Zeitschrift: Tätigkeitsbericht der Naturforschenden Gesellschaft Baselland
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Baselland
Band: 21 (1955-1957)

Artikel: Strahlungsverhältnisse im Davosersee
Autor: Dorno, C. / Suchlandt, O. / Schmassmann, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-676548

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: 20.08.2025

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

Strahlungsverhältnisse im Davosersee

Von C. Dorno † (Davos), O. Suchlandt † (Davos)
und W. Schmassmann (Liestal)

(Mitteilung aus dem Hydrobiologischen Laboratorium
der Landschaft Davos)

Wenn die Ergebnisse der in den Jahren 1934–1939 im Davosersee durchgeführten Strahlungsmessungen erst heute veröffentlicht werden können, so hat dies verschiedene Gründe. Schon im Jahre 1941 lagen die wesentlichen Auswertungen und ein von Prof. C. Dorno, Davos, verfasster Entwurf zur vorliegenden Veröffentlichung vor. Obwohl bei Dr. O. Suchlandt und mir der Wunsch bestand, den Entwurf zum druckreifen Manuskript auszuarbeiten, wagten wir es im Hinblick auf die zunehmende Schwächung des Augenlichtes von Prof. Dorno nicht, ihn um seine weitere Mitarbeit zu bitten. Nach dem tragischen Tode von Prof. Dorno, der den Erforscher des Lichts von seiner fast völligen Erblindung erlöste, sprach Dr. Suchlandt zwar öfters von der Absicht und der Verpflichtung, das Manuskript zu vollenden. Daran hinderte ihn aber die starke Beanspruchung durch die von ihm gewissenhaft geführte Rhaetische Apotheke in Davos, aber auch ein gewisses Unbehagen, die noch notwendigen Ergänzungen ohne die kritische Mitarbeit von Prof. Dorno vornehmen zu müssen. Hinzu kam aber auch, dass ein fortschreitendes Herzleiden ihm seine ausserberufliche Tätigkeit erschwerte. Nach seinem im Jahre 1947 erfolgten plötzlichen Hinschied übergab mir seine Gattin alle von ihm zurückgelassenen Aufzeichnungen und Entwürfe für die vorliegende Arbeit. Leider stand mir in den dann folgenden Jahren nicht die Zeit zur Verfügung, um mich mit den noch notwendigen ergänzenden Auswertungen von Messergebnissen, der endgültigen Bearbeitung des Manuskriptes und den zum Teil schon von Prof. Dorno angeregten graphischen Darstellungen befassen zu können.

Kurz nach der Durchführung der Unterwasser-Lichtmessungen im Davosersee in den Jahren 1934–1939 ist durch F. Sauberer, Wien, und F. Ruttner, Lunz, im Jahre 1941 eine zusammenfassende Darstellung der bis dahin bekanntgewordenen Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer gegeben worden. Die besondern Verhältnisse des im alpinen Strahlungsklima gelegenen Davosersees dürften aber eine erwünschte Ergänzung der

meist in Seen von geringerer Meereshöhe gewonnenen Erkenntnisse darstellen. Zugleich aber möchte ich mit der Veröffentlichung der gemeinsam erworbenen Erkenntnisse über die Strahlungsverhältnisse im Davosersee in Dankbarkeit meine Pflicht gegenüber den verstorbenen Mitautoren erfüllen.

Liestal, im Dezember 1958

W. SCHMASSMANN

1. Bemerkungen zur Durchführung und Technik der Messungen

Der Davosersee wird als Speicherbecken benützt. Das gespeicherte Wasser dient während des Winters zur Erzeugung elektrischer Energie, wobei der Seespiegel bis um den Betrag von etwa 20 m abgesenkt wird. Der See taut Mitte Mai auf; er wird durch die Schmelzwasser führenden Bäche bis etwa am 10. Juni auf das ursprüngliche natürliche Niveau aufgefüllt. Das Wasser des Sees ist dann durch Aufwühlen der während der Absenkung trocken gelegenen Uferpartien getrübt. Strahlungsmessungen während dieser Zeit hätten keinen Sinn. Erst Ende Juni kann man mit der Secchischeibe die vom ungestörten See bekannte Durchsichtigkeit feststellen. Dann stellt sich auch wieder die Planktonschichtung ein, die allerdings nicht mehr so ausgeprägt ist, wie zur Zeit der Unberührtheit des Sees. Mitte Oktober wird wieder mit der Absenkung begonnen. So stehen für die eigentlichen Strahlungsmessungen nur etwa vier Monate zur Verfügung. Zu allen Messungen wurden quantitative Planktonfänge ausgeführt, deren Bearbeitung aber noch aussteht.

Zu den früheren gelegentlichen Strahlungsmessungen der Jahre 1921, 1922, 1932 und 1933 wurden solche in den Jahren 1934 bis 1939 systematisch durchgeführt und zwar zunächst möglichst bei Sonnenschein. Messungen bei andern Witterungsverhältnissen waren geplant, müssen aber der Zukunft überlassen werden.

Der Davosersee ist oligotroph. Möglicherweise können die Strahlungsmessungen, sofern sie in verschiedenartigen Seen durchgeführt werden, dazu beitragen, die Seentypen der Schemata von THIENEMANN und von NAUMANN noch genauer zu begrenzen, soweit dies überhaupt noch notwendig erscheint.

Angaben über Lage, Topographie, Chemismus und Biologie sind in früheren Arbeiten enthalten (24, 25, 26, 30). Es sei hier nur wiederholt,

dass der ungestörte Spiegel des Sees 1565 m ü.M. liegt, der See von Bergen umgeben ist, die bis 2600 m ü.M. ansteigen, nach Süden aber vom offenen Tal begrenzt wird. Der See hat namentlich am Morgen, unterschiedlich nach Sonnenhöhe, Schattenwurf.

