Zeitschrift: Helvetica Physica Acta

Band: 14 (1941)

Heft: VII

Artikel: Über die Trübung der Atmosphäre durch Wüstenstaub und Schneetreiben

Autor: Mörikofer, W.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-111194

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 08.08.2025

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

Über die Trübung der Atmosphäre durch Wüstenstaub und Schneetreiben

von **W. Mörikofer.**

(10. XI. 1941.)

Da in den letzten Jahren mehrfach grosse Verfrachtungen von Saharastaub durch subtropische Stürme nach Mitteleuropa und in die Alpen aufgetreten sind, wurde diesen Vorgängen in den Kreisen der Geophysiker eine vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt. Speziell am Lichtklimatischen Observatorium Arosa wurden das Auftreten solcher Erscheinungen und seine synoptischen Bedingungen sowie der kolloid-meteorologische Zustand der Atmosphäre durch P. Götz und H. Glawion in mehreren Arbeiten untersucht. Andererseits habe ich selbst[1]) nachgewiesen, dass die von E. Gehrcke aufgestellte Behauptung, die Heilwirkung der alpinen Höhenkurorte sei durch Ablagerungen von Wüstenstaub zu erklären, durch keinerlei Beweise gestützt wird und mit verschiedenen anerkannten Tatsachen im Widerspruch steht.

Wüstenstaub in der Luft Mitteleuropas ist zeitweise nur selten, zu gewissen Zeiten etwas häufiger beobachtet worden; besonders in den letzten Jahren haben solche Vorgänge eine gesteigerte Beachtung gefunden. Die Erscheinung der von Wüstenstaub erfüllten Luft ist sehr augenfällig und lässt sich meist ohne besondere Hilfsmittel erkennen. Dabei kann es vorkommen, dass der Himmel zwar wolkenlos ist, jedoch auch im Hochgebirge eine zwischen grau und gelblich variierende Färbung zeigt, die sich unvorteilhaft von dem satten Himmelsblau unterscheidet, das normalerweise das Hochgebirgsklima auszeichnet. Man erblickt dann die Landschaft durch einen dichten, gelegentlich auch leicht violett getönten Schleier, in ähnlich gedämpfter Beleuchtung, wie sie etwa bei lokalen Regenschauern durch einen Regenvorhang aussieht. Dabei braucht gar nicht etwa Regen aufzutreten, sondern es können föhnartige Wärme und grosse Lufttrockenheit herrschen, unter Umständen auch ein heftiger Südwind wehen.

Immerhin führen solche Südstürme häufig zu nachfolgendem Warmfrontregen, der den Staub aus der Luft herauswäscht und dadurch selbst zum braunen Staub- oder Schlammregen wird; dieser verursacht überall, wo er auffällt, Verschmutzung und lässt beim Trocknen einen bräunlichen Rückstand zurück.

Es ist klar, dass eine derartige Trübung durch massive Staubsuspension eine deutliche Schwächung der Intensität der direkten Sonnenstrahlung zur Folge haben muss, und es drängt sich die Frage auf, von welcher Grössenordnung diese Reduktion der direkten Strahlung ist, ob sie selektiv ist und gewisse Spektralbereiche bevorzugt, und ob ein Teil der extingierten direkten Strahlung zur Steigerung der diffusen Himmelsstrahlung beiträgt. Die Fragen des Betrages und der Spektralabhängigkeit der Strahlungsschwächung haben Götz[2]) und Glawion[3]) an Hand einzelner Fälle in kurzen Notizen berührt; Glawion[3]) hat die meteorologischen Bedingungen für das Auftreten von Wüstenstaubfällen in den Alpen und die Ergebnisse von Staubzählungen ausführlich bearbeitet.

Es erschien mir immerhin wünschenswert, die Strahlungsverhältnisse bei wüstenstauberfüllter Atmosphäre an etwas grösserem Material zu untersuchen. Wir haben deshalb an einigen geeigneten Tagen mit Wüstenstaub und gleichzeitigem Sonnenschein die Strahlungsverhältnisse in Davos untersucht; an die Diskussion der Resultate dieser Messungen schliesst noch ein einzelner Tag an, an dem die Strahlungsverhältnisse durch intensives Schneetreiben in der Luft modifiziert waren.

