierten monochromatischen Extinktionskoeffizienten im kurzwelligen Spektrum würden sein:

#### Monochromatische Extinktionskoeffizienten nach Abbot.

$\lambda$	295	305	315	325	336	346	355	366	378	391	405	450	500
reine Atmosphäre	1,96	1,23	0,99	0,84	0,71	0,61	0,53	0,46	0,42	0,37	0,30	0,22	0,15
dunstige Atmosphäre nach Petit	3,91	2,21	1,56	1,20	0,99	0,84	0,71	0,61	0,53	0,45	0,37	0,27	0,22
							0,82						
theoretisch n. Rayleigh		0,99						0,46	0,37	0,26			0,13

Der extraterrestrische Wert der gemessenen Spektralbereiche ist also noch mit Unsicherheiten behaftet, die nicht nur in der hier verwandten Methode liegen sondern allgemeinerer Natur sind. Unter genauer Berücksichtigung der Filterdurchlässigkeit bzw. Zellenempfindlichkeit und

der Ausdehnung des Spektrums würde es möglich sein, auf einen extraterrestrischen Energiewert zu extrapolieren, doch würde ihm bei der steil abfallenden Energiekurve dieses Spektralgebietes nur eine beschränkte Bedeutung zukommen. Wir haben daher vorgezogen, von unsicheren Annahmen über diese Größe  $J_0$  abzusehen und haben in den folgenden Tabellen die Extinktionskoeffizienten zwischen bestimmten Schichten der Atmosphäre von 5 : 5 Grad Sonnenhöhe berechnet.

In den Wintermonaten November bis Februar stimmen die Zahlen für das kurz- und langwellige UV überein. Die Filterwirkung des Minosglases setzt erst bei Wellenlängen ein, die bei etwa 18 Grad Sonnenhöhe auftreten. Sobald diese im Sonnenspektrum erscheinen, tritt vor der ungefilterten Cadmiumzelle ein starker Anstieg der Extinktionskoeffizienten ein, der sich bei höheren Sonnenständen bis auf das Dreifache steigert. Dagegen hält sich der Anstieg der Extinktionskoeffizienten des langwelligen UV-Bereiches in mäßigen Grenzen, sie stimmen mit kaum erwarteter Genauigkeit überein mit den von ABBOT für hohe und niedrige Transmission bolometrisch gefundenen Werten. Der Anstieg ist restlos erklärt durch die zunehmende optische Trübung, das erscheint auch zweifellos im Hinblick auf ihren gut ausgeprägten jährlichen Gang bei gleicher Sonnenhöhe. In den monatlichen Tagesmittelwerten wie auch bei gleichen Sonnenhöhen haben wir die Höchstwerte der Extinktion

im April und Mai, sie fallen zu den niedrigsten Werten im September und Oktober zuerst langsam, dann schnell ab; es ist in scharfer Ausprägung derselbe Jahresgang, den wir früher für die vom Einfluß der konstanten molekularen Zerstreung und des H<sub>2</sub>O-Gehaltes der Atmosphäre befreiten Dunsttrübungskoeffizienten der kalorischen Intensität gefunden haben.

In den entsprechenden Zahlwerten der ungefilterten Strahlung kommt diese Gesetzmäßigkeit gar nicht klar zum Ausdruck, wohl erscheint hier der Anstieg zum Frühjahr, in der Amplitude sogar noch stark überhöht, aber wie diese Überhöhung Folge des weiter ausgedehnten Spektrums ist, so wird durch eben diesen Vorgang verhindert, daß die Extinktionskoeffizienten im Herbst wieder abnehmen. Der charakteristische Jahresgang der atmosphärischen Durchlässigkeit kommt dadurch vor der ungefilterten Cadmiumzelle nicht zustande. Es erscheint alles verdeckt durch den überragenden Einfluß der wechselnden Ausdehnung des Spektrums, und bei gleicher Sonnenhöhe kommt es in den Extinktionskoeffizienten geradezu zu einer Umkehrung des Jahresganges der optischen Trübung.

Der Schwerpunkt des gemessenen langwelligen UV-Bereiches liegt bei 315; es muß hervorgehoben werden, daß die selektive Empfindlichkeit, bezw. im Endbereich des Sonnenspektrums genauer: die Steilheit der Empfindlichkeitszunahme der Zelle 5395 und die besonderen Eigen-

Tabelle 21.

**Extinktionskoeffizienten der kurzwelligen UV-Sonnenstrahlung (Cdzelle < 308)**

	10 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup> -20 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -30 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup> -40 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup> -50 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup>	M.
Januar	0,66	0,41					0,54
Februar	0,63	0,94	1,18				0,92
März		0,72	0,92	1,71			1,12
April		1,18	1,56	1,44	2,54		1,68
Mai		1,15	1,13	1,50	1,88	2,37	1,61
Juni		0,94	1,17	1,30	2,00	2,62	1,60
Juli							
August		1,05	1,37	1,65	1,71	1,92	1,54
September		0,96	1,57	1,94			1,49
Oktober	0,94	1,39	1,72				1,38
November	1,02	1,04					1,03
Dezember	0,92						0,92

Tabelle 22.

**Extinktionskoeffizienten der langwelligen UV-Sonnenstrahlung (Cdzelle > 308)**

Januar	0,70	0,45					0,57
Februar	0,95	0,90	0,96				0,94
März		0,96	1,00	1,57			1,18
April		1,16	0,87	1,34	1,67		1,26
Mai		0,76	1,45	1,49	1,76	1,60	1,47
Juni		0,89	1,01	1,25	1,38	1,38	1,19
Juli							
August		0,87	1,01	1,27	1,27	1,13	1,11
September		0,96	1,30	0,99			1,08
Oktober	0,89	1,04	1,15				1,02
November	0,89	1,20					1,05
Dezember	0,71						0,71

Tabelle 23.

**Extinktionskoeffizienten der blauvioletten Sonnenstrahlung (Kal. I)**

	10 <sup>0</sup> -15 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup> -20 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup> -30 <sup>0</sup>	30 <sup>0</sup> -40 <sup>0</sup>	40 <sup>0</sup> -50 <sup>0</sup>	50 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup>	M.
Januar	0,14	0,02					0,08
Februar	0,22	0,33	0,30				0,28
März							
April	0,32	0,60	0,52	0,32	0,71		0,49
Mai	0,43	0,37	0,66	0,46	0,71	0,72	0,56
Juni	0,20	0,21	0,32	0,40	0,34	0,56	0,34
Juli							
August	0,33	0,51	0,50	0,32	0,35		0,40
September	0,29	0,30	0,42	0,49			0,37
Oktober	0,21	0,24	0,39				0,28
November	0,27	0,29					0,28
Dezember	0,31						0,31

Tabelle 24.

**Extinktionskoeffizienten der blau-ultravioletten Sonnenstrahlung (Kal. II)**

Januar	0,15	0,05					0,10
Februar	0,27	0,33	0,36				0,32
März							
April	0,31	0,44	0,48	0,49	0,58		0,46
Mai	0,48	0,65	0,61	0,58	0,35	0,56	0,54
Juni	0,33	0,28	0,42	0,37	0,42	0,54	0,39
Juli							
August	0,31	0,57	0,58	0,35	0,28		0,42
September	0,41	0,35	0,45	0,37			0,39
Oktober	0,26	0,31	0,46				0,34
November	0,31	0,39					0,35
Dezember	0,35						0,35

schaften des verwandten Minosglases (308) die Resultate mitbestimmen. Die absolut viel weniger empfindliche Zelle 5180 ist beispielsweise im langwelligen relativ empfindlicher, das Verhältnis gefiltert: ungefiltert ist um fast 50% größer, und der optische Schwerpunkt liegt unter sonst gleichen Verhältnissen höher. Andererseits läßt das obengenannte bis 305 durchlässige Exemplar des Minosglases bereits soviel Licht der kürzesten Wellenlängen durch, daß der wesentliche Vorteil der Filterung verloren geht. Die Cadmiumzelle ist oberhalb 322 noch genügend empfindlich, um bei nicht zu niedrigen Sonnenständen auf die absolut sehr starken Intensitäten anzusprechen. Eine weitere Unterteilung des UV-Bereiches bei höheren Wellenlängen, etwa 312 oder 315 könnte bei scharfer Begrenzung der Filter die Verwendbarkeit der Cadmiumzelle noch wesentlich verbessern und sie zu einem Meßinstrument machen, von dem über die Klarlegung der Verhältnisse im UV-Spektralbereich noch viel zu erwarten ist.

Wenn wir in gleicher Weise wie oben die Extinktionskoeffizienten der von der Kaliumzelle angegebenen Strahlungsintensitäten berechnen, so fällt vor allem eine überraschend große Übereinstimmung für die beiden Meßreihen I und II auf; es können unmöglich die Ergebnisse so weit auseinanderliegender Spektralbereiche wie oben angegeben erfaßt sein. Eine nachträgliche Untersuchung der Filter ergab, daß zwar entgegen der ursprünglichen Angabe ihre Durchlässigkeit weit tiefer in das UV hinabreicht, aber auch, daß die Filter tatsächlich große Unterschiede in der spektralen Durchlässigkeit aufweisen. (Das Gelbglas, in seiner Durchlässigkeit bei 500 stark abfallend, läßt bei 360 noch 2%, bei 340 noch 1% und Spuren noch bei 313 durch. Das Blauviolettglas ist hier nahezu vollkommen durchlässig, bei 309 noch mit 80%, aber auch das in Verbindung mit dem gleichen Gelbglas verwandte Blauglas hat seine maximale Durchlässigkeit erst unterhalb 430, läßt bei 366 noch 41% und bei 334 noch 5% durch.) Für die beiden Filterkombinationen resultiert:

	313	341	366	405	436	480	509	546	
Komb. I	—	—	0,0002	0,02	1,2	90	150	0,001	$\times 10^{-6}$
Komb. II	0,03	0,6	4	16	34	12	11	—	$\times 10^{-4}$

Die verschiedene Durchlässigkeit der Filter fällt aber offenbar gegenüber der starken Selektivität der Zelle bei weitem nicht so ins Gewicht. Das Maximum der selektiven Empfindlichkeit liegt bei gewöhnlichen Kaliumzellen, wie sie Elster und Geitel, auch Dorno z. B. benutzte, bei etwa 440. Es ist aber aus Pohls und Pringsheims Versuchen bekannt, daß es sich unter Gaseinwirkung auf 405 verschiebt, unter gleichzeitiger außerordentlicher (50facher) Steigerung der Empfindlichkeit. Zellen verschiedener Herkunft verhalten sich verschieden, und geringe Verunreinigung bzw. Abweichungen im Herstellungsprozeß der kolloidalen Kaliumschicht genügen, um stärkere Verschiebungen des Empfindlichkeitsmaximums hervorzurufen. Bei KaNa-Legierungen geht es auf 390 zurück. Im allgemeinen dürfte in diesen Angaben eine Genauigkeit von höchstens 10  $\mu\mu$  gesichert sein.

Meißner<sup>15)</sup> hat zwei von Dorno benutzte Kaliumzellen näher untersucht: Er fand in Übereinstimmung mit sonst bekannten Ergebnissen an normalen Kaliumzellen ein Maximum bei 445, ferner aber auch im Ultraviolett unterhalb 410 wieder ein starkes Ansteigen der Empfindlichkeit, die am Ende des untersuchten Bezirks (390) annähernd den Höchstwert wieder erreicht hatte. Ohne eine genaue Untersuchung jedes Zellindividiums einschließlich der benutzten Filter ist eine streng exakte Beurteilung der mit diesen erhaltenen Meßergebnissen garnicht möglich.

Jedenfalls ist aus dem Verhalten der Extinktionskoeffizienten zu erkennen, daß der optische Schwerpunkt des hinter dem Filter I gemessenen Spektralbezirks sich stärker verschiebt, als mit der Annahme eines homogenen Wellenlängenbereichs verträglich ist. Die mit relativ großer Intensität durchgelassenen Wellen zwischen 480 und 500 kommen noch stark zur Geltung; andererseits deutet der starke tägliche Anstieg und die jährliche Schwankung unter dem Wechsel der optischen Trübung auf den Einfluß wesentlich kürzerer Wellen bei einer spektralen Verschiebung in der Zusammensetzung des Sonnenlichts. In reiner Atmosphäre steigert sich die Intensität der genannten Wellenlängen zwischen 10 und 45 Grad Sonnenhöhe auf das Doppelte, die der Wellenlänge um 400 steigt gleichzeitig auf das 5fache, bei 370 auf das 10fache. Wenn die Empfindlichkeit der Zelle, wie oben im Einzelfall erwähnt, zum UV stärker ansteigt, wird bei großen Sonnenhöhen ein nicht zu vernachlässigender Bruchteil kurzwelligen Lichtes mitgemessen. Bedeutend besser liegen die Verhältnisse für das Filterpaar II. Hier schneidet die Durchlässigkeitsgrenze des Filters in Verbindung mit der Empfindlichkeit der Zelle die Wirksamkeit oberhalb 440 bald ab. Ebenso fällt sie unterhalb 370, selbst bei Annahme einer wieder gesteigerten Zellenempfindlichkeit, schnell ab. Nach den gemessenen Extinktionskoeffizienten liegt der Schwerpunkt in diesem Bereich unterhalb 405, schwankend etwa zwischen 390 und 400; die Änderungen bleiben in den durch den Wechsel der atmosphärischen Trübung bedingten Grenzen und geben reelle Änderungen der atmosphärischen Durchlässigkeit quantitativ wieder. Der Jahresgang der Extinktionskoeffizienten stimmt vollständig mit dem für das langwellige UV der Cadmiumzelle überein. Die geringe Amplitudenvergrößerung für den Filterbereich I der Kaliumzelle ist verursacht durch dessen größere Inhomogenität und gibt gleichzeitig ein Maß für diese. Er ist garnicht zu vergleichen mit dem oben besprochenen ganz abweichenden Jahresgang der ungefilterten Cadmiumzelle.