Die Strahlungsmessungen wurden möglichst über der tiefsten Seestelle ausgeführt. Bemerkt sei, dass diese von einem zwar recht stabilen und verankerten Ruderboot aus durchgeführt wurden, dass aber geringe Schwankungen des Bootes durch Windeinwirkung nicht verhindert werden konnten. Drehungen des Messinstrumentes waren also nicht vollkommen zu vermeiden. Als massgebend wurden indessen nur solche Bestimmungen betrachtet, die unter Berücksichtigung der Windverhältnisse subjektiv als brauchbar erschienen. Durch den Wellengang erzeugte Galvanometerschwankungen wurden in Mittelwerten abgelesen. Konstanz des Lichts wurde an einem in cardanischer Aufhängung befindlichen Instrument kontrolliert.

Die in den Jahren 1932 und 1933 durchgeführten Unterwasserlichtmessungen in begrenzten Spektralbezirken, welche an die von DORNO schon in den Jahren 1921 und 1922 unternommenen Messungen anschlossen, beruhten auf photographischer Methode. Diese wurden im Jahre 1934 durch die photoelektrische mittels Sperrschicht-Vorderwandzelle mit einem Selen-Photoelement und engbegrenzten Gelatinefiltern abgelöst. Über die ersten auf diesem Wege gewonnenen Resultate und die bei den langjährigen in den Jahren 1931 bis 1936 gemachten Erfahrungen wurde bereits berichtet (28, 29, 31, 32).

Die Selenzellen für photoelektrische Messungen, wie sie B. LANGE (11) entwickelt hat und einheitlich herstellen lässt, sind heute wohl das geeignetste Mittel für Strahlungsmessungen. Sie fordern aber trotz einfacher Manipulation eine sorgsame Behandlung der gesamten Apparatur und können hohe Ansprüche nur erfüllen, wenn sie in Verbindung mit geeigneten Spektralfiltern gebraucht werden. Als solche sind in den vergangenen Jahren viele empfohlen worden, von SEYBOLD, SAUBERER u.a. fast stets SCHOTTsche Glasfilter, einzeln oder in Kombination. Wir sind bei unseren zwar etwas schwieriger zu handhabenden, aber ihrer scharfen und steilen Maxima aufweisenden Spektralbezirke wegen bevorzugten Gelatinefiltern geblieben (31). Wir glauben dies, wie den nachfolgend bekannt gegebenen Resultaten entnommen werden dürfte, nicht zu bereuen. Ferner haben wir auch auf das diffundierende Milchglas (14) nicht verzichtet, dessen Weiss, Ebenheit und Rauhheit sorgsam geprüft und überwacht wurde. Die überaus wichtige Überprüfung der dem cosinus-Gesetz folgenden Diffusion geschah im Laboratorium vor einer

punktförmigen Lichtquelle bei zehngradweiser Drehung der Auffangfläche gegenüber der Lichtquelle. Die Prüfung wurde stets mit und ohne Abblendung der Lichtquelle vorgenommen, was zwecks Feststellung von Reflexlicht, herrührend von den Wänden oder der Decke, selbst in einem guten Dunkelraum empfehlenswert ist.

In den Ausführungen über die Methodik der Unterwasserlichtmessungen (28, 29) ist das Postulat vorangestellt worden, in absolutem Energiemass zu messen, da nur so die physikalisch-meteorologischen Kräfte, welche auf die Auffangorgane der Unterwasserorganismen wirken, definiert hervortreten und eine Untersuchung auf ihre spezifischen Wirkungen möglich wird. Die Eichung der Zellen, welche natürlich in der zum Gebrauch in der vollkommen zusammengesetzten Apparatur, also im Gehäuse unter Milchglas und Filter bei eingeschaltetem Kabel, vorgenommen werden muss, geschieht am sichersten vor der Sonne selbst. Ausschliesslich die so erhaltenen Eichwerte sind seit 1932 den Umrechnungen der Galvanometer-Skalenteile in Millicalorien zugrunde gelegt worden. Auch O. Hölper (9) und A. Angström (2) haben diesen Weg als den besten empfohlen. Alle Versuche mittelst künstlicher Lichtquellen, bei denen eine 40-Watt-Klarglasbirne, deren Temperatur mit 2700 Grad absolut zwecks Berechnung ihres Spektrums angenommen wurde und die Hefnerkerzen bevorzugt wurden, erbrachten nicht gleich gute Resultate, wie die Eichung vor der Sonne. Die Intensitäten der während der Eichung in den vier von den Filtern herausgeschnittenen Spektralteilen wirkenden Sonnenstrahlen wurden aus den extraterrestrischen Sonnenintensitäten berechnet. Die Berechnung erfolgte nach den Angaben des Astrophysical Observatory Washington (3) und unter Berücksichtigung der von F. Lindholm (13) aus den langjährigen Davoser Beobachtungen gewonnenen spektralen Transmissionskoeffizienten, die von ihm für jeden vorkommenden Feuchtigkeitsgrad und unter Beachtung der gleichzeitigen Verlustprozente durch Staub und Kondensationskerne aus den vor- und nachmittäglichen Monatsmitteln abgeleitet worden sind. Für die Eichungen wurden August- und Septembervormittage, an denen nach erfolgter Heuernte bei dicht geschlossener Grasdecke und nur leichter Luftbewegung eine Staubwirkung im Davoser Hochtal kaum nachweisbar ist, bevorzugt. Vergleiche mit den am Davoser Observatorium gleichzeitig registrierten Sonnenintensitäten zeigten in den meisten Fällen eine vollkommene Übereinstimmung mit den langjährigen Mitteln, aus denen Lindholm (13) seine Transmissionskoeffizienten abgeleitet hat.