Das Beobachtungsmaterial.

Unserer Untersuchung wurden 5 Fälle von wüstenstauberfüllter Luft zu Grunde gelegt. Sie fallen auf folgende Daten:

1) 25. Mai 1935: An diesem Tage ging am Ostrand der Alpen ein Schlammregen nieder, der nach Wetterlage und Strömungsverhältnissen den Ursprung seiner Sandbeimengung in gewaltigen Sandstürmen der Sahara gehabt haben muss. Die Vorgänge am Alpenostrand wurden von W. Schmidt[4]) beschrieben. In den Graubündner Alpen fiel kein Niederschlag, und es wurden auch keine Staubablagerungen beobachtet. Dagegen machten sich eine rötlich-violette bis staubgraue Färbung der Landschaft sowie eine starke Aureole um die Sonne bemerkbar. Am Observatorium Davos wurde notiert, dass „Tinzenhorn (im SW) und Rhätikon (im N) wie im Regen zu liegen scheinen". Die Erscheinung wurde zunächst auf aussergewöhnlich starken Dunst in sehr hohen Schichten zurückgeführt, der eine starke Reduktion der Sonnenstrahlungsintensitäten zur Folge hatte; auf diese hat auch Götz[2]) hingewiesen.

2) 20. Mai 1937: Ein Tag mit visuell auffallend starker Staubtrübung. Bei heftigem Südwind von föhnartiger Wärme und Lufttrockenheit zeigten Himmel und Landschaft eine gelblich-graue

Färbung. Auf mit verdünntem Glyzerin überzogenen Glasplatten gelang es uns, die gelben Staubpartikelchen aufzufangen. Abends setzte dann ein heftiger Regen ein, der die stauberfüllte Atmosphäre auswusch; als Folge davon konnte man am folgenden Morgen auf den Flachdächern einen fein pulverigen, gelb-bräunlichen Rückstand finden. Wir sammelten auf dem Dache des Davoser Observatoriums von diesem Rückstand, und Herr Dr. A. v. Moos von der Geotechnischen Prüfungsstelle der E.T.H. in Zürich war so freundlich, diese Proben zu untersuchen. Nach seinem mikroskopischen Befund setzte sich der Anteil an Teilchen grösser als 2—5 μ zusammen aus den Komponenten: Muskowit (max. Korngrösse bis 80 μ), Karbonate (max. Korngrösse ca. 10 μ), saure Plagioklase, Quarz, Biotit (gelbgrün und braun), Hornblende (grün), Limonit und weiteren unbestimmbaren Aggregaten; zur Hauptsache lag die Korngrösse des Staubes jedoch unter 2—5 μ, so dass die Bestimmung der Beschaffenheit dieser Teilchen unmöglich war. Auch an diesem Tage konnten wir trotz zeitweise starker Bewölkung einige Strahlungswerte bestimmen.

3) 9.—11. Juni 1937: Der 9. Juni war ein prachtvoller Strahlungstag mit hohen Strahlungswerten bis nach Mittag. Von 13 Uhr ab fiel jedoch die Strahlungsintensität ganz wesentlich stärker, als dem Sinken der Sonne entsprach, und schon am späteren Nachmittag machte sich eine starke Lufttrübung mit intensiver Aureole um die Sonne bemerkbar. Der folgende Morgen brachte stark gedrückte Strahlungsintensitäten bei wolkenlosem Himmel; erst mittags setzte eine stärkere Bewölkung, vorwiegend von Cirren und Cumuli, ein. Während des ganzen Tages herrschte wieder eine auffallend intensive Lufttrübung. Auch am 11. Juni dauerte die Staubtrübung noch an, doch war ihre strahlungsschwächende Wirkung nicht mehr so stark. Wegen wechselnder Bewölkung konnten nur am frühen Morgen und am späteren Nachmittag einige Strahlungswerte bestimmt werden.