### 3. Messungen der Himmelsstrahlung.

#### a) Intensitätsmessungen.

Die Werte der vom gesamten Himmelsgewölbe auf eine horizontale Fläche einstrahlenden Energie sind auf die gleichen Einheiten wie die der direkten Sonnenstrahlung bezogen. Wie die Sonnenstrahlung, so schwankt auch

die Himmelstrahlung, abhängig in erster Linie von der Sonnenhöhe, da die strahlungsstarken sonnennahen Partien des Himmels bei hohem Sonnenstande viel stärker auf die horizontale Fläche wirken als bei tiefstehender Sonne. Die Schwankungen sind um so größer, je kurzwelliger der Spektralbereich ist. Die Werte sind aber doch viel gleichmäßiger im Tag und Jahr. Die tägliche Schwankung, verglichen mit den entsprechenden Zahlen der direkten Sonne (Tabelle) ist im Himmelslicht etwa halb so groß wie dort. Zum UV hin nimmt sie zu; aber im kurzwelligsten Spektrum, dessen tägliche Amplitude im direkten Sonnenlicht die des angrenzenden langwelligen UV um ein Vielfaches übertrifft, ist hier keine Zunahme mehr zu verzeichnen. Die Steigerung ist hier nicht größer als im angrenzenden Bezirk. Auch im Laufe des Jahres wechselt die Himmelshelligkeit weniger stark; im Blauviolett beträgt die mittägliche Schwankung kaum 25%, im UV ist das Verhältnis 3 : 1.

Die größten Werte der Himmelstrahlung werden jedoch nicht einfachhin im Sommer gemessen. Für den blauviolett und blau-ultravioletten Spektralteil fallen sie ins Frühjahr, Februar bis Mai; die niedrigsten Werte in die Wintermonate November bis Januar. Dagegen ist im UV die Sonnenhöhe von größerem Einfluß; zwar der langwellige nach unten durch das Minosfilter begrenzte Spektralteil hat noch sehr hohe Werte im April, aber August und September steigen schon relativ höher und im Endbereich werden unter Wirkung neu hinzutretender Wellenlängen die höchsten Intensitäten abhängig vom Sonnenstande im Sommer beobachtet.

Schärfer noch markiert sich der Gang bei gleichen Sonnenständen: Niedrige Sommerwerte, hohe im Frühjahr und Winter, mit abnehmender Wellenlänge treten die Herbstwerte hervor, überwiegen in langwelligen UV zuerst bei hohen Sonnenständen die Frühjahrswerte, bis im Endbereich schließlich die Herbstmonate August bis Oktober die höchsten Werte bei allen Sonnenständen aufweisen.

Es ist von mehreren Beobachtern festgestellt worden, daß die Gesamtbeleuchtung, d. h. die Summe der von der

Sonne und vom Himmel kommenden Strahlung weniger stark variiert als die beiden Komponenten je für sich, weil der durch Bewölkung zustande kommende Wechsel der einen durch entgegengesetzte Änderung der anderen mehr oder weniger kompensiert wird. Die Beobachtung ist auch hier gemacht worden. Aber wenn Aurèn mit einer Kaliumzelle hinter 5 mm Grünfilter F 5899 für den wolkenlosen Himmel fand, daß bei bestimmter Sonnenhöhe die Gesamtbeleuchtung einer horizontalen Fläche praktisch konstant sei, so kann dieses Resultat hier *nicht* bestätigt werden. Zwar tritt auch hier, zumal im relativ langwelligen Licht durch Vorkondensationsformen der optischen Trübung eine gewisse Kompensation ein, derart, daß beispielsweise relativ große Himmelshelligkeit im Frühjahr (April—Mai) mit geschwächten Sonnenintensitäten korrespondiert und umgekehrt im Juni—August. Aber es bleibt eine einfache Jahresschwankung der Gesamtbeleuchtung übrig mit Tiefswerten im Sommer. Die Größe der Amplitude kann durch den Wechsel der Sonnenentfernung nicht allein erklärt werden, die größere Inhomogenität der Atmosphäre spricht wesentlich mit.

Bei einem Vergleich der verschiedenen Spektralbezirke der Sonnen- und Himmelstrahlung untereinander fanden wir die Schwankungen (unter Einfluß der Sonnenhöhe wie unter Wirkung der atmosphärischen Zustandsänderungen) um so stärker, je weiter wir zum kurzwelligen Spektrum hinabgingen. Daraus resultiert sowohl für die direkte Sonnenstrahlung wie für das Himmelslicht einmal bei hohen Sonnenständen und andererseits in den Monaten geringer Konvektion eine Anreicherung mit kurzen Wellenlängen: Für die kurzwellige Sonnenstrahlung nimmt die Durchlässigkeit der Atmosphäre stärker zu bzw. ab als für längere Wellen, und im Himmelslicht tritt ebenfalls bei Abnahme des Dunstgehaltes der Atmosphäre die kurzwellige Strahlung mehr hervor. Diese spektrale Energieänderung des Gesamtlichtes macht sich um so stärker geltend, je näher wir dem kurzwelligen Ende des Spektrums sind und verursacht daher auch im UV das merkbare Überwiegen der Herbstwerte über die Frühjahrswerte im Gesamtlicht Sonne + Himmel.

Tabelle 25.

**Ultraviolette Himmelsstrahlung (Cdzelle ungef.)**

	a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen												
	5	6	7	8	9	10	11	12	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°		
Januar				2	20	42	58	64	Januar	31	58	63									
Februar			1	16	42	73	83	87	Februar	20	35	59	80	87							
März		5	21	37	64	99	115	118	März	16	34	47	56	72	114						
April		19	43	65	89	120	145	151	April	12	32	49	57	66	89	94	119	140			
Mai	5	21	53	94	130	159	170	175	Mai	12	22	40	48	74	94	111	126	149	168	177	
Juni	9	34	61	92	123	152	177	190	Juni	17	27	41	54	69	82	101	119	138	165	185	
Juli									Juli												
August	2	30	55	85	112	147	170	178	August	22	41	57	72	87	100	119	143	161			
September			17	51	93	131	162	181	September	17	36	61	90	149	182						
Oktober				19	58	100	137	165	Oktober	33	67	99	163								
November				2	30	58	84	90	November	21	47	68	91								
Dezember					10	21	29	33	Dezember	12	31										

Tabelle 26.

**Kurzwelligste UV-Himmelsstrahlung (Cdzelle < 308)\*)**

	a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen											
	5	6	7	8	9	10	11	12	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar																				
Februar																				
März																				
April				39	65	78	105	129	135											
Mai				48	85	108	145	154	159											
Juni			32	55	83	101	137	150	173											
Juli																				
August			28	48	74	97	131	153	160											
September					45	82	117	144	161											
Oktober					17	52	87	119	143											
November																				
Dezember																				

Tabelle 27.

**Langwellige UV-Himmelsstrahlung (Cdzelle > 308)\*)**

	a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen											
	5	6	7	8	9	10	11	12	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar																				
Februar																				
März																				
April				4	10	12	14	16	16											
Mai				5	9	12	14	15	15											
Juni			3	6	9	12	14	15	16											
Juli																				
August			2	7	11	14	15	16	17											
September					6	11	15	19	20											
Oktober					1	6	12	18	21											
November																				
Dezember																				

Tabelle 28.

**Blauviolette Himmelsstrahlung (Kal. I)**

	a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen											
	5	6	7	8	9	10	11	12	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar					0,16	0,30	0,42	0,48	0,52											
Februar				0,24	0,50	0,64	0,70	0,76	0,82											
März																				
April			0,30	0,48	0,62	0,68	0,72	0,74	0,78											
Mai	0,15	0,39	0,44	0,48	0,51	0,56	0,60	0,62												
Juni	0,22	0,26	0,31	0,36	0,40	0,46	0,48	0,50												
Juli																				
August		0,10	0,28	0,38	0,42	0,45	0,46	0,48												
September			0,23	0,33	0,39	0,45	0,49	0,52												
Oktober			0,10	0,36	0,52	0,66	0,74	0,76												
November				0,30	0,42	0,44	0,48	0,50												
Dezember					0,46	0,52	0,56	0,58												

Tabelle 29.

**Blau-ultraviolette Himmelsstrahlung (Kal. II)**

	a) zu jeder vollen Tagesstunde								b) geordnet nach Sonnenhöhen											
	5	6	7	8	9	10	11	12	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar				0,60	1,05	1,50	1,78	2,10												
Februar				1,00	1,60	2,05	2,35	2,60	2,85											
März																				
April	0,75	1,45	1,80	2,15	2,35	2,55	2,70	2,80												
Mai	0,50	1,15	1,70	2,10	2,40	2,65	2,85	3,00												
Juni	0,90	1,05	1,35	1,55	1,75	1,90	1,96	2,05												
Juli																				
August		0,80	1,05	1,40	1,75	2,15	2,45	2,65												
September			0,90	1,50	1,85	2,05	2,20	2,30												
Oktober				1,35	2,15	2,75	2,95	3,05												
November				0,75	1,35	1,60	1,85	1,95												
Dezember					0,65	1,40	1,80	1,95												

\*) Im Winter ist die Intensität des ultravioletten Himmelslichtes so gering, daß sie hinter dem hier benutzten Minosfilter nicht mehr mit ausreichender Genauigkeit zu messen war.

b) Verhältnis der Sonnen- und Himmelsstrahlung.

Näheren Aufschluß über diese Verhältnisse erhalten wir bei Betrachtung des relativen Anteils der Sonnen- bzw. Himmelsstrahlung an der Gesamtbeleuchtung.

Ganz allgemein wird vom Blauen zum Violetten und darüber hinaus der Einfluß der Himmelsstrahlung im Vergleich zum direkten Sonnenlicht größer. Bei niedrigem Sonnenstande ist der Anteil der Sonne an der Gesamtbeleuchtung einer horizontalen Fläche im kurzwelligsten Lichte fast verschwindend, während er im violetten und blauen immerhin noch  $\frac{1}{5}$  bis  $\frac{1}{4}$  beträgt. Mit steigender

Sonne dringt ihr Anteil vor und steigert sich so, daß er im Blauvioletten bei höheren Sonnenständen den des Himmels überwiegt, aber für die ultraviolette Gesamtbeleuchtung einer horizontalen Fläche bleibt das Himmelslicht ausschlaggebend. Selbst bei höchststehender Sonne beträgt der Sonnenanteil kaum 40%.

Die Größe  $S : (S + H)$  ist mit vergleichbarer Apparatur auch von Aurèn<sup>4)</sup>, Götz<sup>25)</sup> und Dornó<sup>11)</sup> berechnet worden. Der von Aurèn in Stocksund gemessene Spektralteil umfaßt langwelligere Strahlung; danach ist der Sonnenanteil an der Gesamtbeleuchtung etwas größer. Dornó

Tabelle 30.

Verhältnis  $\frac{S}{S+H}$  der direkten Sonnenstrahlung und der Gesamthelligkeit auf einer horizontalen Fläche; in Prozent der Gesamthelligkeit (Cdzelle ungef.).

	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Januar	3	7	11								
Februar	2	4	7	13	18						
März	2	4	6	14	17	18					
April	1	2	4	8	12	16	22	24	29		
Mai	2	4	8	14	17	22	26	30	33	37	40
Juni	2	5	10	16	23	28	31	35	39	42	43
Juli											
August	1	4	8	15	22	28	36	39	42		
September	1	4	8	14	19	25					
Oktober	1	4	11	18							
November	1	3	8	16							
Dezember	4	10									

Tabelle 31.

$\frac{S}{S+H}$  langw. UV (Cdzelle > 308)

	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Januar											
Februar											
März											
April		2	4	9	11	15	19	23	26		
Mai		4	5	7	14	21	25	31	33	37	39
Juni		9	14	19	26	29	33	35	38	40	42
Juli											
August		10	12	15	18	26	30	36	39		
September		10	11	18	23	28					
Oktober		9	16	21							
November											
Dezember											

Tabelle 32.

$\frac{S}{S+H}$  kurzw. UV (Cdzelle < 308)

	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar											
Februar											
März											
April		1	3	9	16	18	21	25	30		
Mai		4	10	14	18	21	26	30	33	36	40
Juni		5	10	16	21	27	31	36	39	42	45
Juli											
August		3	8	15	23	30	36	40	44		
September		4	8	14	18	25					
Oktober		3	10	18							
November											
Dezember											

Tabelle 33.

$\frac{S}{S+H}$  Blauviolett (Kal. I)

	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Januar	47	57	63								
Februar	29	41	52	59	65						
März											
April	18	26	36	46	50	53	61	62	64		
Mai	17	36	41	55	62	67	71	73	76	77	
Juni	35	51	59	66	71	75	76	78	79	79	80
Juli											
August	41	48	58	62	69	73	75	77	79		
September	37	53	65	72	76	79	80				
Oktober	33	44	53	60							
November	16	30	40	57							
Dezember	16	32									

Tabelle 34.