Zur Anwendung kamen in den Jahren 1936–1939 drei «Lange»-Zellen, welche insgesamt und spektral genau aufeinander abgestimmt

und im absoluten Mass geeicht waren. Das früher beschriebene «Tavolux»-Element (31) diente nur noch in cardanischer Aufhängung zur Kontrolle etwaiger während der Messreihen einsetzender Helligkeitsschwankungen. Die Stromanzeigen des Galvanometers wurden durch Herrn CHR. THAMS, damals Technischer Assistent des Observatoriums Davos, sorgsam geprüft, wofür wir ihm zu grossem Dank verpflichtet sind. Das Instrument hat die Empfindlichkeit $4{,}5 \times 10^{-7}$ und seine Kurve zeigt guten linearen Verlauf zwischen 0 und 100 Skalenteilen. Grössere Ausschläge wurden zwecks Schonung der Zelle nach Möglichkeit vermieden oder kamen nur selten vor. Durch shunten auf die 1000-Skala, welche ohne Schaden voll ausnutzbar sein soll, senkte sich die Kurve ein wenig, blieb aber linear. Die Korrektur betrug 5%. Die auf 1 $m\mu$ bezogenen Eichwerte der in ihrer gebrauchsfähigen Montur am häufigsten gebrauchten Zelle betrugen:

Filter:	Blau	Grün	Orange	Rot
Spektralbezirk des Filters in $m\mu$	460–530	510–570	610–750	650–770
Optischer Schwerpunkt bei $m\mu$	488	533	660	678
Millicalorien pro Skalenteil pro Minute und cm^2	0,00663	0,00637	0,00726	0,00507

Die optischen Schwerpunkte beziehen sich auf das gesamte optische System, nicht etwa nur auf die Filter. Zelle und Milchglas verlegen sie im kurzwelligen Teil nach längeren, im langwelligen Teil nach kürzeren Wellenlängen.

2. Transmissionskoeffizienten (p)

Bei der Auswertung der Unterwasserlichtmessungen muss man zwischen der allerobersten, etwa 1 cm mächtigen Schicht, derjenigen von 0,01–0,5 bzw. 1 m und den unter 1 m liegenden tieferen Schichten unterscheiden. Fast sämtliche Messreihen sind lückenlos in Stufen von je 1 m bis zur Maximaltiefe durchgeführt worden. Die Logarithmen aller Intensitätswerte sind auf Millimeterpapier den zugehörigen Tiefenstufen zugeordnet und aus den geradlinig verlaufenden Kurventeilen die p-Werte berechnet worden (Abb. 1).

Davosersee 28. 9. 34 Unterwasserlichtmessungen. Einstrahlung in Prozenten der Intensität an der Seeoberfläche. Logarithmen der Einstrahlungsprozente. **Abb. 1**