4) 25. Juni 1938: Ein nahezu wolkenloser Strahlungstag, der schon morgens reichlichen Dunst und von Mittag an aufkommende Staubtrübung mit auffallender Strahlungsabnahme zeigte. Die afrikanische Herkunft des Staubes wurde aus dem Aussehen der Landschaft vermutet und ausserdem durch die gleichzeitigen Feststellungen des Observatoriums Arosa belegt.

5) 25. Juli 1941: Strahlungstag mit zeitweise stark wechselnder Bewölkung (vorwiegend Cumuli) und intensiver Staubtrübung; auch die stark gedrückten Strahlungswerte stehen damit im Einklang.

*

Für die Beurteilung der Strahlungsintensitäten dieser Tage stehen uns verschiedene *Messmethoden* zur Verfügung:

Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung wurde teils mit dem Bimetallaktinometer MICHELSON gemessen, teils mit einem thermoelektrischen Pyrheliographen registriert. Die Empfindlichkeit der beiden Instrumente wird regelmässig mit einem ÅNGSTRÖM'schen Kompensationspyrheliometer bestimmt und die Resultate in der um 3,5% erhöhten ÅNGSTRÖM-Skala in gcal/cm²min ausgedrückt. Beide Instrumente ergeben die kalorische Energie der direkten Sonnenstrahlung. Die Vorschaltung der Schott'schen Glasfilter RG 2 und OG 1 gestattet die Unterteilung des ganzen Sonnenspektrums in die drei spektralen Teilbereiche:

> 623 mμ (Rot und Ultrarot),
524—623 mμ (Gelb und Grün),
<524 mμ (Blau und Violett).

Zur Registrierung der Summe der von Sonne und Himmel auf die Horizontalfläche einfallenden kalorischen Strahlungsenergie (Globalstrahlung) wurden ein Bimetallaktinograph ROBITZSCH und an einzelnen Tagen ausserdem ein Sternpyranometer LINKE benützt. Durch Abschattung der direkten Sonnenstrahlung mittels eines geeigneten Sonnenschirmes kann man vorübergehend die kalorische Einstrahlung des Himmels allein aufzeichnen. Auch diese Instrumente wurden durch Eichung auf die um 3,5% erhöhte ÅNGSTRÖM-Skala bezogen. Genauere Angaben über die verwendeten Strahlungsmess-, Registrier- und Filtermethoden vgl. MÖRIKOFER[5]).

Die Strahlungsverhältnisse bei Wüstenstaub.

Die Ergebnisse unserer Beobachtungen und Berechnungen über die Strahlungsverhältnisse bei Auftreten von Wüstenstaub in der Atmosphäre sind in Tab. 1 für einstündige Abstände zusammengestellt. Die Zeiten sind in wahrer Sonnenzeit (WSZ) angegeben. Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung ist ausgedrückt in gcal/cm²min und daneben angegeben, wieviel Prozente des für den betreffenden Zeitpunkt gültigen Normalwertes die beobachtete Strahlung ausmacht.

Eine ganz wesentliche Voraussetzung zur Beurteilung der Strahlungsverhältnisse an Tagen mit staubgetrübter Luft ist die Kenntnis der Strahlungsnormalwerte an ungestörten Tagen. Für die Totalstrahlung konnte ich als Normalwerte die Resultate einer noch unveröffentlichten Verarbeitung des Jahrzehnte umfassenden Davoser Beobachtungsmaterials durch meine Mitarbeiterin, Frl.

Tabelle 1.

Intensität der Sonnen- und Himmelsstrahlung an Tagen mit Wüstenstaub.

I = Intensität der direkten Sonnenstrahlung (senkrecht zur Strahlenrichtung)
S = Intensität der direkten Sonnenstrahlung auf Horizontalfläche
H = Intensität der diffusen Himmelsstrahlung auf Horizontalfläche
$S + H$ = Globalstrahlung von Sonne und Himmel auf Horizontalfläche
B = Beobachtungstag
N = Normalwert