$\frac{S}{S+H}$  Blau-Ultraviolett (Kal. II)

	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Januar	43	50	55								
Februar	21	35	47	49							
März											
April	11	21	33	43	48	57	60	63			
Mai	22	30	43	53	59	62	66	68	69	70	
Juni	24	44	59	63	69	73	76	76	77	78	79
Juli											
August	23	41	57	66	70	73	74	74	74		
September	26	44	56	63	68	72	74				
Oktober	26	37	46	56							
November	11	23	34	47							
Dezember	12	29									

Messungen mit derselben Filterkombination I wie hier, liegen entsprechend der nach 440 verlagerten Empfindlichkeit seiner Zelle zwischen den Messungsergebnissen von Stocksund und Aachen. Inwieweit ein Einfluß der Seehöhe außerdem darin enthalten ist, mag dahingestellt bleiben;

Verhältnis  $\frac{S}{S+H}$  für verschiedene Spektralbereiche und verschiedene Beobachtungsorte.

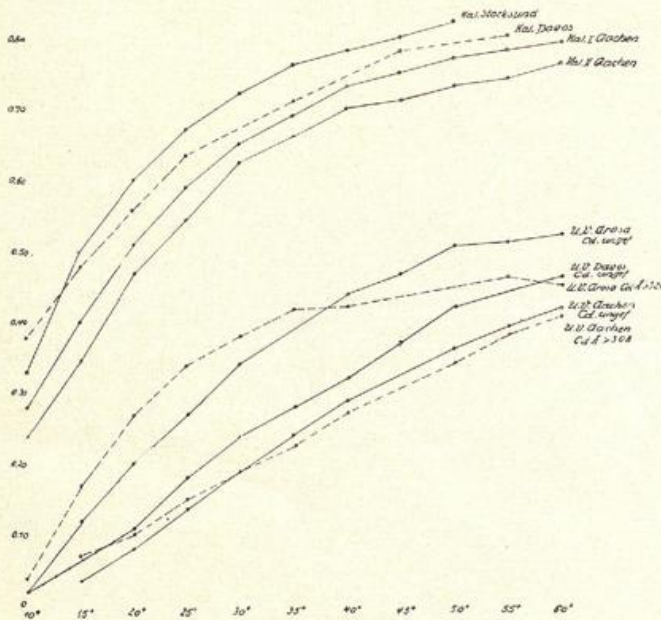


Fig. 8.

er müßte in Richtung einer Vergrößerung des Sonnenanteils wirken, besonders bei niedrigen Sonnenständen; das ist wohl zu erkennen, doch ist eine zahlenmäßige Entscheidung nur bei genau gleichen Spektralbereichen möglich zu treffen. Der geringere Sonnenanteil bei II beträgt etwa 4 bis 5%.

Besonders im UV ist der Mangel an vergleichbaren Untersuchungen bedauerlich. Nur von Götz liegen bisher Himmelmessungen mit gefilterter Cadmiumzelle vor, die den Sonnenanteil an der Beleuchtung der Horizontalenebene in Arosa berechnen lassen. Es besteht aber die gleiche Schwierigkeit, sich auf die hiesigen Werte zu beziehen, wie oben für die Davoser Kaliumzelle: Götz verwandte ein zufällig gefundenes Fensterglas als Filter, dessen Durchlässigkeit bei etwa 320 abschneidet; angeblich soll nur die Wellenlänge 321 wirksam sein, doch dürfte (abgesehen von der fraglichen und von Götz später selber in Zweifel gezogenen Schärfe der unteren Begrenzung) der Bereich bis 366 noch mit ins Gewicht fallen. Im Vergleich zu dem bei 315 optimal durchlässigen hiesigen Minosfilter ist der Sonnenanteil zumal bei niedrigen Sonnenhöhen erheblich größer.

Die Messungen der ungefilterten Cadmiumzellen geben keine definierten Werte, doch läßt ihre Einbeziehung in die vorliegende Untersuchung wertvolle Schlüsse zu über die Vorgänge im abbrechenden Spektrum; zudem liefert sie den Maßstab zur quantitativen Beurteilung der mit der ungefilterten Cadmiumzelle erhaltenen häufigeren Beobachtungsergebnisse. Daß die Davoser Daten  $S : (S + H)$ ,

erst recht die von Arosa, über denen von Aachen liegen, ist selbstverständliche Folge der Meereshöhe. Danach erreicht also erst in 1800 Meter Höhe bei höchsten Sonnenständen die einer horizontalen Fläche zugestrahlten Ultraviolett-Intensität der direkten Sonne die Größe der vom Himmel einfallenden Strahlung. Durch Einzelmessungen in noch größerer Höhe wird der Befund gestützt.

Man hätte erwartet, daß im kurzwelligsten Bereich des UV-Spektrums im Vergleich zum langwelligen Innern in Fortsetzung des beschriebenen Verhaltens eine weitere Abnahme des relativen Sonnenanteils an der Gesamtbeleuchtung eintreten würde. Anstatt dessen zeigen diese Beobachtungen, daß im Durchschnitt der Sonnenanteil wieder ansteigt. Die Vermutung lag nahe, die Steigerung des Sonnenanteils rühre daher, daß das für die Himmelsstrahlungs-Messungen verwandte Mattglas die neu hinzutretenden kleinsten Wellenlängen — hierauf beruht ja die von der Cadmiumzelle angezeigte Intensitätszunahme in erster Linie — nicht in gleicher Weise durchlasse, und der genannte Effekt sei nur in der Messapparatur vorgetäuscht.

In einer besonderen Untersuchung<sup>38)</sup> unter Verwendung verschiedener Filter hat Verfasser an einem ausgedehnten und, weil aus demselben Monat (2jährig) stammenden, homogenen Material die Vermutung geprüft. Es hat sich gezeigt, daß eine klare Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Atmosphäre besteht. An klaren Strahlungstagen mit reiner, dunstfreier Atmosphäre haben wir die höchsten Werte des relativen Sonnenanteils in allen Spektralbezirken und dann wird auch im äußersten Ende des UV der Sonnenanteil kleiner gefunden als im inneren Bereiche. Dagegen ist bei nicht ganz reiner Atmosphäre, schon bei leicht weißlichblauem Himmel der Sonnenanteil der Strahlung im kurzwelligen Licht allgemein gegen die Norm stark herabgedrückt; es tritt aber diese Minderung im äußersten ultravioletten Ende weniger stark auf, sodaß der relative Sonnenanteil über dem des langwelligen UV bleibt. Die starke Verkleinerung von  $S : (S + H)$  im langwelligen UV rührt nun wie auch im Blau-Violetten von einer Steigerung der Himmelselligkeit her, durch die bei dunsterfülltem Himmel trotz verminderter Sonneneinstrahlung die Gesamtbeleuchtung einer horizontalen Fläche noch erhöht wird. Im kurzwelligen Endbereich dagegen bleibt diese Erhöhung der Himmelselligkeit aus, sie nimmt vielmehr noch ab. Es läßt sich erkennen: im langwelligen UV wird die direkte Sonnenstrahlung innerhalb der Atmosphäre durch diffuse Reflexion geschwächt; ein beträchtlicher Teil gelangt auf Umwegen doch zur Erde. Dagegen bleibt im äußeren UV ein größerer Betrag der zugestrahlten Energie in der Atmosphäre stecken; dieser Verlust der direkten Sonnenenergie wird durch größere Himmelsstrahlung nicht wettgemacht.

Die Größe der Verschiebungen hängt bei gegebenen Filtern ganz von den jeweiligen atmosphärischen Verhältnissen ab und hierbei sind alle Übergänge zu verfolgen, von ganz klaren Strahlungsverhältnissen bis zu typisch dunsterfüllter Atmosphäre. Die Filterdurchlässigkeit ist insofern von Einfluß, als bei einem weiter zum kurz-

welligen Ende hinabreichenden Filterbereich schon die für das Ende des Spektrums charakteristische Verminderung auch der Himmelselligkeit bei dunstiger Atmo-

Ultraviolette Sonnen- und Himmelsstrahlung auf die horizontale Fläche

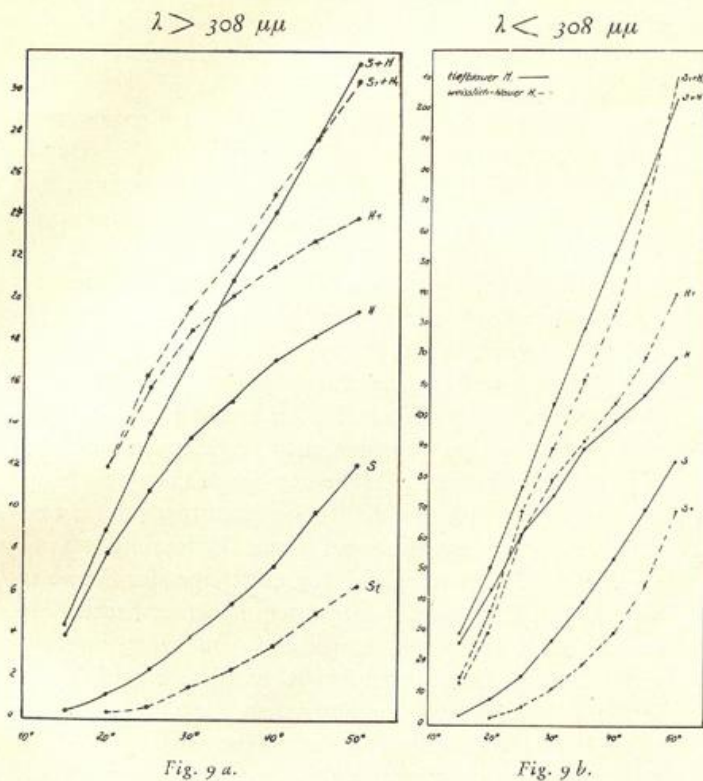


Fig. 9 a.

Fig. 9 b.

sphäre auftritt und im nunmehr äußersten UV-Endbereich, dessen Ausdehnung jetzt nur wenige sehr geschwächte Wellenlängen umfaßt, die Himmelselligkeit auch bei größter Sonnenhöhe die des blauen Himmels nicht mehr erreicht. Eine quantitative Verfolgung der Verhältnisse ist bei zweckmäßiger Wahl der Filter mit der Cadmiumzelle gut möglich; die nachstehende Tabelle soll die hier herrschenden Beziehungen zahlenmäßig verdeutlichen.

Prozentualer Sonnenanteil an der Gesamthelligkeit im UV für verschiedene Strahlungstage (nach Messungen an der Nordseeküste).

	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Himmel blau, mittlere störungsfreie Strahlungsverhältnisse							
$\lambda > 308$	13	19	24	27	30	34	38
$\lambda < 308$	15	21	27	31	36	39	42
Himmel weißlich-blau, vereinzelt a—cu, zeitw. auch ci—str, Sonne frei							
$\lambda > 308$	2	4	7	11	15	18	22
$\lambda < 308$	5	9	13	18	22	28	33
Dunstige Bodenschicht bis 1200 m, Sicht 2—4 km, Himmel wolkenlos							
$\lambda > 305$	3,5	7	11	15	19	22	24
$\lambda < 305$	5,5	10	16	23	31	36	38
Außergewöhnlich klarer Tag, Sicht 50 km, Himmel wolkenlos							
$\lambda > 305$	10,5	16	23	30,5	37	42,5	44
$\lambda < 305$	12,5	19	26	32	34	37	40

In der vorliegenden Untersuchung finden sich diese Ergebnisse vollauf bestätigt. Das Verhältnis  $S : (S + H)$  bzw.  $S : H$  ist in allen Spektralbezirken systematisch von der Durchlässigkeit der Atmosphäre abhängig. Bei hoher optischer Trübung, die die direkte Sonnenstrahlung schwächt, aber die Himmelsstrahlung zum Teil nicht unbedeutend erhöht, erhalten wir Werte, die im Blauvioletten nur 50% der normalen betragen und im UV noch darunter liegen. Im Jahresverlauf resultiert dabei charakteristischerweise ein der optischen Trübung genau inverser Gang mit einem Hauptminimum für  $S : (S + H)$  im Frühjahr April—Mai, einer starken Zunahme zum Herbst mit einem sekundären Abstieg zum November und Dezember. Auch im ultravioletten Ende des Spektrums macht sich dieser Einfluß in gleicher Weise geltend, doch komplizieren sich die Verhältnisse durch die absolut geringe Intensität der letzten Wellenlängen. Bei gesteigerter Trübung ist die Energie der gestreuten kürzesten Wellenlängen nicht mehr groß genug, um im Himmelslicht noch zur Wirkung zu gelangen. Während mit abnehmender Wellenlänge im allgemeinen der relative Sonnenanteil kleiner wird, überwiegt daher im Frühjahr der relative Sonnenanteil des äußersten ultravioletten Spektrums den des angrenzenden langwelligen UV; auch bei hohen Sonnenständen im Sommer tritt der gleiche Vorgang ein, während in der klaren optisch ungestörten Atmosphäre der Herbstmonate die kurzwelligste Himmelsstrahlung die höchsten Intensitäten erreicht und der relative Sonnenanteil — trotz Steigerung der

Absolutwerte — unter dem des inneren UV bleibt.