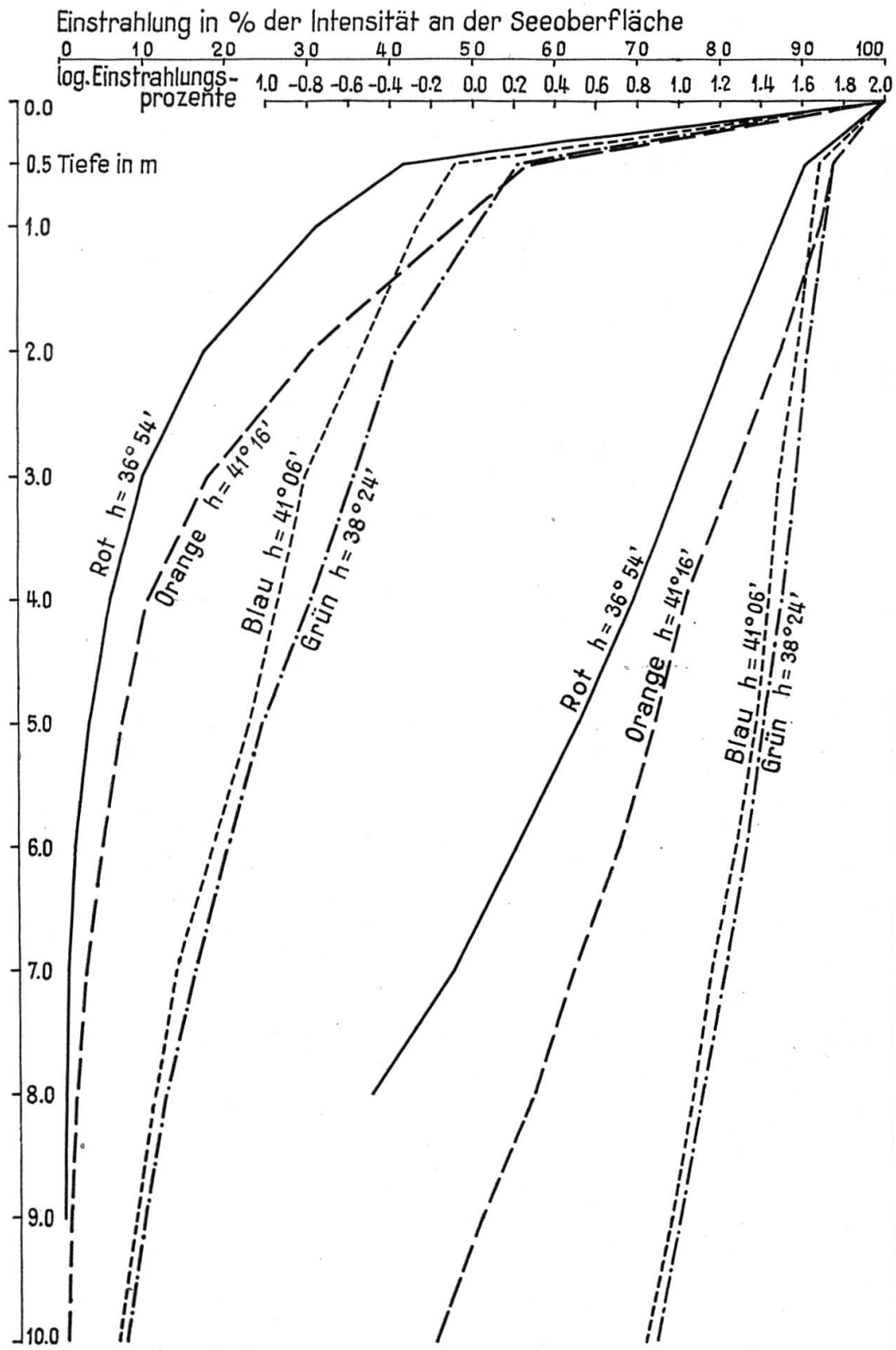


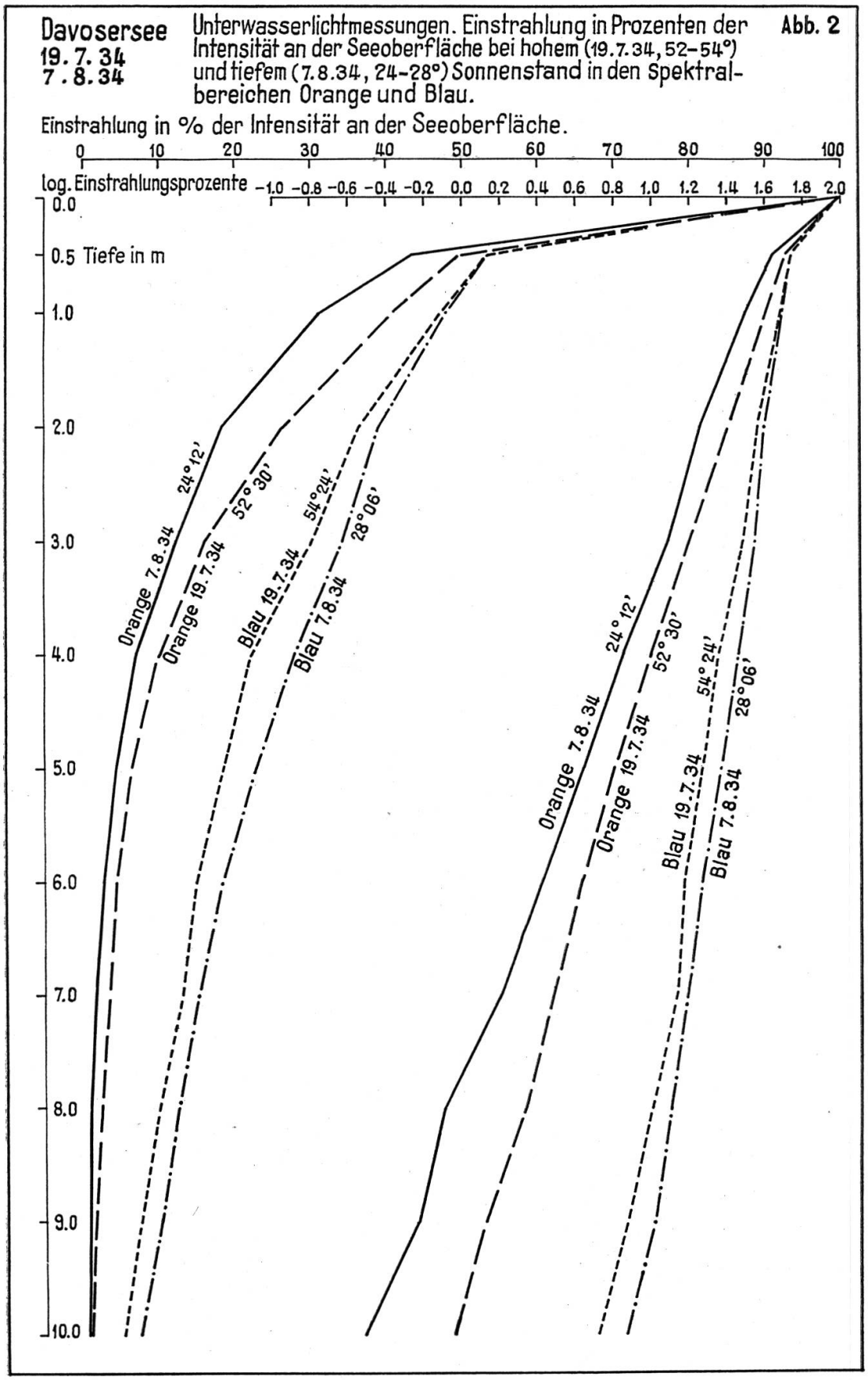
Tabelle 1

Transmissionskoeffizienten in Rot, Orange, Grün, Blau und filterlos, in den Untersuchungsjahren nach Sonnenhöhe geordnet

Datum	Sonnenhöhe °	Sonne	Tiefenstufe m	Transmissions-koeffizient
Filter: Rot				
19. 7. 34	59	gut	0,5 – 5,0	0,664
19. 7. 34	59	gut	5,0 –10,0	0,768
2. 10. 34	38	gut	0,5 – 7,0	0,537
2. 10. 34	38	gut	7,0 – 9,0	0,316
28. 9. 34	37	gut	0,5 – 4,0	0,574
28. 9. 34	37	gut	4,0 – 7,0	0,511
10. 8. 36	59	gut	0,5 –11,0	0,548
10. 8. 36	59	gut	11,0 –12,0	0,333
15. 8. 36	53	gut	0,5 – 5,0	0,523
8. 8. 36	51	bedeckt	0,5 – 3,0	0,543
8. 8. 36	51	bedeckt	3,0 – 5,0	0,540
10. 8. 36	47	gut	0,5 – 1,0	0,366
10. 8. 36	47	gut	1,0 – 5,0	0,548
10. 8. 36	46	gut	0,01– 0,5	0,237
10. 8. 36	46	gut	0,5 – 5,0	0,507
22. 7. 38	57	gut	1,0 – 3,0	0,556
22. 7. 38	57	gut	3,0 – 6,0	0,536
20. 7. 38	52	gut	1,0 – 2,0	0,632
30. 7. 38	52	gut	2,0 – 4,0	0,548
30. 7. 38	52	gut	5,0 – 6,0	0,555
13. 9. 38	42	gut	1,0 – 4,0	0,546
13. 9. 38	42	gut	5,0 – 8,0	0,531
22. 7. 38	22	gut	1,0 – 4,0	0,572
22. 7. 38	22	gut	5,0 – 6,0	0,546
5. 7. 39	57	gut	1,0 – 2,0	0,429
5. 7. 39	57	gut	3,0 – 7,0	0,487
29. 7. 39	54	gut	1,0 – 3,0	0,542
29. 7. 39	54	gut	4,0 – 7,0	0,562
22. 9. 39	40	gut	2,0 – 5,0	0,550
Filter: Orange				
19. 7. 34	61	gut	0,5 – 5,0	0,664
19. 7. 34	61	gut	5,0 – 8,0	0,715
19. 7. 34	61	gut	8,0 –10,0	0,661
9. 7. 34	57	gut	0,5 –10,0	0,661
19. 7. 34	53	gut	0,5 – 9,5	0,654
28. 9. 34	41	gut	0,5 – 7,0	0,638
28. 9. 34	41	gut	7,0 –10,0	0,598
28. 9. 34	35	gut	0,5 – 9,0	0,630
2. 10. 34	34	gut	0,5 – 8,0	0,620
2. 10. 34	34	gut	8,0 –10,0	0,447
7. 8. 34	24	gut	0,5 – 8,0	0,588
28. 9. 34	21	gut	0,5 – 9,0	0,618
10. 8. 36	54	gut	0,5 – 1,0	0,501
10. 8. 36	54	gut	1,0 – 5,0	0,626
6. 8. 36	50	gut	0,5 –10,0	0,609