Tag	WSZ	I		$S+H$		H	
		B	% v. N	B	N	B	N
1935 Mai 25.	9.00	1,09	79				
	10.00	1,13	79				
1937 Mai 20.	7.40			0,83	0,83		0,11
	8.20			0,42	1,00	0,42	0,12
	9.00			1,06	1,18		0,13
	10.00			1,22	1,32		0,14
	12.00	0,97	67	1,37	1,41		0,14
	13.00	0,97	67	1,35	1,39		0,14
Juni 9.	8.00	1,34	103	0,88	0,90		
	9.00	1,40	102	1,08	1,10	0,10	0,13
	10.00	1,42	100	1,22	1,26	0,12	0,14
	11.00	1,44	100	1,30	1,35	0,15	0,15
	12.00	1,42	98	1,35	1,38		0,16
	13.00	1,41	97	1,39	1,36		
	14.00	1,34	94	1,35	1,28		
	15.00	1,28	93	1,12	1,10		
	16.00	1,18	91	0,95	0,97		
	17.00	1,04	87	0,67	0,76		
	17.45	0,86	79				
Juni 10.	8.00	1,06	82	0,86	0,90		
	9.00	1,08	79	1,03	1,10	0,26	0,13
	10.00	1,08	76	1,20	1,26	0,29	0,14
	11.00	1,04	72	1,30	1,35	0,34	0,15
	12.00			1,37	1,38		0,16
Juni 11.	8.00	1,10	85	0,83	0,90		
	9.00	1,20	88	1,03	1,10	0,17	0,13
	15.00	1,29	94				
	16.00	1,15	89				
	17.00	1,05	88				
1938 Juni 25.	7.00	1,12	94	0,62	0,68		
	8.00	1,26	97	0,89	0,92		
	9.00	1,30	94	1,03	1,12	0,12	0,13
	10.00	1,31	92	1,18	1,26	0,17	0,14
	11.00	1,26	88	1,24	1,35	0,19	0,15

Tabelle 1 (Fortsetzung).

Tag	WSZ	*I*		*S* + *H*		*H*	
		B	%v. *N*.	*B*	*N*	*B*	*N*
1938 Juni 25. (Forts.)	12.00	1,30	90	1,25	1,38		0,16
	13.00	1,20	83	1,22	1,35		0,15
	14.00	1,16	82	1,12	1,26		0,14
	15.00	1,14	83	1,02	1,13		0,13
	16.00			0,82	0,93		
	17.00			0,57	0,70		
1941 Juli 25.	8.00			0,72	0,84		
	9.00			0,91	1,06		
	10.00	1,17	83	1,08	1,20		
	11.00	1,18	82	1,25	1,32		
	12.00			1,30	1,37		

Dr. G. Perl, benützen. Zur Beurteilung der einzelnen Spektralbereiche verwendete ich als Vergleichsmaterial die Ergebnisse einer eigenen Untersuchung[6]); da sich diese jedoch auf ein einzelnes Jahr bezieht, schien es mir vorsichtiger, nicht die Absolutwerte, sondern die Prozentzahlen der Anteile der Spektralbereiche zum Vergleich heranzuziehen, da wohl angenommen werden darf, dass auch bei Abweichungen der Strahlungsintensitäten die Verteilung auf die Spektralbereiche geringere Schwankungen zeigen wird als die Intensitäten selbst.

Greifen wir zur Beurteilung der Schwächung der Totalstrahlung durch Wüstenstaub die besonders instruktive, zusammenhängende Periode vom 9.—11. Juni 1937 heraus, so finden wir, in Übereinstimmung mit der oben gegebenen kurzen Beschreibung der visuellen Feststellungen, dass die Strahlungsintensitäten am 9. Juni bis um Mittag sehr hoch, anfangs sogar übernormal waren. Entsprechend der am Nachmittag einsetzenden Staubtrübung gingen von 13 Uhr ab die Strahlungsintensitäten zurück, der Vergleich mit den Normalwerten lässt eine progressive Zunahme der Staubtrübung erkennen, so dass vor Sonnenuntergang die Strahlungsschwächung bereits 21% betrug. Am nächsten Morgen war die Strahlungsreduktion zunächst ähnlich und verstärkte sich bis 11 Uhr auf 28%. Am Nachmittag war die Anstellung von Messungen der Sonnenstrahlung durch aufkommende Bewölkung verunmöglicht. Bis zum Morgen des 11. Juni war die Strahlungsschwächung auf 15% zurückgegangen, bis zum Nachmittag desselben Tages nahm sie weiter auf durchschnittlich 10% ab und blieb dann bis zum Morgen des 12. Juni unverändert. So lässt sich an diesen Strahlungsergebnissen die allmähliche Zu- und Abnahme der Staubtrübung und der Staubkonzentration erkennen; daneben

sind die unregelmässigen Schwankungen der Strahlungsextinktion ein Zeichen für die räumliche und zeitliche Inkonstanz der Staubtrübung.