Das Ergebnis wird durch spektrographische Aufnahmen des UV-Endes des Sonnenspektrums und des Spektrums der Himmelsstrahlung bestätigt. Die äußersten Wellenlängen der Himmelsstrahlung sind so schwach, daß sie nur unter besonderen Vorsichtsmaßnahmen auf der photographischen Platte zu erhalten sind. Bei dunstgetrübter Atmosphäre erfolgt der Intensitätsabfall des Spektrums viel steiler, und bereits durch geringe Trübungen werden die letzten Wellenlängen ganz unterdrückt. Bei ganz normaler Ausdehnung des direkten Sonnenspektrums bis beispielsweise 295 gelingt es dann auch durch sehr gesteigerte Exposition nicht mehr, im Himmelslicht Wellenlängen unterhalb 302 nachzuweisen. Der Wechsel in der Ausdehnung des Himmelspektrums ist daher (sofern nicht auf die Erfassung der letzten Spuren abgestellt ist) viel weniger stark als bei der Sonne und erklärt die weiter oben erwähnte Tatsache, daß die Amplitude der mit der Cadmiumzelle gemessenen kurzwelligsten Himmelsstrahlung mit wechselnder Sonnenhöhe die des angrenzenden inneren UV-Bereichs nur wenig übertrifft.

#### 4. Die Helligkeitsverteilung am Himmel.

Die unter der horizontalen diffundierenden Milch- bzw. Mattglasplatte photoelektrisch gemessene Himmelsstrahlung kommt von den verschiedensten Stellen des

Himmelsgewölbes. Die zenithnahen Partien werden natürlich vorzugsweise erfaßt und, da mit steigender Sonne die hohen Intensitäten der Sonnennähe immer mehr zur Wirkung gelangen, so ergibt sich auch für die Himmelsstrahlung die früher dargelegte Abhängigkeit vom Sonnenstande. Dabei ist die Helligkeitsverteilung über das Himmelsgewölbe von Fall zu Fall außerordentlich verschieden. Sie ist keine einfache Funktion der Sonnenhöhe. Neben der Größe der Luftmasse spielt vor allem der veränderliche Trübungszustand der Atmosphäre eine wichtige Rolle. Das hat vor allem Wiener<sup>70)</sup> nicht berücksichtigt. Seine großangelegte Untersuchung, die eine theoretische Herleitung der Helligkeitsverteilung zum Ziele hatte, mußte ein Versuch bleiben, da die experimentelle Basis für diese Arbeit zu schmal war. Die wenigen und dazu mit sehr primitiver Methode gewonnenen Einzelmessungen der physiologischen Helligkeit, die Wiener zum Ausgangspunkt seiner Untersuchungen wählte, hängen zu sehr von einmaligen lokalen und zeitlichen Verhältnissen ab, als daß ihre Verallgemeinerung zu einer Theorie der Helligkeitsverteilung statthaft wäre. Erst Dorn<sup>11)</sup> hat in seinem großen Werk über Himmels-helligkeit und Himmelspolarisation umfangreiches Material beigebracht, um im sichtbaren Licht, im roten und grünen, über die Mannigfaltigkeit der Verhältnisse ein Urteil gewinnen zu können. Auch für die ultraviolette Helligkeitsverteilung hat Dorn in Gemeinschaft mit Lindholm<sup>16)</sup> neuerdings erstmalig quantitativ bestimmte Messungsergebnisse eines kürzeren, die hiesige Messperiode überschneidenden Zeitraumes veröffentlicht. Die Untersuchung ist für uns darum besonders wertvoll, weil sie, mit gleicher photoelektrischer Apparatur angestellt als einzige unmittelbar vergleichbare Werte — für das Hochgebirge — liefert. Allerdings erlaubt die nur nach dem Wechsel der Sonnenhöhe orientierte Untersuchung, wenn sie auch Andeutungen über den Einfluß der optischen Trübung entnehmen läßt, nicht, die Frage nach dem Jahresgang der UV-Helligkeitsverteilung einwandfrei zu beantworten.

Für den vorliegenden Zweck wurden an 16 über das ganze Jahr ziemlich gleichmäßig verteilten Tagen bei Mittags während der Messung unverändert bleibender Sonnenhöhe mit der ungefilterten Cadmiumzelle die Intensitäten kreisrunder Himmelsausschnitte im Sonnenvertikal in Abständen von 10 zu 10 Grad beiderseits der Sonne elektrometrisch gemessen. Ferner wurden auch in den Azimuten 90 bzw. 270 Grad die Intensitäten in verschiedenen Höhen über dem Horizont bestimmt, sowie vor und nach der Messungsreihe der Anschluß an die direkte Sonnenintensität genommen. Alle Messungen wurden auf das oben definierte Davoser Einheitsmaß bezogen. Neben der Cadmiumzelle zur Ermittlung der Helligkeitsverteilung am Himmel im UV wurde in derselben Weise für einen weiteren Spektralbereich des kurzwelligen Lichtes die Kaliumzelle benutzt. Die Intensität kleiner Himmelsausschnitte ist nicht groß genug, um hinter den für die Oberlichtmessungen verwandten Filterkombinationen I und II mit der Kaliumzelle sicher meßbare Abfallzeiten zu erhalten. Es wurde daher ein mit Milch-

glas kombiniertes Grünfilter größerer Durchlässigkeit verwandt. Dabei mußte allerdings auf die strenge Einhaltung eines genügend eingegengten definierten Spektralbereichs verzichtet werden. Die Durchlässigkeit des Filters entspricht etwa der Empfindlichkeitskurve der physiologischen Helligkeit, aber das Maximum der spektralen Energiekurve des Himmelslichtes liegt weit im Blauvioletten bei etwa 400 — (bei der maximalen Empfindlichkeit des Auges ist seine Energie bereits auf weniger als  $\frac{1}{3}$  herabgesetzt) — und überlagert sich der hier besonders großen Empfindlichkeit der Kaliumzelle. Die Durchlässigkeit des Grünfilters ist hier noch groß genug, daß der gemessene Bereich im wesentlichen durch die Empfindlichkeit der Kaliumzelle bestimmt ist.

Die in beiden Spektralbereichen an den Punkten des Himmelsgewölbes ermittelten Flächenhelligkeiten sind nach ihren Absolutwerten sowie als relative Werte in Einheiten der jeweiligen Zenithhelligkeit in den Tabellen 35 bis 36 zusammengestellt. Sie sind nicht allein durch die wechselnde Lage des ausgemessenen Punktes zur Sonne bestimmt, vielmehr ist die Höhe der Sonne über dem Horizont und der wechselnde Trübungszustand der Atmosphäre von mindestens ebenso großer Bedeutung.

Die UV-Intensitäten nehmen mit steigender Sonne erheblich zu: Die Zenithhelligkeiten haben zwischen Dezember und Juni eine Amplitude von 1 : 9, im Südvertikal in größerer Sonnennähe ist diese erheblich größer, und beträgt 30 Grad über dem Nordhorizont noch 1 : 6. Auch gleich weit von der Sonne entfernte Punkte zeigen die jährliche Amplitude; in 10 Grad Sonnenabstand wird das Verhältnis 1 : 10 gemessen, das dann schnell abnimmt und in 40 Grad Abstand dem oben genannten Verhältnis 1 : 6 sich angeglichen hat. Im Sichtbaren sind die Unterschiede viel geringer; der jährliche Wechsel der Zenithhelligkeit beträgt nur etwa 1 : 4. Im Nordbogen ist das Verhältnis sogar nur 1 : 2 und in gleicher Sonnenentfernung wird es auch in Sonnennähe nicht wesentlich überschritten. Die viel größere Amplitude im UV ist natürlich eine Folge der wechselnden Ausdehnung des Spektrums und insofern auch von der Empfindlichkeit der Cadmiumzelle abhängig. Dabei ist der atmosphärische Zustand auf die letzten Wellenlängen, wie wir wissen und auch hier bestätigt finden, von großem Einfluß. In den gemessenen Zahlen kommt das dadurch verschiedene Verhalten der beiden Spektralbezirke gut zum Ausdruck: Während die größten Helligkeiten des sichtbaren Gebietes im Frühjahr gemessen werden, liegen — ganz entsprechend den Oberlichtmessungen im Blau- und Ultravioletten — die UV-Frühjahrswerte ganz bedeutend, um die Hälfte, unter den bei gleicher Sonnenhöhe im Herbst gemessenen, und vom November zum Dezember folgt noch einmal ein sehr kräftiger Abfall.

Die größten Helligkeiten am Himmelsgewölbe werden natürlich stets in Sonnennähe gefunden. Im UV nehmen sie unterhalb der Sonne wenig langsamer ab als oberhalb; der dunkelste Punkt liegt — außer bei sehr großen Sonnenhöhen — ziemlich regelmäßig in 90 Grad Sonnenabstand, dann nimmt die Helligkeit wieder zu, bis sie in



der Nähe des Horizonts, sprungweise, infolge mehr oder weniger hochreichender Dunstschichten absinkt. Mit steigender Sonne flacht das Minimum ab, bei stark ausgesprochener Konvektion im Frühjahr und Sommer bleibt es sogar nur in einer Verzögerung des zum Horizont fortschreitenden Helligkeitsabfalls zu erkennen. Die geringste Differenzierung weist der in ostwestlicher Richtung durchmessene Bogen auf, die größte natürlich der südliche. Dabei zeigt sich der Herbsthimmel gleichmäßiger als der Himmel bei gleicher Sonnenhöhe im Frühjahr; und zwar ist er vor allem im Norden strahlungsreicher, während die

klaren Herbsttagen gemessenen Werte erreichen. Der großen Gleichmäßigkeit der UV-Himmelhelligkeit steht im Sichtbaren eine viel größere Differenziertheit gegenüber. In 10 Grad Sonnenentfernung ist der Himmel bei hochstehender Sonne 7mal, bei niedrigen Sonnenständen bis 11mal heller als der dunkelste Punkt. Die Aufhellung ist also in Sonnennähe um so größer, je größer die von der Sonne durchsetzte Luftmasse ist; atmosphärische Trübungen wirken in derselben Richtung. Daher sind auch die unterhalb der Sonne gemessenen Flächenhellen erheblich größer als im gleichen Abstand oberhalb im Sonnenverti-

Jäbrl. Mittelwerte der UV-Helligkeit ( $Z = 1$ ) im Sonnenvertikal bei verschiedenen Sonnenhöhen  
( $\times$  Werte hinter Minosfilter  $\lambda > 308$  bei  $h = 21^\circ$ ).

Jährliche Mittelwerte der Helligkeit ( $Z = 1$ ) im Sonnenvertikal, gemessen mit Kaliumzelle hinter Grünfilter bei verschiedenen Sonnenhöhen.

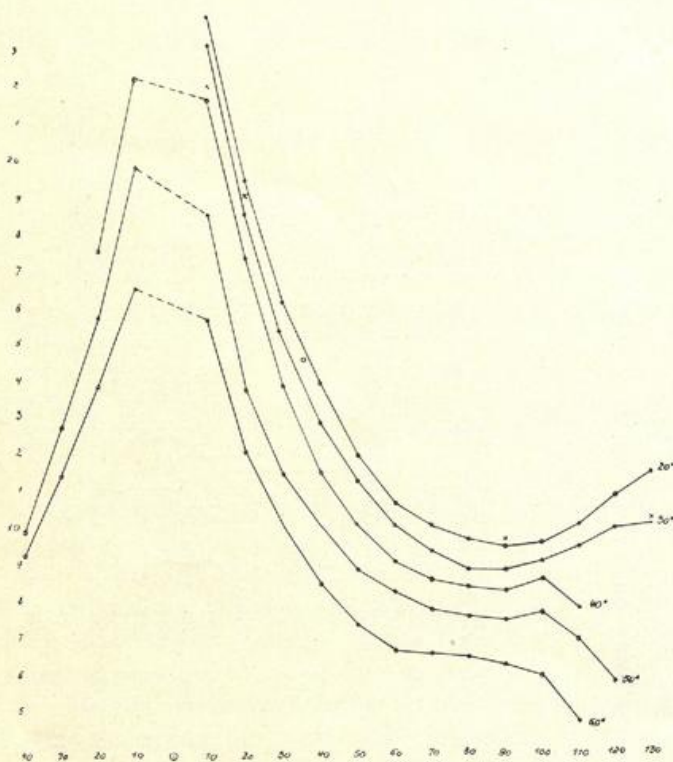


Fig. 10 a.

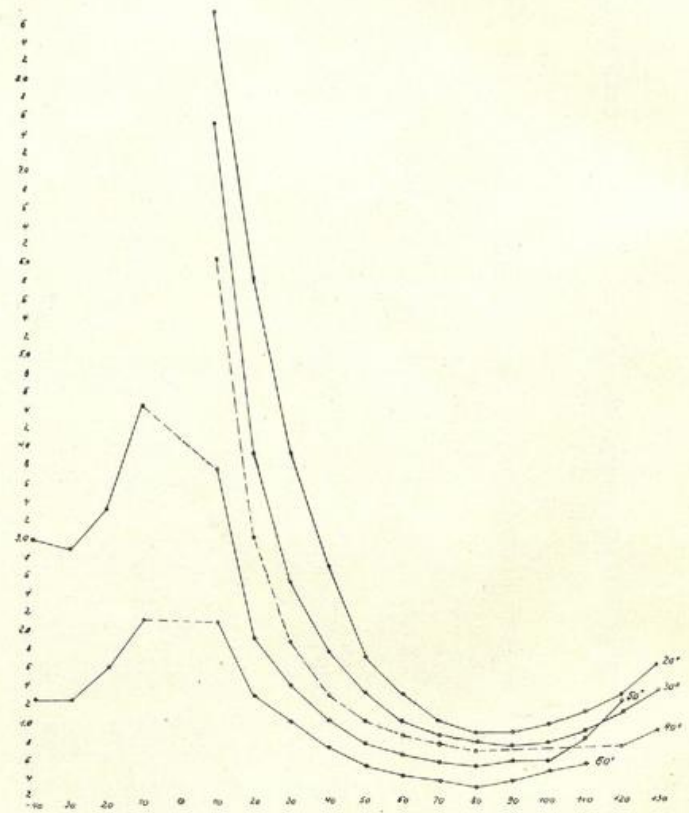


Fig. 10 b.