Datum	Sonnenhöhe °	Sonne	Tiefenstufe m	Transmissions-koeffizient
15. 8. 36	48	gut	0,01– 0,5	0,250
15. 8. 36	48	gut	0,5 – 5,0	0,566
30. 7. 38	49	gut	1,0 – 2,0	0,618
30. 7. 38	49	gut	3,0 – 5,0	0,655
22. 7. 38	47	gut	1,0 – 4,0	0,606
22. 7. 38	37	gut	1,0 – 3,0	0,760
22. 7. 38	37	gut	4,0 – 6,0	0,707
5. 7. 39	59	gut	1,0 – 4,0	0,550
5. 7. 39	59	gut	5,0 – 7,0	0,584
29. 7. 39	56	gut	1,0 – 4,0	0,644
29. 7. 39	56	gut	5,0 – 9,0	0,653
22. 9. 39	41	gut	1,0 – 2,0	0,668
22. 9. 39	41	gut	3,0 – 5,0	0,688
Filter: Grün				
28. 9. 34	38	gut	0,5 – 5,0	0,832
28. 9. 34	38	gut	5,0 – 9,0	0,803
2. 10. 34	38	gut	0,5 –10,0	0,828
7. 8. 34	31	gut	0,5 – 8,0	0,815
7. 8. 34	31	gut	9,0 –10,0	0,778
10. 8. 36	56	gut	0,5 – 5,0	0,838
15. 8. 36	50	gut	0,01– 0,5	0,484
15. 8. 36	50	gut	0,5 – 5,0	0,822
26. 7. 38	58	gut	1,0 – 9,0	0,853
26. 7. 38	58	gut	11,0 –17,0	0,839
30. 7. 38	55	gut	1,0 – 6,0	0,838
26. 7. 38	54	gut	1,0 – 6,0	0,838
22. 7. 38	47	gut	1,0 – 4,0	0,863
22. 7. 38	37	gut	2,0 – 9,0	0,808
22. 7. 38	37	gut	2,0 –11,0	0,794
22. 7. 38	37	gut	12,0 –16,0	0,817
22. 7. 38	23	gut	1,0 –10,0	0,814
22. 7. 38	23	gut	15,0 –17,0	0,845
22. 7. 38	22	gut	1,0 – 3,0	0,828
22. 7. 38	22	gut	4,0 – 9,0	0,789
22. 7. 38	22	gut	10,0 –17,0	0,807
5. 7. 39	59	gut	1,0 – 2,0	0,807
5. 7. 39	59	gut	3,0 –10,0	0,750
5. 7. 39	59	gut	11,0 –15,0	0,719
29. 7. 39	55	gut	1,0 – 3,0	0,823
29. 7. 39	55	gut	4,0 – 8,0	0,703
29. 7. 39	55	gut	9,0 –10,0	0,671
29. 7. 39	55	gut	11,0 –12,0	0,719
29. 7. 39	55	gut	12,0 –15,0	0,730
22. 9. 39	38	gut	1,0 – 5,0	0,820
Filter: Blau				
19. 7. 34	54	gut	0,5 – 8,8	0,825
28. 9. 34	41	gut	0,5 – 5,0	0,848
28. 9. 34	41	gut	5,0 –10,0	0,785

Datum	Sonnenhöhe °	Sonne	Tiefenstufe m	Transmissions-koeffizient
2. 10. 34	37	gut	0,5 – 8,0	0,813
2. 10. 34	37	gut	8,0 –10,0	0,700
28. 9. 34	33	gut	0,5 – 4,0	0,835
28. 9. 34	33	gut	4,0 – 8,0	0,795
28. 9. 34	33	gut	8,0 –10,0	0,707
7. 8. 34	28	gut	0,5 – 8,0	0,799
7. 8. 34	28	gut	8,0 –10,0	0,718
28. 9. 34	23	gut	0,5 – 6,0	0,800
28. 9. 34	23	gut	6,0 –10,0	0,721
10. 8. 36	59	gut	0,5 – 8,0	0,799
10. 8. 36	59	gut	8,0 –15,0	0,743
15. 8. 36	54	gut	0,5 – 5,0	0,776
8. 8. 36	52	gut	0,5 – 5,0	0,876
10. 8. 36	51	gut	0,5 – 5,0	0,800
15. 8. 36	43	gut	0,01– 0,5	0,440
15. 8. 36	43	gut	0,5 – 5,0	0,783
22. 7. 38	63	gut	1,0 – 2,0	0,800
22. 7. 38	62	gut	1,0 – 6,0	0,832
22. 7. 38	62	gut	6,0 –15,0	0,797
22. 7. 38	62	gut	15,0 –17,0	0,798
22. 7. 38	61	gut	1,0 – 5,0	0,851
22. 7. 38	61	gut	6,0 –10,0	0,797
22. 7. 38	60	gut	1,0 – 5,0	0,832
22. 7. 38	60	gut	6,0 –11,0	0,803
22. 7. 38	58	gut	1,0 – 2,0	0,697
22. 7. 38	58	gut	2,0 – 4,0	0,834
2. 8. 38	56	gut	1,0 – 6,0	0,871
2. 8. 38	56	gut	8,0 –13,0	0,810
2. 8. 38	55	gut	2,0 –12,0	0,839
2. 8. 38	55	gut	13,0 –20,0	0,813
2. 8. 38	55	gut	25,0 –30,0	0,801
30. 7. 38	54	gut	1,0 – 7,0	0,815
20. 7. 38	52 a	gut	1,0 – 2,0	0,778
20. 7. 38	52 p	gut	1,0 – 3,0	0,790
13. 9. 38	42	gut	1,0 – 3,0	0,788
13. 9. 38	42	gut	4,0 –11,0	0,746
20. 7. 38	36	gut	2,0 – 8,0	0,765
20. 7. 38	36	gut	8,0 –10,0	0,764
20. 7. 38	36	gut	13,0 –15,0	0,734
20. 7. 38	27	gut	2,0 – 9,0	0,743
20. 7. 38	27	gut	9,0 –18,0	0,783
20. 7. 38	25	gut	1,0 – 7,0	0,772
20. 7. 38	25	gut	9,0 –14,0	0,776
5. 7. 39	56	gut	1,0 – 3,0	0,799
5. 7. 39	56	gut	4,0 – 7,0	0,707
5. 7. 39	56	gut	7,0 –10,0	0,693
5. 7. 39	56	gut	12,0 –15,0	0,602
29. 7. 39	52	gut	1,0 – 4,0	0,811
29. 7. 39	52	gut	5,0 – 9,0	0,783
29. 7. 39	52	gut	10,0 –11,0	0,677
22. 9. 39	37	gut	1,0 – 5,0	0,783