Wenn auch von den übrigen Staubtrübungsfällen nicht solche, mehrere Tage umfassende Strahlungsmessreihen vorliegen, so bieten doch auch diese zur Ergänzung wichtige Resultate. So liess sich am 25. Juni 1938 eine vom Morgen zum Abend von 3 bis 18% ansteigende Schwächung der Strahlungsintensität durch Wüstenstaub feststellen; der weitere Verlauf der Störung am 26. Juni konnte jedoch wegen starker Bewölkung und Niederschlägen nicht verfolgt werden. An den übrigen drei Tagen mit Wüstenstaub konnten wegen Bewölkung nur vereinzelte Strahlungsmessungen angestellt werden; so wurde am 25. Juli 1941 eine Strahlungsreduktion von 17%, am 25. Mai 1935 eine solche von 21% beobachtet, und die bisher stärkste Trübung wurde am 20. Mai 1937 mit einer Strahlungsschwächung von 33% festgestellt.

Zusammenfassend konstatieren wir somit, dass durch Wüstenstaub in der Luft die Intensität der direkten Sonnenstrahlung geschwächt wird; bei geringen Beimengungen beträgt die Strahlungsschwächung nur einige Prozente, sie kann jedoch gelegentlich 10—20% erreichen und ausnahmsweise bis über 30% ansteigen.

Die Frage, ob die Strahlungsschwächung selektiv ist, lässt sich auf Grund der Filtermessungen prüfen. Zu diesem Zwecke habe ich den prozentualen Anteil der drei oben genauer definierten Filter- bzw. Filterdifferenzbereiche berechnet und mit den Normalwerten[6]) verglichen. Daraus ergibt sich, dass sowohl im Durchschnitt wie in den einzelnen Beobachtungen die prozentualen Filteranteile an den Tagen mit Wüstenstaubtrübung innerhalb der Genauigkeit der Methode mit den Normalwerten praktisch übereinstimmen. Zur Orientierung seien deshalb nur die Mittelwerte aller Beobachtungen mit Wüstenstaub hier mitgeteilt:

	Tage mit Wüstenstaub	normale Tage
Rot + Ultrarot	63%	64%
Gelb + Grün	15%	14%
Blau + Violett	22%	22%

Daraus ergibt sich, dass die Trübung durch Wüstenstaub alle Spektralbereiche der Sonnenstrahlung in praktisch genau gleicher Weise betrifft.

Wohl besagt das Rayleigh'sche Zerstreuungsgesetz, dass die Diffusion der Strahlung in reiner Luft umgekehrt proportional der 4. Potenz der Wellenlänge ist; doch gilt dieses Gesetz nur für Diffusion an den Luftmolekülen. Es lässt sich theoretisch zeigen

und wurde von LINKE und v. DEM BORNE[7]) auch durch Laboratoriumsversuche nachgewiesen, dass mit zunehmender Grösse der die Zerstreuung verursachenden Partikel die Wellenlängenabhängigkeit der Diffusion geringer wird und bei einem Teilchendurchmesser von etwa 10μ ganz verschwindet. Nun sind zwar nach dem Befunde von Dr. v. Moos die Teilchen kleiner als 5μ in der Mehrzahl; es scheint aber nicht ausgeschlossen und dürfte durch unsere Strahlungsmessungen seine Bestätigung finden, dass die Gesamtfläche der grösseren Teilchen eben doch grösser ist als die der sehr viel zahlreicheren kleineren Partikel. Die Extinktion der Sonnenstrahlung durch Wüstenstaub muss somit als *grau* bezeichnet werden, und wenn bei Wüstenstaub Landschaft und Himmel durch einen gelben, bräunlichen oder violetten Ton gekennzeichnet sind, so ist dies als Effekt der Überlagerung der Eigenfarbe des Staubes über die Farbe des Hintergrundes aufzufassen, und die energetische Auswirkung dieser Überlagerung ist dabei so schwach, dass sie in unseren kalorimetrischen Filtermessungen gar nicht zum Ausdruck kommt.