Strahlungsintensität des südlichen Bogens im Vergleich zur Zenithhelligkeit nicht so sehr gesteigert ist. Das Helligkeitsverhältnis des dunkelsten Punktes zu einem in 10 Grad Sonnenentfernung gelegenen liegt bei reinem Himmel im UV ziemlich unverändert bei 1 : 2,5; wenn die Sonnennähe durch geringe Trübung relativ stärker strahlt, bei 1 : 3. Nur in nächster Sonnenumgebung wirken optische Trübungen im UV strahlungserhöhend, aber es darf nicht übersehen werden, daß es sich nur um eine relative Erhöhung der Flächenhelle auf Kosten der direkten Sonnenstrahlung handelt — das Intensitätsverhältnis der direkten Sonne zur nächsten Sonnenumgebung kann dabei auf weniger als die Hälfte verkleinert werden — aber die absoluten Werte sind auch in 10 Grad Sonnennähe durch leichte Trübung bereits so herabgesetzt, daß sie nur einen kleinen Bruchteil der an

kal. Das Helligkeitsminimum ist bei allen Sonnenständen stark ausgeprägt; es rückt hier bei großen Sonnenhöhen näher zur Sonne und die Helligkeit des Nordhorizonts kann wieder bedeutend höher als die des Zeniths sein.

Es ist auffallend, daß bei dem großen Wechsel der UV-Absoluthelligkeiten im Tages- und Jahresverlauf die relative Helligkeitsverteilung des UV so gleichmäßig gefunden wird. Es muß aber daran erinnert werden, daß der jahreszeitliche Wechsel der Sonnenintensität zwischen 15 und 60 Grad vor der gleichen Cadmiumzelle 1 : 19 beträgt; bereits in 10 Grad Sonnenentfernung ist die Amplitude der Himmelhelligkeit auf die Hälfte gesunken und weiter als 30 Grad von der Sonne entfernt hat sie die Größenordnung der für das langwellige UV der direkten Sonnenstrahlung gemessenen Schwankung. Es kommen

also die letzten Wellenlängen im Himmelslicht schon in ziemlicher Sonnennähe selbst bei der für sie gesteigerten Empfindlichkeit der Cadmiumzelle nicht mehr zur Wirksamkeit. Durch die „Filterwirkung“ der Atmosphäre und die rote Begrenzung der Cadmiumzelle wird ein Spektralbereich der Himmelsstrahlung ausgeschnitten, der nicht wesentlich weiter in das äußerste UV hinabreicht als der durch das Minosfilter abgeschnittene. Wir haben oben schon spektrographische Messungen angeführt, die dies Ergebnis im Einklang mit den Resultaten über das gegenseitige Verhältnis der Sonnen- und Himmelsstrahlung bestätigen. Die Empfindlichkeitszunahme der Cadmiumzelle zum Ende des Spektrums hin müßte der gleichmäßigen Helligkeitsverteilung im UV entgegenwirken, wenn mit Annäherung an die Sonne durch weitere Ausdehnung des Spektrums eine wesentliche Überhöhung der gemessenen Werte stattfände. Bis zu 10 Grad Sonnenentfernung ist das jedenfalls nicht der Fall. Orientierende Parallelmessungen der relativen Helligkeit des Sonnenvertikals im langwelligen UV zeigen auch bis in nächste Sonnennähe noch sehr gute Übereinstimmung mit den Messungen der ungefilterten Zelle (siehe Fig. 10 a).

Die Verlagerung des optischen Schwerpunktes der Cadmiumzelle ist also bei Himmelsstrahlungsmessung viel geringer, daher auch die Vergleichbarkeit der Messungen eher gewahrt. Dabei erweisen sich die Davoser Helligkeitswerte bei im wesentlichen gleichem Verlauf der relativen Verteilung natürlich höherliegend; wenn diese Steigerung an den klarsten Tagen im Herbst nur unbedeutend ist, so beträgt sie bei mittlerer Sonnenhöhe doch durchschnittlich 50%. Stärkere optische Trübung der Tieflandatmosphäre läßt aber die Flächenhelle häufig noch weiter unter den Zahlen des Hochgebirges zurückbleiben: Es erreichen die bei höchstem Sonnenstand gemessenen Helligkeiten nur die Hälfte der entsprechenden Davoser Zahlen und am dunstigen Wintertag ist die UV-Intensität gar bis auf  $\frac{1}{3}$  der Hochgebirgswerte herabgedrückt. Die Zahlen hängen, das muß immer wieder betont werden, sehr vom jeweiligen Zustand der Atmosphäre (und dazu von der Bodenbeschaffenheit) ab: Es dürfte daher auch dem auf eine einzige Reihe in Friedrichshafen gestützten Meereshöhenvergleich bei Dornos kaum ein so hohes Gewicht beizulegen sein.

Im sichtbaren Spektralteil ist ein Vergleich der über dem Himmel gemessenen Helligkeitsverteilung zwischen Aachen und Davos nur mit einem Vorbehalt möglich, der sich auf die verschiedenartigen Methoden der Messung (Kaliumzelle bzw. Weber-Photometer) bezieht und die Verschiedenheit der erfaßten Spektralgebiete berücksichtigt. Qualitativ stimmen die hier und dort gefundenen Reihen gut zueinander; auch im Hochgebirge ist der Himmel im sichtbaren Gebiet differenzierter, im zeitlichen Wechsel der Absolutheiligkeiten aber weniger verschieden als im UV. Die zu erwartende Minderung der bestehenden Variationen mit wachsender Seehöhe ist in beiden Spektralgebieten zu erkennen. In Anlehnung an Dornos Gegenüberstellung zu Davos seien hierüber noch einige Zahlen gegeben:

#### Jährliche Schwankung der Flächenhelle.

	Aachen		Davos	
	UV.	Sichtb.	UV.	Sichtb.
Sonne	1:19		1:10	1:1,4
Zenith	1:9,3	1:4	1:5,8	1:3,4
Dunk. Pkt.	1:6,3	1:1,5	1:4,4	1:1,9
Mittl. Fl. h.	1:6,9	1:1,6	1:4,7	1:2,0

Die Kenntnis der Helligkeitsverteilung über die einzelnen Zonen des Himmels gibt uns die Möglichkeit, früher erhaltene Resultate über die Beleuchtung der horizontalen Fläche nachzuprüfen. Aus den in 4 Azimuten gemessenen Helligkeitswerten lassen sich mit hinreichender Annäherung Linien gleicher Himmels-helligkeit herleiten. Ihre flächentreue Projektion (Lambertsche) auf die Horizontalebene liefert in bekannter Weise durch die planimetrische Auswertung der Flächen zwischen 2 Iso-photen und nachfolgende Multiplikation ihrer mittleren Helligkeit die durch den ganzen Himmel auf der horizontalen Fläche hervorgebrachte Beleuchtungsstärke.

$$H = \frac{1}{\psi} \cdot \frac{\sum h \cdot f}{\sum f}$$

wobei h die mittleren Helligkeiten der einzelnen Streifen sind, zweckmäßig in relativen Zenithhelligkeiten ausgedrückt. In die Rechnung geht nur noch das Öffnungsverhältnis des Photometers als Apparatkonstante ein. Es ist zu dessen Charakterisierung allerdings das in ähnlichen Fällen gewöhnlich angegebene Verhältnis des Raumwinkels zur Halbkugel nicht brauchbar, weil dies nur für eine punktförmige Auffangfläche Geltung haben würde. Bei der Messung der diffusen Himmelsstrahlung mittels des Universalphotometers aber steht der durch die äußere Blende definierten strahlenden Fläche eine zweite durch die (gleichgroße) Innenblende begrenzte Auffangfläche gegenüber. Bei der Bestimmung der viel komplizierteren geometrischen Strahlungsverhältnisse, für die Dubois den Begriff des Flächenwinkelverhältnisses eingeführt hat, handelt es sich um den Strahlungsaustausch zwischen diesen beiden Flächen. Für den Fall zweier gleichgroßen ebenen Kreisflächen hat bereits Christiansen die Beziehung

$$\varphi = \frac{1}{2} \left( 2 + \frac{L^2}{R^2} - \frac{L}{R} \sqrt{\frac{L^2}{R^2} + 4} \right)$$

abgeleitet; mit den hier einzusetzenden Apparatkonstanten ( $R = 2,15$   $L = 27$ ) wird das Flächenwinkelverhältnis  $\psi = 0,0063$ .

Die Rechnung wurde nun für die im allgemeinen störungsfreie zweite Jahreshälfte für abnehmende Sonnenhöhe zwischen 60 und 20 Grad durchgeführt und den also rechnerisch ermittelten Werten der vom gesamten Himmel einfallenden Strahlung die gleichzeitig hinter horizontalem Mattglas unmittelbar gemessene Gesamtintensität gegenübergestellt:

h	S	H gem.	Z. Hell.	Mittl. H. i. Z. Einh.	H. ber.	S/H gem.	S/H. ber.
61°	167	191	1,58	0,87	218	0,76	0,67
50°	154	178	1,29	1,03	211	66	56
39°	128	167	0,97	1,12	172	49	47
29°	67	158	0,80	1,17	149	21	22
23°	32	84	0,51	1,17	95	15	14

Helligkeitsverteilung am Himmel ( $Z = 1$ ) gem. mit Kaliumzelle hinter Grünfilter, für Sonnenhöhen  $20^\circ$ ,  $40^\circ$  und  $60^\circ$ .

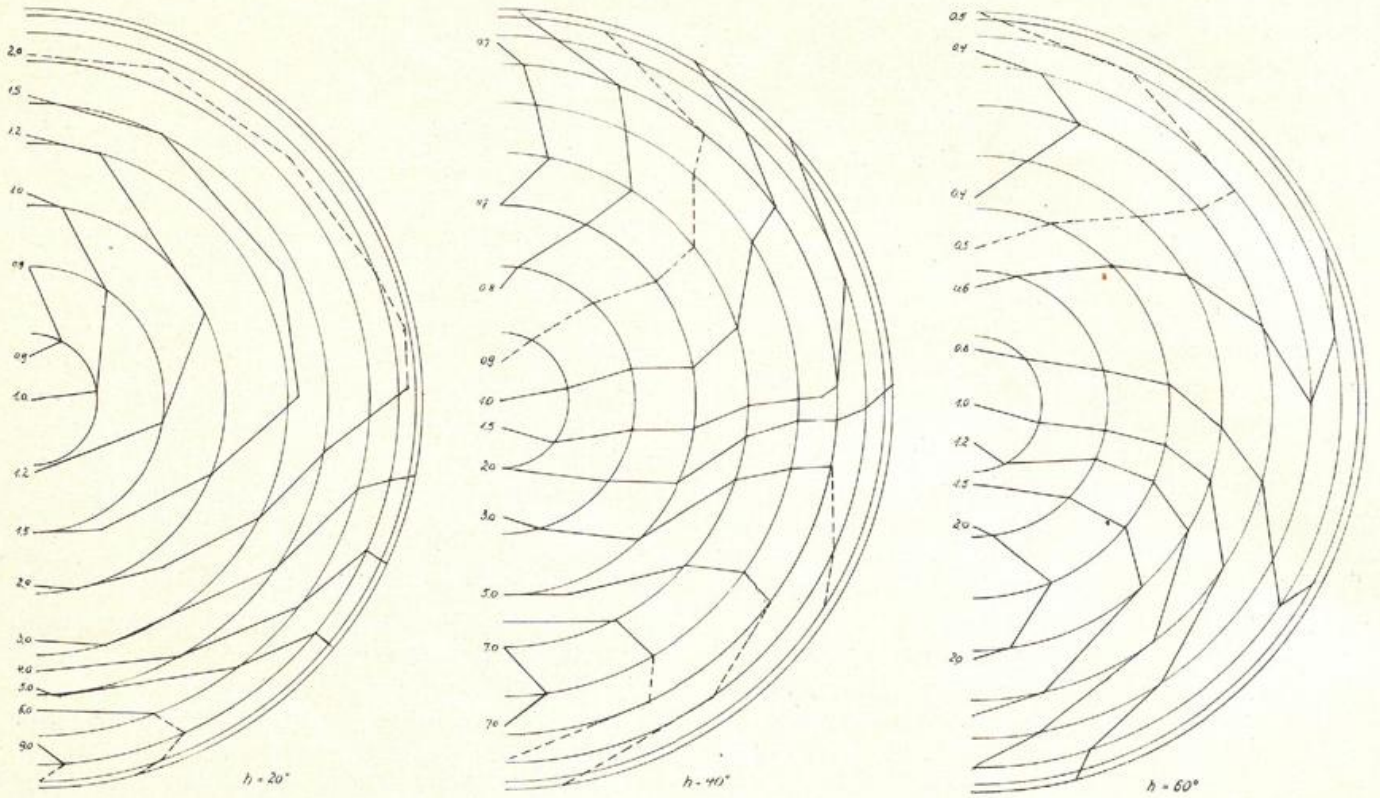


Fig. 11 a.