Davosersee
19. 7. 34
7. 8. 34
Unterwasserlichtmessungen. Einstrahlung in Prozenten der Intensität an der Seeoberfläche bei hohem (19.7.34, 52–54°) und tiefem (7.8.34, 24–28°) Sonnenstand in den Spektralbereichen Orange und Blau.
Abb. 2
Einstrahlung in % der Intensität an der Seeoberfläche.
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
log. Einstrahlungsprozente −1.0 −0.8 −0.6 −0.4 −0.2 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.4 1.6 1.8 2.0
0.0
0.5 Tiefe in m
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
9.0
10.0
Orange 7.8.34 24°12'
Orange 19.7.34 52°30'
Blau 19.7.34 54°24'
Blau 7.8.34 28°06'
Orange 7.8.34 24°12'
Orange 19.7.34 52°30'
Blau 19.7.34 54°24'
Blau 7.8.34 28°06'

Datum	Sonnenhöhe °	Sonne	Tiefenstufe m	Transmissions-koeffizient
Filterlos				
8. 7. 38	56	gut	20,0 –28,0	0,776
19. 7. 38	56	bedeckt	10,0 –20,0	0,852
19. 7. 38	56	bedeckt	21,0 –22,0	0,788
19. 7. 38	56	bedeckt	23,0 –30,0	0,813
19. 7. 38	56	bedeckt	31,0 –33,0	0,782
19. 7. 38	56	bedeckt	34,0 –40,0	0,747
20. 7. 38	56	gut	15,0 –22,0	0,873
20. 7. 38	56	gut	23,0 –28,0	0,812
20. 7. 38	56	gut	29,0 –38,0	0,788
20. 7. 38	38	gut	8,0 –15,0	0,818
20. 7. 38	38	gut	17,0 –20,0	0,837
20. 7. 38	38	gut	26,0 –34,0	0,802
20. 7. 38	38	gut	35,0 –39,0	0,832
20. 7. 38	30	gut	9,0 –20,0	0,852
20. 7. 38	30	gut	22,0 –27,0	0,689
20. 7. 38	30	gut	29,0 –36,0	0,761
4. 7. 39	58	gut	11,0 –16,0	0,800
4. 7. 39	58	gut	17,0 –19,0	0,789
4. 7. 39	58	gut	20,0 –28,0	0,775
4. 7. 39	58	gut	29,0 –35,0	0,749

Über die unter 0,5 bzw. 1 m liegenden Schichten sagen die p-Werte folgendes aus:

a) **Jahr 1934**

Zwischen 0,5 und 10 m nimmt p innerhalb Sonnenhöhen (h) von 55° bis 25° mit sinkender Sonne gleichmässig ab, und zwar

in Blau um etwa 0,022 pro 10° Sonnenhöhe
in Grün um etwa 0,025 pro 10° Sonnenhöhe
in Orange um etwa 0,022 pro 10° Sonnenhöhe
in Rot um etwa 0,060 pro 10° Sonnenhöhe

Die Abnahme für Rot ist aus nur wenigen Messungen berechnet worden, sie dürfte zu hoch liegen. Aber ein grosser Unterschied gegenüber den andern Farben ist vorhanden.

Ein Einfluss der Jahreszeit (Vegetation) oder der Witterung ist bei den von Juli bis Oktober nur an sonnenreinen Tagen bei Sonnenhöhen von 61° bis 21° durchgeführten Messungen nicht zu finden (Abb. 2).

Mit der Tiefe nimmt p in Blau und Grün ab, namentlich bei kleineren h, dagegen in Orange und Rot eher zu, namentlich bei grossen h. Bei 7 m Tiefe wird für Rot der p-Wert fast Null. In Orange wird der Nullwert etwa bei 10 m erreicht. Die Tabelle 1 zu entnehmenden p-Werte bewegen sich je nach Sonnenhöhe und Wassertiefe

in Blau	zwischen 0,700 und 0,840	
in Grün	zwischen 0,778 und 0,832	In den vorliegenden Messungen ist die Variation von h und m kleiner als bei Blau.
in Orange	zwischen 0,588 und 0,715	Der niedrige Extremwert dürfte bei sehr kleinen Galvanometerausschlägen auf Messungenauigkeiten basieren.
in Rot	zwischen 0,550 und 0,768	Gegen diesen hohen Wert scheint kein Bedenken gerechtfertigt. Er gilt für den hohen Sonnenstand von 59° und ist besonders beachtenswert für eine etwaige Begründung der Planktonbewegung. Auch in den andern Spektralteilen wies der 19. Juli 1934 besonders hohe Durchlässigkeitswerte auf.