Wir sehen somit, dass durch Wüstenstaubtrübung in der Atmosphäre die Intensität der direkten Sonnenstrahlung in allen Spektralbereichen in gleich starkem Masse geschwächt wird. Nun geht aber die durch den Staub extingierte Strahlung nicht etwa verloren, sondern sie wird teilweise durch den Staub absorbiert, d. h. in Wärme umgewandelt, und trägt so in geringem Masse zur Erwärmung der stauberfüllten Atmosphäre bei. Zum andern, grösseren Teile wird sie jedoch diffundiert, d. h. durch Reflexion und Beugung an den suspendierten Staubpartikeln aus ihrer Richtung abgelenkt und fällt als diffuse Himmelsstrahlung zum grossen Teile auch wieder auf die Erde. Über den Betrag der Strahlungsabsorption oder die dadurch erzeugte Temperaturerhöhung der stauberfüllten Luft können wir keine Angaben machen. Dagegen geben uns die Registrierungen der von Sonne und Himmel einfallenden Wärmestrahlung mit Aktinograph ROBITZSCH und Sternpyranometer LINKE die Möglichkeit, Schlüsse über die Erhöhung der Strahlungsdiffusion durch den Wüstenstaub zu ziehen. Dabei ergibt sich, wie theoretisch zu erwarten ist, eine Verstärkung der diffusen Himmelsstrahlung durch den Staub, so dass der effektive Verlust des Erdbodens an Einstrahlung viel geringer ist, als man aus der Schwächung der direkten Sonnenstrahlung gemäss Tab. 1 schliessen möchte.

Diese Tatsache lässt sich aus den Werten der Globalstrahlung von Sonne und Himmel und der diffusen Himmelsstrahlung (in gcal/cm^{2}min) in der rechten Hälfte der Tab. 1 erkennen. Den

Werten der staubgetrübten Tage sind als Vergleichsgrössen Normalwerte aus einer in Bearbeitung befindlichen Untersuchung meines Mitarbeiters Dr. F. Prohaska gegenübergestellt. Diese Normalwerte wurden bestimmt aus vollständig oder nahezu wolkenlosen Tagen in nächster zeitlicher Nähe der staubgetrübten Tage. Unserer Vergleichung können nur solche Stunden zu Grunde gelegt werden, an denen die diffuse Himmelsstrahlung nicht durch Bewölkung wesentlich beeinflusst war, somit nur Stunden mit freier Sonne und höchstens geringer Bewölkung.

Vergleichen wir in Tab. 1 zunächst die Werte der diffusen Himmelsstrahlung H, so finden wir, dass sie bei Wüstenstaub durchwegs etwas höher sind als an normalen Tagen. Besonders stark war die Himmelsstrahlung am 10. Juni 1937, wo sie mehr als das Doppelte des Normalwertes betrug, sowie am 20. Mai 1937, wo die diffuse Himmelsstrahlung bei bedeckter Sonne fast die Hälfte der normalen Globalstrahlung von Sonne und Himmel erreichte. Als Gegenbeispiel diene der Vormittag des 9. Juni 1937, wo vor Beginn der Staubtrübung schon die übernormale direkte Sonnenstrahlung auf besondere Reinheit der Atmosphäre schliessen liess und diese Tatsache durch den niedrigen Wert der diffusen Himmelsstrahlung bestätigt wird.

Infolge dieser durch die Staubtrübung gesteigerten diffusen Strahlung sind nun die Summen $S + H$ der globalen Einstrahlung von Sonne und Himmel keineswegs so niedrig, wie man aus der oben erörterten Schwächung der direkten Sonnenstrahlung schliessen könnte. Im Gegenteil liegen auch an Tagen mit Staubtrübung die Intensitäten der Globalstrahlung nur wenig unter den Normalwerten.