Ultraviolette Helligkeitsverteilung am Himmel ( $Z = 1$ ) gem. m. Cadmiumzelle, für Sonnenhöhen  $20^\circ$ ,  $40^\circ$  und  $60^\circ$ .

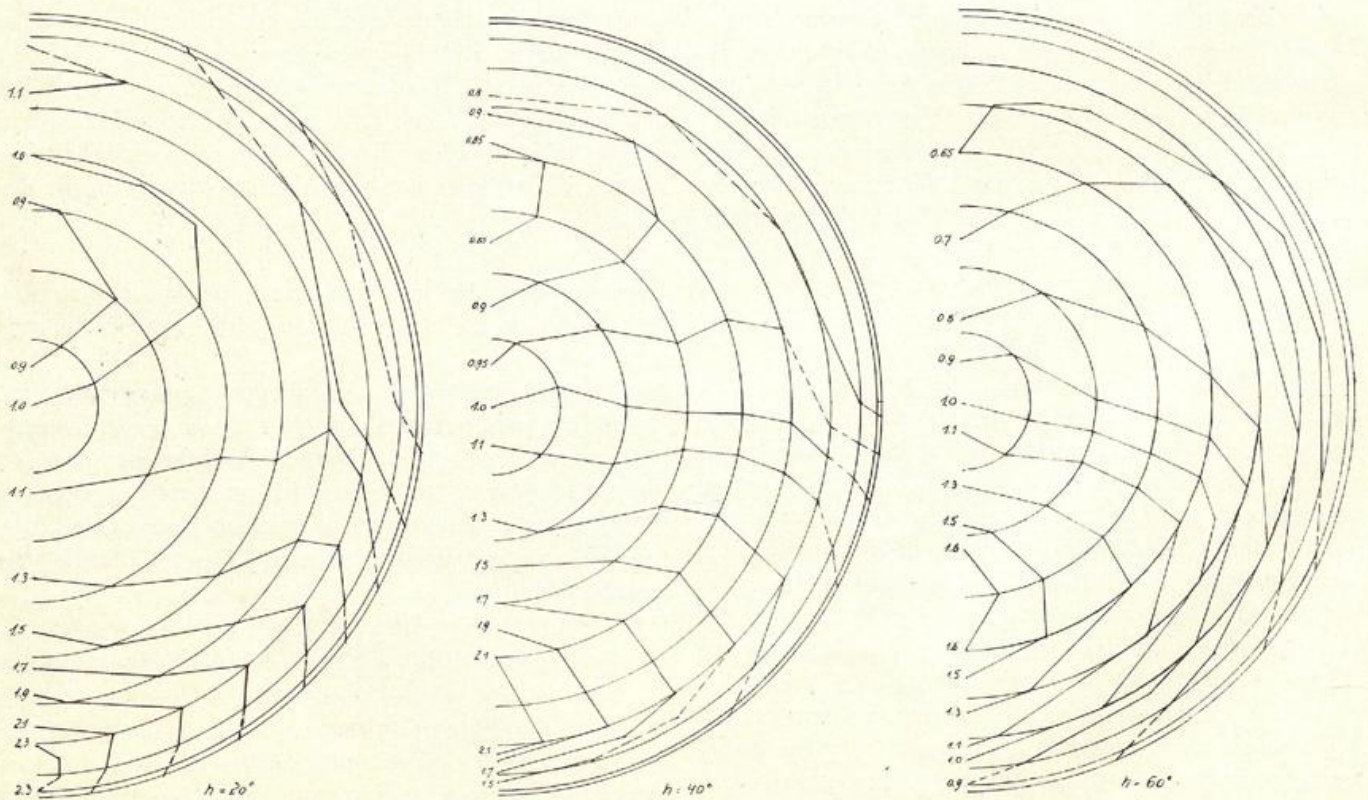


Fig. 11 b.

Es ist kaum zu erwarten, daß bei den mannigfachen möglichen Fehlerquellen des Übergangs mit jedesmal zu bestimmenden Filter- usw. Konstanten eine engere Übereinstimmung erreicht wird. Systematische Abweichungen zeigen sich zudem nur bei hohem Sonnenstande. Es muß offenbleiben, ob sie im Rahmen der Meßgenauigkeit liegen oder ob nicht doch die nur bei größten Sonnenhöhen auftretenden Endwellenlängen der Himmelsstrahlung bei der Messung hinter dem UV-Mattglas stärker geschwächt

werden als der Durchlässigkeitsbestimmung des Mattglases vor Sonne bei maximal 44 Grad Sonnenhöhe entspricht. Eine ähnliche Beziehung der mit der Kaliumzelle gemessenen Helligkeitsverteilung am Himmel auf gleichzeitige Messungen des Oberlichtes bezw. der direkten Sonnenintensität ist leider nicht möglich gewesen, da der begrenzte Empfindlichkeitsbereich der Zelle für die Messungen die Verwendung verschiedener Filter verlangte.



### III. Spektrographische Messungen der kleinsten Wellenlängen im ultravioletten Sonnenspektrum.

( < 320.)

Es ist oben wiederholt betont worden, daß die *quantitative* Erfassung der Sonnenintensität durch die Bestimmung der Strahlungs*qualität*, d. i. der spektralen Energieverteilung ergänzt werden muß. An Stelle streng monochromatischer Messungen im Bereiche des ganzen Spektrums vermag eine Anzahl mehr oder weniger weitreichender durch Filter definierter Spektralbezirke über die Verhältnisse Auskunft zu geben, aber am Ende des ultravioletten Spektrums ist der Wechsel der Intensität und der Ausdehnung des Spektrums in seiner Abhängigkeit vom Tages- und Jahresgang und vom optischen Zustand der Atmosphäre so bedeutend, daß auch für nah benachbarte Wellenlängen spezifische Unterschiede erwartet werden müssen. Hier ist eine spektrale Zerlegung der Strahlung nicht zu umgehen.

Die Ausdehnung und Intensität der letzten Wellenlängen im UV hat bekanntlich zuerst D o r n o <sup>10)</sup> über einen längeren Zeitraum spektrographisch registrierend verfolgt. Einzeluntersuchungen mit ungleich stärkerer Optik geben über den Intensitätsabfall am Ende des Spektrums genauere Auskunft, lassen aber — mit wechselnder Apparatur vorgenommen — die meteorologischen Gesetzmäßigkeiten nicht so klar hervortreten. Die sich widersprechenden Ergebnisse von C o r n u, der eine gesetzmäßige Ausdehnung der Länge des Spektrums mit zunehmender Seehöhe fand, und M i e t h e und L e h m a n n, die solche Erweiterung in verschiedener Höhe nicht bestätigen konnten, wurde durch W i g a n d s <sup>11) 74)</sup> Hochfahrt dahin geklärt, daß jedenfalls an dem selten klaren Tage dieser Fahrt in 9000 m Höhe praktisch dieselbe Begrenzung des UV besteht wie in 100 m Meereshöhe, und daß die von C o r n u gefundenen Variationen wohl durch die starke Intensitätszunahme der Strahlung am UV-Ende des Spektrums mit der Höhe bedingt sind. Die weiteren Untersuchungen über die physikalischen Ursachen des Abbruchs des UV-Spektrums im Zusammenhang mit dem Ozon-Problem <sup>18)</sup> der oberen Atmosphäre haben dann die Frage nach dem wechselnden Einfluß der unteren atmosphärischen Schichten auf den Intensitätsabfall stärker zurücktreten lassen. Die Verfolgung dieser Frage verlangt ein Instrumentarium genügend großer Dispersion, um die einzelnen Spektrallinien messen zu können, das andererseits hinreichend kompensiös ist, um schnelle und zuverlässige Messungen außerhalb des physikalischen Laboratoriums zu gestatten. Den hiernach kon-

struierten UV-Spektrographen und die angewandte Messungsmethode hat Verfasser in der Zeitschrift für Geophysik 1927 näher beschrieben. Die in verschiedener Seehöhe und unter wechselnden atmosphärischen Verhältnissen gewonnenen Spektrogramme lassen erkennen, daß der optische Trübungszustand der unteren Atmosphäre an der Schwächung der letzten Wellenlängen maßgebend beteiligt ist.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung kam es darauf an, durch untereinander vergleichbare Aufnahmen des UV-Sonnenspektrums zunächst die tägliche und jährliche Schwankung seiner Ausdehnung am Beobachtungsort zu den quantitativen Intensitätsmessungen der Gesamtstrahlung bezw. des kurzwelligen Spektralbereichs in Beziehung zu setzen. An allen Strahlungsmessungen wurde im Anschluß an die Intensitätsmessung das UV-Spektrum photographisch aufgenommen; für den täglichen Gang diente eine Platte, eine zweite zum Anschluß von 12 Uhr-Aufnahmen verschiedener Tage. Die Expositionszeit war so gewählt, daß bei höchststehender Sonne durch längere Belichtung keine weitere Ausdehnung des Spektrums zu erzielen war; bis zur Sonnenhöhe 30 Grad herunter trat dann bei gleichbleibender Belichtungsdauer keine Verkürzung des Spektrums ein, die in unzureichender Exposition begründet wäre. Bei Sonnenhöhen unter 30 Grad jedoch wurde die Intensität der Wellenlängengruppen unterhalb des starken Abfalls bei 302 bereits so sehr geschwächt, daß die Belichtungszeit verdoppelt wurde, um die letzten Wellenlängen mit gleicher Sicherheit zu erhalten. Erst bei den sehr niedrigen Sonnenständen unter 15 Grad — die im weiteren nicht mehr zur Diskussion herangezogen werden sollen — wiederholte sich dann der Vorgang, daß das stoßweise Absetzen des UV-Spektrums (bei 310,7) die letzten Wellenlängen beim Unterschreiten einer gewissen Intensität nicht mehr in Erscheinung treten ließ. Der hier auftretende Verlust, zahlenmäßig wechselnd, weil von der Höhe der noch meßbaren Intensitäten abhängig, betrug nach Parallelaufnahmen bei 15 Grad maximal 2,1  $\mu$ .

Die Ablesungen der letzten Wellenlängen erfolgten vor der Mattscheibe einer künstlichen Lichtquelle. Zur objektiven Feststellung der Ablesegenauigkeit wurden außerdem 40 Aufnahmen je eines wolkenlosen Tages im Monat photometriert — die Registrierungen führte die Physikalisch-Technische Reichsanstalt mit einem Zeiß'schen Registrierphotometer aus — und mit den (vorher) okular ab-

Tabelle 37.

**Kleinste im Sonnenspektrum wahrnehmbare Wellenlänge (Monatsmittel)**

a) zu jeder vollen Tagesstunde.

b) nach Sonnenhöhen geordnet

	12	11	10	9	8	7	6											
		13	14	15	16	17	18	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	
Januar	308,6	309	313,4					Januar	313,2	307,2								
Februar	302,9	303,9	306,1	312,1				Februar	311,8	307,9	304,3	302,3						
März	299,2	300,2	302	305,4	310,4			März	312,4	310,9	306,9	303,2	300,7					
April	298,7	299	299,7	302,3	304,8	311,3		April	312,7	309,6	306,6	303,8	302,4	300,2	299,3			
Mai	296,3	297,1	298,9	300,3	301,7	304,8	310,4	Mai	311,8	307,9	304,8	302,7	302,2	301	299,8	297,9	296,7	295,8
Juni	295,6	296,6	297,7	298,7	301,6	304,9	311,5	Juni	312,4	308,1	304,9	303	301,6	298,8	298,2	297,4	296,8	295,6
Juli	295,2	295,5	296,8	297,3	299,6	303	308,4	Juli	309,8	306	303,2	301	299,4	298,3	297,5	296,8	295	295,2
August	296	296,5	297,2	300,4	301,7	306,2	313	August	309,6	306,1	303,6	301,6	300,1	298,6	297,2	296,5	295,6	
September	297,7	298,4	300,1	302	308,5			September	314,7	308,5	303,5	301,1	299	297,7				
Oktober	301,5	303,1	305	311,1				Oktober	317	310,2	305	302,1						
November	308,5	310,4	318					November	311,8	307,8	304,8							
Dezember	309,5	309,7						Dezember	313,5	309,8								

Tabelle 38.

**Kleinste Wellenlänge des Sonnenspektrums an je einem wolkenlosen Tag**

(ausgewertet mit Registrierphotometer)

	12	*)	1	*)	2	*)	3	*)	4	*)	5	*)	6	*)				
Januar	304,8	2.7	307	0.9	313,4	-2.9										20.	1.	29.
Februar	302,8	3.7			305,2	3.2	310,7	1.1								21.	2.	29.
März	299,6	4.9			302,1	3.7	305,2	3.2								17.	3.	28.
April	297,4	-2.5					301,2	-2.5	302,8	-2.3	310,7	-5.1				10.	4.	28.
Mai	294,3	4.2							300,9	1.7	303	3.4	310,7			27.	5.	28.
Juni	295,2	1.5							300,8	1.8	304,6	2.2	313,2			2.	6.	28.
Juli	294,9	0.1							299,7	3.1	305,3	1.4	313,7	-2.0		13.	7.	28.
August	295,6	1.1					299,6	0.9	302,2	1.4						6.	8.	28.
September	297,5	1.1					302,9	-0.3	308,5	-3.1						22.	9.	28.
Oktober	300,6	-0.4					309,6	-4.8								14.	10.	28.
November	305,6	-4.2			(316)											10.	11.	28.
Dezember	309,4	-2.5	311,5	-4.5												10.	12.	28.