Die p-Werte steigen also von Rot über Orange zu Blau nach Grün, wobei die beiden ersten Farbgebiete einander verwandt erscheinen und ebenso die beiden letzteren wieder unter sich. Auf den damit verbundenen Farb- und Intensitätswechsel wird weiter unten eingegangen.

b) **Jahr 1936**

Zwischen 0,5 und 5 m – in grösseren Tiefen wurde in diesem Jahr nur ausnahmsweise gemessen – ist eine Abnahme von p mit sinkender Sonne innerhalb der nicht stark variierenden, stets hohen Sonnenhöhen, nämlich von 59°–43°, für Blau und Grün nicht nachweisbar, wohl aber für Orange und Rot. Ein Jahreseinfluss ist nicht verfolgbar, da alle Messungen in den Augustmonat fallen, dagegen ein sichtlicher Tageseinfluss. Die p-Werte fallen vom 6. über den 8., 10. zum 15. August ausnahmslos in allen Farben und Tiefen. Die Ursache liegt möglicherweise in meteorologischen Einflüssen, vermutlich aber eher in der Phytoplanktonentwicklung während der warmen und sonnenreichen Periode in der dem Wachstum günstigsten Jahreszeit. Der August zeichnete sich durch aussergewöhnlich geringe Niederschläge aus (Monatssumme 83,5 mm gegenüber einem 70jährigen Mittel von 137 mm), ferner durch Sonnenreichtum und geringe Abkühlungsgrösse (9,7 gegenüber 11,3 im Juli),

welche bei fast gleicher Lufttemperatur (14,4 gegenüber 11,5°) auf sehr geringe Windstärke schliessen lässt. Mit der Tiefe nimmt p, soweit das etwas spärliche Material eine Entscheidung zulässt, auch im Jahr 1936 in Blau und Grün ab, dagegen in Orange und Rot zu. Wohl bemerkt, bei den grossen Sonnenhöhen von 59°–43°. Die p-Werte bewegen sich, wie Tabelle 1 zeigt,

in Blau	zwischen 0,743 und 0,876
in Grün	zwischen 0,822 und 0,838
in Orange	zwischen 0,501 und 0,626
in Rot	zwischen 0,507 und 0,548

je nach Sonnenhöhe und Wassertiefe und, wie soeben erwähnt, bei relativ reichlicher Phytoplanktonentwicklung. Sie variieren also in Grün am wenigsten, was auch für das Jahr 1934 zutrifft und liegen im kurzwelligen Spektralteil ein wenig über, im langwelligen ein wenig unter den im Jahre 1934 gefundenen p-Werten.

c) **Jahr 1938**

Zwischen 1 und 10 m Tiefe ist in Blau eine Abnahme der p-Werte mit abnehmender Sonnenhöhe bei hohen h kaum herauslesbar, wohl aber bei mittleren und kleinen h; sie entspricht der Abnahme im Jahre 1934, d.h., etwa 0,020 für je 10° Sonnenhöhe. Eine Abnahme mit der Tiefe ist nur bei grossen Tiefen, nämlich unterhalb 10 m, sicher und auch da nicht gross. Der 2. August 1938 zeichnet sich durch grosse Durchlässigkeit aus. In Grün nimmt p auch nur bei $h < 40°$, und auch dann mit abnehmender h nur wenig ab. Ein Einfluss der Tiefe ist recht gering. Die Durchlässigkeit für Grün ist in allen Schichten bis 17 m Tiefe recht gleichmässig und am gleichmässigsten wohl bei $h < 40°$, wo in grosser Tiefe sogar eine kleine p-Zunahme stattfindet, ähnlich derjenigen in Blau. Ein jahreszeitlicher Einfluss ist nicht erkennbar, da nur Juliwerte vorliegen; auch ergeben sich keine Tagesschwankungen.

In Orange nehmen die p-Werte mit abnehmender Sonnenhöhe im Gegensatz zu den Befunden von 1934 und 1936 zu und haben Maxima etwa in 3–5 m Tiefe. In Rot nehmen die p-Werte mit abnehmender Sonnenhöhe gleichfalls etwas zu und könnten ein Maximum bei etwa 3 m Tiefe haben, sie nehmen darunter wieder etwas ab. Jahreszeiten- und Tageswechseleinflüsse sind nicht erkennbar. Die absoluten p-Werte bewegen sich

in Blau	zwischen 0,734 und 0,871
in Grün	zwischen 0,789 und 0,863
in Orange	zwischen 0,618 und 0,760
in Rot	zwischen 0,536 und 0,632

und schwanken in Grün am wenigsten. Die ermittelten Werte nehmen also eine Zwischenstellung ein zwischen den aus den Jahren 1934 und 1936 stammenden Ergebnissen.

d) **Jahr 1939**

Im Jahre 1939 wurde der See nach der Winterabsenkung aussergewöhnlich spät im Juni wieder auf die normale Spiegelhöhe aufgefüllt und zeigte auch anfangs Juli eine von blossem Auge erkennbare ungenügende Blaufärbung bzw. eine gegenüber den gleichen Zeiträumen der Vorjahre vermehrte Gelbfärbung. Erst im Laufe des Juli klärte er sich dann durch Absinken des vom Flüelabach hereingespülten, hauptsächlich wohl feinst dispersen mineralischen Materials. Dies kommt sehr gut zum Ausdruck durch Vergleich der am 5. Juli und am 29. Juli 1939 durchgeführten Messungen unter sich und mit denen der Jahre 1934 und 1936, weshalb auf diese Messungen etwas ausführlicher eingegangen wird und neben den p- und Absolutwerten auch die Farbe und die Helligkeit in Betracht gezogen wird. Hier sei nur erwähnt, dass sich ab Ende Juli, in den grösseren Tiefen noch etwas später, die p-Werte nach Abhängigkeit von der Sonnenhöhe und der Wassertiefe und nach ihren Absolutwerten wieder normal verhalten, während sie am 5. Juli 1939 gegenüber den normalen Werten kleiner waren, und zwar bei der grossen Sonnenhöhe von 59°. Die p-Wertverminderung in Prozenten gegenüber den normalen Werten betrug an diesem Tag

in Blau	in 1–3 m 7%	3–10 m 14%	10–15 m 23% (?)
in Grün	in 1–3 m 6%	4–10 m 12%	11–15 m 15%
in Orange	in 1–3 m 13%	5– 9 m 11%	
in Rot	in 1–3 m 20%	3– 6 m 11%	

Ohne Filter betrug die Verminderung in 10–20 m 10%, in 20–30 m 5% und in 30–40 m 5%. Auf diese filterlosen Messungen wird weiter unten noch zurückgekommen.