Tabelle 2.

Tagesmittel der Einstrahlung von Sonne und Himmel an Tagen mit Wüstenstaub,

ausgedrückt in Prozenten der Globalstrahlung von Sonne und Himmel an normalen Tagen.

Tag		Tage mit Wüstenstaub		
		$S+H$	S	H
1937	Mai 20.	95	61	34
	Juni 10.	95	71	24
	Juni 11.	94	79	15
1938	Juni 25.	92	79	13
1941	Juli 25.	90		

Zur Verdeutlichung dieser Zusammenhänge sind in Tab. 2 für die wichtigeren Tage mit Staubtrübung die Mittelwerte der Global-

strahlung von Sonne und Himmel, der Vertikalkomponente der Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung zusammengestellt, und zwar durchwegs ausgedrückt in Prozenten der Globalstrahlung von Sonne und Himmel an normalen Tagen.

Aus den Werten der Tab. 2 ergibt sich, dass die diffuse Himmelsstrahlung (die in Davos normalerweise 10—12% der Globalstrahlung beträgt) an Tagen mit Wüstenstaub auf 15—30% der ungestörten Globalstrahlung anwächst; je stärker die Intensität der direkten Sonnenstrahlung geschwächt ist, umso intensiver wird die diffuse Himmelsstrahlung. Infolgedessen ist auch an Tagen mit Staubtrübung die globale Einstrahlung von Sonne und Himmel nur um 5—10% gegenüber den Normalwerten geschwächt. Sogar am 20. Mai 1937, wo die Schwächung der direkten Sonnenstrahlung 33% erreichte, gingen der Erde an gesamter Einstrahlung nur 5% verloren. Die so in Verlust geratenen 5—10% der Einstrahlung gehen teilweise in Absorption an der Staubsuspension der Atmosphäre und werden zum andern Teile durch diffuse Reflexion in den Weltraum zurückgeworfen.

Die Strahlungsverhältnisse bei Schneetreiben.

Anschliessend an diese Fälle von Wüstenstaub sei noch kurz ein Tag behandelt, an dem die Luft von Treibschnee erfüllt war. An diesem Tage, dem 18. Februar 1938, herrschte wolkenloses Strahlungswetter. Im Davoser Tale wehte ein kräftiger Wind aus dem Sektor NE-SE mit Windstärken von 2—5 m/sec, und auf den umliegenden Bergzügen wurde starkes „Guxen" beobachtet. Dieses Schneetreiben war so intensiv, dass auch im Tale die ganze Luft mit suspendierten Schneekristallen erfüllt schien; die Sonne war von einer Aureole umgeben, und zeitweise sah der Himmel wie cirrös aus. Wir versuchten deshalb, durch zahlreiche Messungen die Strahlungsverhältnisse unter diesen ungewohnten Bedingungen zu analysieren. In Tab. 3 sind die Intensitäten der direkten Sonnenstrahlung total und für die drei Spektralbereiche für diesen Tag zusammengestellt und mit den Normalwerten verglichen.

Aus Tab. 3 ergibt sich, dass an diesem Tage mit Schneetreiben die direkte Sonnenstrahlung gegenüber dem Normalwert um durchschnittlich 8% geschwächt war. Nun liegen zwar von diesem Tage keine Abdeckungen des Aktinographen zur Bestimmung der diffusen Himmelsstrahlung allein vor; doch ergibt die Registrierung des Aktinographen und des Sternpyranometers, dass die globale Einstrahlung von Sonne und Himmel innerhalb der Fehlergrenzen

der Methoden sich genau mit dem Verlaufe an normalen Strahlungstagen deckte. Wir können daraus schliessen, dass der Verlust an direkter Sonnenstrahlung vollkommen ersetzt wurde durch eine Verstärkung der diffusen Himmelsstrahlung, was durch das weissliche Aussehen des Himmels durchaus bestätigt wird.

Tabelle 3.

Intensität der direkten Sonnenstrahlung bei Schneetreiben in gcal/cm²min (18. Februar 1938).