\*) Unterschied gegen Davos.

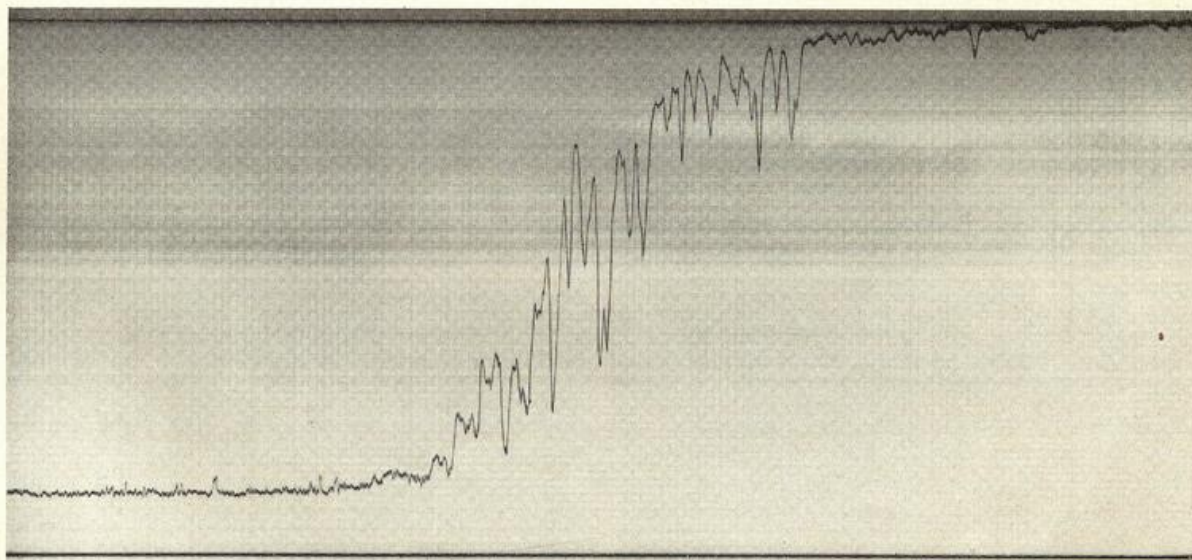
Registrierkurve des Intensitätsabfalls im Sonnenspektrum;  $302,2 < \lambda < 310,4$ .

Fig. 12.

gelesenen Werten verglichen. Die photometrisch erhaltenen Wellenlängen liegen im Mittel um  $0,5 \mu\mu$  niedriger; die Differenz schwankt und zeigt einen erklärlichen Höchstwert bei den Wellenlängen, da ein stärkerer Intensitätsabfall die letzten Spuren undeutlich werden läßt.

Die Jahresübersicht der kleinsten im Sonnenspektrum wahrnehmbaren Wellenlängen zeigt bei allen Sonnenhöhen im Herbst die erwartete weitere Ausdehnung des Spektrums gegenüber dem Frühjahr. In den Monaten Juli bis September werden die absolut kleinsten Wellenlängen

erreicht. Im Oktober tritt wieder eine relative Verkürzung des Spektrums ein, die zwar im Mittel der hier gemessenen Tage unverhältnismäßig stark ist und jedenfalls nicht als allgemeingültig angesehen werden darf. November und Dezember weisen einen sekundären Extremwert auf, aber die stärkste Verkürzung von 3 bis 5 nm wird erst in den Monaten März bis Mai erreicht. Den Tagesgang und den Verlauf unperiodischer Schwankungen abschließend zu beurteilen, ist die Zahl der vollständigen Tagesreihen zu gering; es reicht im Sommer häufiger das vormittags gemessene Spektrum weiter, während es im Herbst und Winter gegenüber dem Nachmittag vielfach in seinen letzten Wellenlängen geschwächt ist.

Lehrreich ist der Vergleich mit den in Davos und in Slutzk (bei Leningrad) gemessenen Spektren. Dornos Registrierungen sind — trotz der 1560 m Seehöhe von Davos — kürzer als die hier gewonnenen Aufnahmen. Ich habe bereits früher gelegentlich einer Untersuchung über den Intensitätsabfall im UV an Aufnahmen aus 1150 m Seehöhe in Riezlau im Allgäu die Ansicht geäußert, daß die an diesen festgestellte weitere Ausdehnung gegenüber Dornos Spektren nicht die reelle Existenz kürzerer Wellenlängen erschließen lasse, sondern ein Effekt der verbesserten Optik sei. Der Schluß erhält hier eine weitere Stütze. Die Tabelle 20 bei Dornos enthält die kleinsten an je einem wolkenlosen und klarsten Tage des Monats registrierten Wellenlängen und ist mit der obigen Tabelle 38 unmittelbar vergleichbar. Es zeigt sich, daß die Unterschiede systematisch sind: Abgesehen vom April, der von Dornos selbst als zu niedrig bezeichnet wird, werden von Januar bis September mittags in Aachen kürzere Wellen registriert; die Unterschiede nehmen aber mit sinkender Sonne ab und verkehren sich sogar ins Negative. Trotz der längeren Belichtungsdauer bei niedrigen Sonnenständen, die einer unreellen Verkürzung der Spektren entgegenwirkt, aber bei Dornos Registrierungen natürlich fehlt, wird also das Spektrum im Flachland mit abnehmender Sonnenhöhe auch an ganz klaren Tagen relativ schneller abgebrochen als im Hochgebirge; und in den Wintermonaten erheblich höherer optischer Trübung ist von vornherein schon mittags das Spektrum in Aachen kürzer als in Davos, um weiter bei niedrigerem Sonnenstande noch schneller abzubauen.

Die von Mamontowa<sup>79)</sup> ausgemessenen Spektren reichen dank dem größeren Auflösungsvermögen des benutzten Spektographen weiter ins UV; bei höchstem Sonnenstande ist der Unterschied nicht bedeutend, aber mit sinkender Sonne wird die Divergenz größer. Das ist auf die von Mamontowa vorgenommene wachsende Verlängerung der Expositionszeit mit sinkender Sonne zurückzuführen, deren Einfluß besonders bei niedrigen Sonnenständen bedeutend ist. Im Einzelfall ist es nun außerordentlich schwer zu entscheiden, ob eine „weitere Vergrößerung der Expositionszeiten keine Verlängerung des Kurzwellenteiles des Spektrums auf der Platte hervorrufen konnte“, da man sich während der photographischen Messung ja schließlich hiervon nicht überzeugen kann. Eine nach mittleren Verhältnissen geschätzte Expositionszeit aber kann

zu sehr überraschenden Resultaten führen. Bei großen Veränderungen der Belichtungszeit ergeben sich ferner Schwierigkeiten im Vergleich verschiedener Aufnahmen auch daraus, daß durch das im UV nie fehlende Streulicht die Platte im wechselnden Maße affiziert wird, und zwar verhält sie sich dann so, als ob sie schwach vorbelichtet

Die Endwellenlänge des UV-Sonnenspektrums in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.

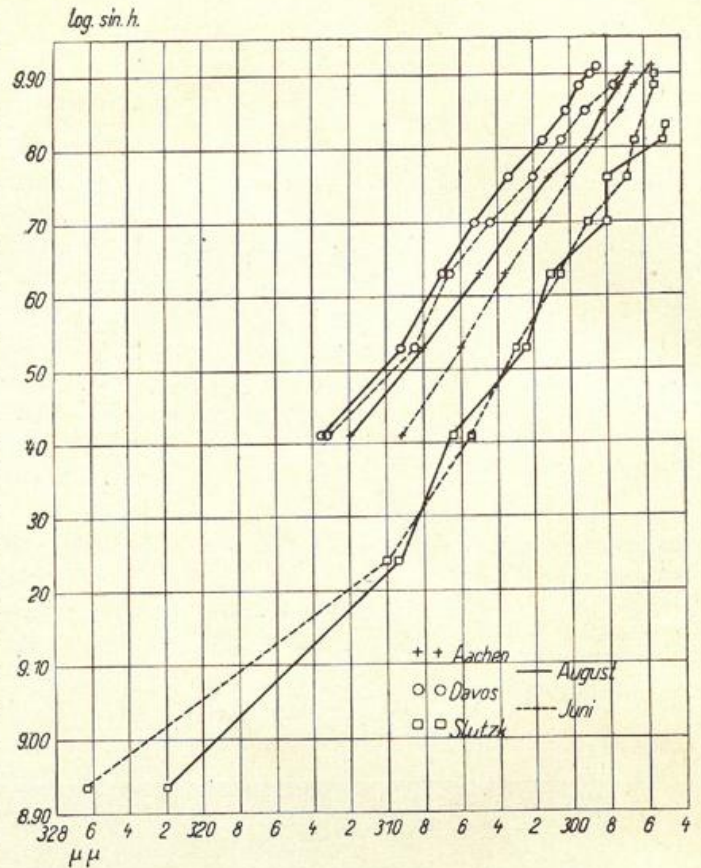


Fig. 13.

wäre, d. h. sie wird empfindlicher. Im Hinblick auf den — aus anderen Gründen — angestrebten Intensitätsvergleich der Spektren untereinander wurde daher bei unseren Aufnahmen eine konstante Belichtungszeit bzw. nur ein definierter Übergang beibehalten.

Die im Vergleich zu den Aachener Aufnahmen weitere Ausdehnung der z. T. gleichzeitigen Spektren in Slutzk; die bemerkenswerter Weise bei den markanten Sprüngen des UV-Spektrums sich stoßweise ändert, läßt erkennen, daß die spektrographische Erfassung der absolut kürzesten Wellenlänge eine Frage der Optik bzw. der Methodik ist und daß aus der qualitativen Ausdehnung des Spektrums nur mit Vorsicht Schlüsse auf die Intensitätsverhältnisse zu ziehen sind. Es findet sich aber andererseits in schöner Weise bestätigt, was oben aus dem Vergleich Aachen—Davos gefolgert wurde: Daß der optische Trübungszustand der unteren Atmosphäre an der Schwächung der letzten Wellenlängen maßgebend beteiligt ist und daß daher vor allem bei niedrigen Sonnenständen das Spektrum häufig

viel eher abbricht, als nach den Messungen in größerer Seehöhe und bei reinerer Atmosphäre zu erwarten ist. Beachtlich ist unter diesem Gesichtspunkt auch, daß das Sonnenspektrum im allgemeinen größere Ausdehnung ins UV zeigt als das Spektrum des Himmels. Daß aber schon bei Sonnenhöhen unterhalb 10 Grad (wo zunächst die bei längeren Wellen gemessene Flächenhelle der Sonne im Vergleich zum Himmel noch bedeutend ist) nach den mitgeteilten Messungen in Slutzk das Spektrum der Sonne viel eher abbricht als das zenitale Himmelspektrum.

M a m o n t o w a stellt die Abhängigkeit der gefundenen Endwellenlängen von der Sonnenhöhe durch eine Kurve dar, die asymptotisch den Achsen des Koordinatensystems sich nähert. Zweckmäßiger und übersichtlicher ist es, die Größe  $\log \sin h$  als Abszisse zu wählen. C o r n u hat bekanntlich eine lineare Abhängigkeit der Endwellenlänge zum  $\log \sin h$  aus seinen Messungen erschlossen; dies läßt sich hier nur bei Vernachlässigung der jahreszeitlichen usw. Abweichungen verifizieren. Bei Berücksichtigung indessen der im Einzelfall bei gleichen Sonnenhöhen verschieden weiten Ausdehnung des UV-Spektrums ergibt sich eine Schar von Geraden, die einander nahezu parallel laufen; gemeinsam ist ihnen, daß bei den Endwellenlängen unterhalb des Intensitätssprungs bei 302 die Neigung zur  $\lambda$ -Achse geringer ist. Es entspricht dies der oben beschriebenen Verkürzung, dem relativ steileren Abfall des UV-Spektrums bei niedrigen Sonnenständen und unter Wirkung stärkerer Trübung der Atmosphäre. Für die Endwellenlängen unter 302 entsprechend Sonnenhöhen über 30 Grad, lautet die Gleichung einer Geraden, die den in Tabelle 38 wiedergegebenen Beobachtungen zugeordnet werden kann

$$\lambda_m = 292,5 - 31,2 \log \sin h;$$

für die anschließenden größeren Wellenlängen ergibt sich

$$\lambda_m = 289 - 40,6 \log \sin h;$$

im Mittel sämtlicher Beobachtungen ist ihre Neigung etwas geringer:  $(293 - 28,3 \log \sin h$  bzw.  $290,1 - 38,1 \log \sin h)$ . D o r n o s Registrierungen ergeben die mittlere Beziehung:  $296 - 26,3 \log \sin h$ . Für die Monate Juni und August sind die Mittelwerte der Endwellenlängen des UV-Sonnenspektrums zum Vergleich der drei Beobachtungsorte in der Figur dargestellt.

Wenn die Neigung der Cornu-Geraden als ein Maß der den Abbruch des Sonnenspektrums verursachenden Lichtschwächung angesehen werden darf, so kommt hier in den Mittelwerten zum Ausdruck, daß diese in Meeresebene bedeutend stärker ist als in größerer Seehöhe und bei niedrigen Sonnenständen noch weiterhin erheblich ansteigt. Inwieweit man allerdings in der Abnahme der Richtungskonstanten mit wachsender Seehöhe zahlenmäßig eine progressive Annäherung an den „Grenzfall reiner Ozonschwächung“ sehen darf, erscheint mindestens fraglich. Die von G ö t z <sup>28)</sup> für Arosa — zwar für eine gelegentliche Einzelmessung — angegebene Neigung der Cornu-Geraden mit  $18,0 \log \sin h$  ist schon steiler als unter Zugrundelegung der neuestens von

L ä u c h l i erhaltenen Ozon-Absorptionskoeffizienten für alleinige Wirkung des Ozons sich ergeben müßte.

Es soll in diesem Zusammenhange auf die Frage nach den physikalischen Ursachen des Abbrechens des Sonnenspektrums nicht näher eingegangen werden. Es kann kein Zweifel sein, daß der vorzeitige Abbruch des Spektrums auf den Ozongehalt der Erdatmosphäre zurückzuführen ist; allerdings berechtigt unsere heutige beschränkte Kenntnis über die Ozon-Absorption uns nicht, die *quantitativen* Angaben des Ozongehaltes, viel weniger noch die der errechneten Schwankungen als gesichert anzusehen. Der Ozon-Absorptionskoeffizient ist bisher im Laboratorium an Ozonsauerstoffgemischen von Atmosphärendruck gemessen worden; ob er unter den gänzlich anderen Verhältnissen der oberen Atmosphäre bei einem Gesamtdruck von 1 mm und einem Partialdruck des Ozons von  $\frac{1}{1000}$  mm, auch bei Gegenwart fremder Gase und Kerne, unverändert bleibt, ist eine noch ganz offene Frage, auf die von verschiedenen Seiten hingewiesen wurde. Andererseits sind die Extinktionskoeffizienten der atmosphärischen Zerstreuung im UV. nur unvollständig bekannt (s. o. pag. 32). Es besteht eine auffallende Parallelität der errechneten Ozonschwankungen zum Gang der optischen Trübung im sonstigen Spektrum, die gegen eine alleinige Verursachung der Schwankungen des UV-Spektrums durch Ozon hoher atmosphärischer Schichten und die Annahme ihrer Unabhängigkeit von troposphärischen Vorgängen spricht. Änderungen der physikalischen Bedingungen des atmosphärischen Ozons sind offenbar mit diesen verbunden. Neuere Untersuchungen über die Ozonabsorption der unteren Atmosphäre haben einen erheblich höheren Ozongehalt ergeben als noch vor kurzem angenommen wurde; daneben aber auch eine der Ozon-Absorption (und der molekularen Diffusion) überlagerte weitere Absorptionswirkung, die im Bereich der hier in Betracht kommenden Wellenlängen (zwischen 296 und 313) das  $2\frac{1}{2}$  bis 25fache dieser Ozonwirkung ausmacht, damit aber in Teilen dieses Spektralbereichs an die Größenordnung der für die obere Atmosphäre angenommenen Ozonschwächung heranreicht, beispielsweise für die viel benutzte Wellenlänge 302 40% dieser beträgt. F a b r y <sup>20)</sup> schreibt diese Absorption dem Sauerstoff zu, dessen Spektrum wohlbekannte Banden unterhalb 210, bei höherer Temperatur schon unterhalb 250 aufweist; in großen Schichtdicken soll ihre Wirkung sich bis ins Sichtbare erstrecken.

Die Auswertung spektrographischer Messungen ist mühsam und erfordert ein umfangreiches und kostspieliges Gerät; für die Verfolgung schnell wechselnder atmosphärischer Vorgänge wäre eine Methode okularer Messungen vorzuziehen. Hierzu scheint die Cadmiumzelle, bei ihrer relativen Unempfindlichkeit für langwelliges Streulicht der Wellenlängen oberhalb 320 in Verbindung mit unserem UV-Spektrographen brauchbar. Untersuchungen des ultravioletten Spektrums mit diesem kombinierten Instrumentarium sind in Angriff genommen; über ihre Ergebnisse wird zu gegebener Zeit berichtet werden.



## Literaturverzeichnis.

- 1) Abbot, C. G.: Annals of the Astrophys. Obs. of the Smiths Inst. III 1913 und IV 1922.
- 2) — Smiths. solar radiation researches Gerl. Beitr. 1927.
- 3) Angström, A.: On the atmospheric transmission of sun' radiation I und II Geogr. Ann. 11 u. 12. 1929/30.
- 4) Aurén, A.: Illumination from sun and sky. Medd. fr. met.-hydr. Anstalt. Stockholm 1930.
- 5) Boda und Roth: Der Trübungsgrad der Atmosphäre über Frankfurt am Main und über dem Taunus. M. Z. 1922.
- 6) Boutaric: Annales de Physique IX und X. 1918.
- 7) Büttner, K.: Filter für lichtelektrische Zellen. M. Z. 1928.
- 8) — Der Einfluß des Großstadtdunstes auf die Sonnen- und Himmelsstrahlung. M. Z. 1929.
- 9) Dobson, G. M. B.: Measurements of the amount of Ozone in the earth's atmosphere. Proc. Roy. Soc. I—IV, 1927/30.
- 10) Dorno, C.: Licht und Luft im Hochgebirge. Braunschweig 1911.
- 11) — Himmelselligkeit, Himmelspolarisation und Sonnenintensität in Davos. Veröff. d. Pr. Met. Inst. Abh. 6, Berlin 1919.
- 12) — Fortschritte in Strahlungsmessungen. M. Z. 1922.
- 13) — Grundzüge des Klimas von Mouttas Muraigl. Braunschweig 1927.
- 14) — Procès verbaux des séances de la Conf. int. à Copenhague, 1929.
- 15) —, Meißner und Vahle: Zur Technik der Sonnenstrahlungsmessungen. M. Z. 1924.
- 16) — und Lindholm: Helligkeitsverteilung über dem Himmel im UV. M. Z. 1929.
- 17) — und andere: Strahlungsklimatische UV-Messungen mittels der Cadmiumzelle. M. Z. 1930.
- 18) Fabry, Ch.: Rapport de la Réunion de l'Ozone et de l'absorption atmosphérique. Gerl. Beitr. Sonderheft 1929.
- 19) — und Buisson: Etude de l'extrémité ultraviolette du spectre solaire. Journ. de Phys. Sér. 6, 2. 1921.
- 20) — Sur l'absorption des radiations dans la basse atmosphère et le dosage de l'ozone. C. R. des séances de l'Académie; fevr. 1931.
- 21) Fleischer und Goldschmidt: Über Charakteristiken von Alkalizellen und ihre Bedeutung für die lichtelektrische Meßmethode. Phys. Zeitschr., Band 29. 1928.
- 22) Feußner, K. und Dubois, P.: Trübungs faktor, precipitabel water, Staub. Gerl. Beitr. 27, 1930.
- 23) Fowle, F. E.: Smithsonian Miscell. collections 68 Nr. 8, 1917; 69 Nr. 3, 1918; 74 Nr. 7, 1923.
- 24) Gockel, A.: Über die Durchlässigkeit der Atmosphäre für Licht- und Wärmestrahlen. M. Z. 1923.
- 25) Götz, F. W. P.: Das Strahlungsklima von Arosa. 1926.
- 26) — Intensitäten des kurzwelligsten Sonnenultraviolettes. Strahlentherapie. 1929.
- 27) — Die Ozonschicht der hohen Atmosphäre. M. Z. 1929.
- 28) — Ozonbestimmung ohne Intensitätsmessung. Gerl. Beitr. 1929.
- 29) Hartmann, W.: Trübungs faktor für kurzwellige Sonnenstrahlung und atmosphärische Vorgänge. M. Z. 1925.
- 30) — Blauultraviolette Sonnenstrahlung und atmosphärische Vorgänge. Gerl. Beitr. 18, 1927.
- 31) H. von Halban und Ebert: Zur Frage der Proportionalität zwischen Lichtstärke und Photostrom bei edelgasgefüllten Alkalimetallzellen. Z. f. Ph. 1923.
- 32) Hoelper, O.: Strahlungsmessungen im Allgäu. M. Z. 1924.
- 33) — Über die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Sonnenstrahlung. Z. f. Geophys. 1925.
- 34) — Über das Strahlungsklima des Rheinstromgebietes. Wetter 1925.
- 35) — Über die Intensitätsverteilung im UV-Sonnenspektrum. Z. f. Geophys. 1927.
- 36) — Über die spektrale Durchlässigkeit der Atmosphäre. Réunion de l'Ozone. Gerl. Beitr. 1929.
- 37) — Die spektrale Durchlässigkeit der Atmosphäre. Ber. d. strahlungsklim. Stationsnetzes im Nordseegebiet. Bd. II, 1928.
- 38) — Messungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung im kurzwelligen Spektrum. Ber. d. strahlungsklim. Stationsnetzes i. Nordseegebiet. Bd. III, s. o. Anm. pag. 27.
- 39) — Über die Durchlässigkeit dunstgetriebener Atmosphäre. Köppenband. Gerl. Beitr. 1931.
- 40) Jensen, Ch.: Atmosphärische Polarisation und Reinheitsgrad der Atmosphäre. Berichte des strahlungsklim. Stationsnetzes i. Nordseegebiet. 1928.
- 41) Kastrow, W.: Durchlässigkeit der absolut reinen und trockenen Atmosphäre für Sonnenstrahlung. M. Z. 1928.
- 42) — Zur Frage nach der Abschwächung der Sonnenstrahlen in der irdischen Atmosphäre. M. Z. 1930.
- 43) Kähler: Strahlungs- und Helligkeitsmessungen in Kolberg, Abh. Pr. Met. Inst., Nr. 7, 1920.
- 44) Kimball, H.: Records of the total solar radiation intensity. M. W. Rev. 1924.
- 45) — Energie distribution i. the visible spektrum of sun light and skylight. M. W. Rev. 1925.
- 46) — Measurements of solar radiation intensity and determination of its depletion by the atmosphere. M. W. Rev. 1927 u. 1930.
- 47) Köhler, H.: Über Tropfengruppen und einige Bemerkungen zur Genauigkeit der Tropfenmessungen. M. Z. 1925.
- 48) Kühl, W.: Die registrierende Kaliumzelle des Potsdamer Observatoriums. Tätigkeitsber. Pr. Met. Obs. 1930.
- 49) Ladenburg, R.: Bemerkungen über die Absorptionskoeffizienten des Ozons. Gerl. Beitr. 24, 1929.
- 50) Lauscher, F.: Über den Trübungs faktor. M. Z. 1930.
- 51) Lindholm, F.: Über die Dunsttrübung der Atmosphäre in Davos. Gerl. Beitr. XVIII, 1927.
- 52) — Normalwerte der Gesamtstrahlung und der auf die Cadmiumzelle wirksamen UV-Strahlen für Davos. Festschrift Schweiz. Naturf. Ges. 1929.
- 53) — Die atmosphärische Trübungs dichte in einzelnen kurzwelligen Spektralbereichen. Strahlentherapie. 1931.
- 54) Linke, F.: Transmissionskoeffizienten und Trübungs faktor. Beiträge z. Phys. d. fr. Atm. 1922.
- 55) — Über den Trübungs faktor. M. Z. 1930.
- 56) — Kritik der Cadmiumzelle. Strahlentherapie. 1930.
- 57) Marten, W.: Normalwerte der Sonnenstrahlung in Potsdam. M. Z. 1920.
- 58) — Zur Frage der absoluten pyrheliometrischen Skala. M. Z. 1922.
- 59) — Das Strahlungsklima von Potsdam. Veröff. Pr. Met. Inst. 1926.
- 60) Milch, W.: Über den Einfluß größerer Teilchen in der Atmosphäre auf das Polarisationsverhältnis des Himmelslichtes. Z. f. Geophys. 1925.
- 61) — Über die Extinktion der langwelligen und kurzwelligen Sonnenstrahlung in der Atmosphäre. Gerl. Beitr. XVI, 1927.
- 62) Mörkofer, W.: Die Intensität der Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in Davos. Festschr. Schweiz. Naturf. Ges. 1929.
- 63) Peppler, A. u. W.: Beiträge zum Strahlungsklima Badens. Veröff. Bad. L W W 1925.

- 64) — Über die unterste Luftschicht, besonders in der Rheinebene. Wetter 1925.
- 64 a) Pepler, A.: Trübungserscheinungen in der Stratosphäre. Wetter 1929.
- 65) Rocard, M. Y.: Theorie moléculaire de la diffusion de la lumière par les fluides. Annales de Phys. 1928.
- 66) Rosenberg, H.: Ermüdungserscheinungen an Alkalimetallzellen usw. und ihr Einfluß auf die Ergebnisse photometrischer Messungen. Z. f. Phys. 1921.
- 67) Schultze, W. und Händel, F.: Vergleichende Strahlungsuntersuchungen zwischen Hochgebirge und Mittelgebirge. Strahlentherapie. 1929.
- 68) Süring, R.: Strahlungsklimatische Untersuchungen in Agra. (Tessin) M. Z. 1924.
- 69) — Ergebnisse und Aufgaben der meteorologischen Strahlungsmessungen. Z. f. Geophys. 1928.
- 70) Wiener, Ch.: Die Helligkeit des klaren Himmels I und II, Nov. Acta. Abh. d. Leop. Karol. Akademie Halle, Band 73 und 91, 1900 und 1909.
- 71) Wigand, A.: Das ultraviolette Ende des Sonnenspektrums in verschiedenen Höhen. Ber. d. D. Phys. Ges. 1913.
- 72) Mamontowa, L.: Der tägl. Gang des ultravioletten Endes des Sonnenspektrums nach den Messungen in Slutzk bei Leningrad. M. Z. 1931.



IR 22