WSZ	Total		Rot + Ultrarot		Gelb + Grün		Blau + Violett	
	B	*N*	*B*	*N*	*B*	*N*	*B*	*N*
10.00	1,30	1,41	0,86	0,98	0,19	0,19	0,25	0,26
11.00	1,36	1,46	0,89	1,00	0,19	0,19	0,28	0,29
12.00	1,37	1,48	0,89	1,00	0,21	0,19	0,27	0,29
13.00	1,37	1,46	0,89	1,00	0,21	0,17	0,27	0,29
14.00	1,30	1,40	0,85	0,98	0,20	0,17	0,25	0,27
15.00	1,15	1,29	0,77	0,94	0,19	0,15	0,19	0,21
Mittel	1,31	1,42	0,86	0,98	0,20	0,18	0,25	0,27

Über die Verteilung der direkten Sonnenstrahlung auf die drei Spektralbereiche gibt ebenfalls Tab. 3 Auskunft und da zeigt sich nun, dass zwar Gelbgrün fast den ganzen Tag etwas höhere Strahlungsintensitäten hatte, als den Normalwerten entspricht, dass jedoch die Summe der beiden Bereiche Gelbgrün und Blauviolett sowohl in den einzelnen Beobachtungen wie im Tagesmittel sich überraschend gut mit den entsprechenden Normalwerten deckt. Wir dürfen daraus den Schluss ziehen, dass an diesem Tage die Sonnenstrahlungsintensität oberhalb der durch das Schneetreiben getrübten Schichten normale, vielleicht sogar etwas übernormale Werte hatte, und dass die gelbgrüne und blauviolette Strahlung durch den Treibschnee nur ganz unwesentlich geschwächt worden sein kann.

Anders verhält es sich mit der Strahlung des roten und ultraroten Gebiets, die gegenüber dem Normalwert um 0,11—0,17 gcal/cm²min, im Mittel um 0,12 gcal/cm²min = 12% geschwächt war; dabei zeigt sich, dass die ganze Schwächung der Totalstrahlung der Sonne auf den roten und ultraroten Bereich entfällt. Wir finden somit, im Gegensatz zur Trübung durch Wüstenstaub, bei Schneetreiben eine *selektive* Schwächung der Sonnenstrahlung, die sich ausschliesslich auf das rote und ultrarote Spektralgebiet be-

schränkt; sie ist auf das von DEVAUX[8]) nachgewiesene beträchtliche Absorptionsvermögen des Schnees für die Strahlung des nahen Ultrarots zurückzuführen.

Physikalisch-meteorologisches Observatorium Davos.

Literatur.

[1]) W. MÖRIKOFER, Kritische Bemerkungen zur Gehrcke'schen „Heilstaubhypothese". Mediz. Welt **11**, 859 (1937).

[2]) F. W. P. GÖTZ, Bemerkung zum „Schlammregen am Alpenostrand am 25. Mai 1935". Ztschr. angew. Met. **53**, 169 (1936).

[3]) H. GLAWION, Staub und Staubfälle in Arosa. Ztschr. Phys. fr. Atm. **25**, 1 (1939).

[4]) W. SCHMIDT, Schlammregen am Alpenostrand am 25. Mai 1935. Ztschr. angew. Met. **53**, 6 (1936).

[5]) W. MÖRIKOFER, Meteorologische Strahlungsmessmethoden. Abderh. Hdb. biolog. Arbeitsmeth. Abt. II, **1**, 4005 (1939); Meteorologische Strahlungsmessmethoden für biologische und ökologische Untersuchungen. Ber. Geobotan. Forschungsinst. Rübel Zürich **1939**, 13 (1940).

[6]) W. MÖRIKOFER, Die Intensität der Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in Davos. Festschr. Naturf. Ges. Davos 1929, 33.

[7]) F. LINKE und H. v. DEM BORNE, Die Wellenlängenabhängigkeit der Strahlungsextinktion trübender Teilchen. Gerl. Beitr. Geophys. **37**, 49 (1932).

[8]) J. DEVAUX, Etude de l'albédo de la neige dans le spectre infrarouge. C. R. Acad. Paris **200**, 80 (1935).