Ordnet man diese Differenzen nach Wassertiefen und Farben, so ergeben sich in Prozenten ausgedrückt folgende Verhältnisse:

Wassertiefe in m	Filter Blau %	Grün %	Orange %	Rot %
1– 3	7	6	13	20
3– 6	14	12	12	11
6–10	14	12	11	—
11–15	23 (?)	15	—	—

Hieraus erkennt man, dass ein deutlicher Farbunterschied gegenüber den Normalwerten nur in der obersten 3-m-Schicht besteht, und zwar in dem Sinne, dass in ihr die langwelligen Strahlen stärker absorbiert und reflektiert werden, was der gelblichen statt der blauen Farbe entspricht, die das Auge wahrnahm.

Die starke Abnahme der p-Werte, die in Grün und Blau am 29. Juli noch in Tiefen >10 m gefunden wurde, spricht wohl dafür, dass auch an diesem Tage der See sich noch nicht ganz geklärt hat.

Die wenigen ausserhalb dieser Abnormaltage durchgeführten Messungen weisen Absolutwerte und Schwankungen in Abhängigkeit von Sonnenhöhe und Wassertiefe auf, die sich ganz den in den Vorjahren anpassen, nämlich

in Blau	zwischen 0,783 und 0,811
in Grün	zwischen 0,820 und 0,823
in Orange	zwischen 0,644 und 0,688
in Rot	zwischen 0,542 und 0,562

Sie nehmen also wiederum von Rot über Orange und Blau zu Grün zu und schwanken in Grün am wenigsten.

Im Juli 1938 und erfreulicherweise auch am 4. Juli 1939, an dem, wie oben geschildert, der See sich von der Trübung durch das auffüllende Wasser noch nicht geklärt hatte, sind Messungen auch bei grossen Tiefen – bis zu 40 m – durchgeführt worden. Hierbei war es nötig, das diffundierende Milchglas durch ein Klarglas zu ersetzen und die Filter auszuschalten, andernfalls keine messbaren Ausschläge des Galvanometers erzielt werden konnten. Beides kann unbedenklich geschehen, da erstens in Tiefen unterhalb 15 m ganz vornehmlich nur voll diffundiertes Licht zur Wirkung kommt und zweitens die Strahlung hier nahezu monochromatisch blaugrün geworden ist, wie noch weiter unten durch Farbuntersuchungen bewiesen werden wird. Auch in diesen Tiefen ändert sich die Farbe noch ein wenig, indem, wie ja auch die p-Werte zeigen,

die Blauintensität schneller nachlässt als die Grünintensität. Jedoch ist der Wechsel nur gering und er müsste, wie hier betont sei, dahin sich geltend machen, dass die Galvanometerausschläge mit der Tiefe relativ ein ganz klein wenig zunehmen, da ja die Empfindlichkeitskurve der Selenzelle von 495 zu 505 $m\mu$, d.h., um einen sehr kleinen Spektralteil, wie unten gezeigt werden soll, etwas ansteigt. In der Tiefe festgestellte relativ höhere Ausschläge (Intensitäten) bedeuten «mit der Tiefe zunehmende p-Werte». Die in Wirklichkeit gefundene, erstaunlich starke Abnahme ist also sicherlich reell. Auch das «shunten» des Galvanometers, das in diesen Tiefen nötig wird, wirkt sich beim verwendeten Galvanometer in einer ganz kleinen relativen Zunahme der Tiefenausschläge aus, wie oben erwähnt wurde.

Auch die filterlosen, wie soeben gesagt, allein auf grünblau sich beziehenden p-Werte, weisen eine Abhängigkeit von der Sonnenhöhe auf, dergestalt, dass sie, wie die grünen und blauen p-Werte, mit sinkender Sonne abnehmen und mit der Wassertiefe bei hohen Sonnenhöhen regelmässig, bei mittleren aber derart sinken, dass sich ein Minimum in etwa 25 m Tiefe bildet. Die p-Werte schwanken zwischen 689 und 873 $m\mu$ in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe und der Wassertiefe also recht beträchtlich, was sich durch die grossen Variationen, namentlich in der Wassertiefe, erklärt. Die am 4. Juli 1939 im getrübten See ermittelten p-Werte weichen in 10–20 m Tiefe um 11%, in 20–40 m um 5% nach unten ab.

e) Messung bei bedecktem Himmel

Bisher haben wir, abgesehen von den Anomalien im August 1936, erklärt durch die Vegetationsentwicklung, und im Juli 1939, erklärt durch die Trübung des Sees, nur den Einfluss der Spektralfarben, der Sonnenhöhe und der Wassertiefe untersucht und haben Störungen durch meteorologische Elemente im weitesten Sinne nicht feststellen können, weder tagweise noch im Wechsel der Jahreszeiten. Alle bisher behandelten Messungen sind an sonnenklaren, meist wolkenlosen, mindestens aber wolkenarmen Tagen durchgeführt worden. Am 19. Juli 1938 ergab sich nun eine seltene und wertvolle Gelegenheit zur Durchführung einer langen, bis in grosse Tiefen führenden Messreihe bei gleichmässig bedecktem Himmel und einer Sonnenhöhe, die die Werte unmittelbar vergleichbar machen mit der am folgenden Tage bei gleicher Sonnenhöhe (56°) und sicherlich gleicher Wasserdurchlässigkeit durchgeführten Reihe. Planktonwanderung kommt kaum in Frage. Die in Tabelle 1 für

die diversen Tiefenstufen aufgeführten p-Werte des 19. und 20. Juli 1938 zeigen eine so gute Übereinstimmung, wie sie bei derartig schwierigen Vergleichsmessungen nicht besser erwartet werden kann und sie beweisen damit indirekt die Güte der nur engbegrenzte Spektralteile umfassenden Filter, welche bei derartig verschiedenen Lichtquellen, wie Blauhimmel mit strahlender Sonne einerseits und gleichmässig bedecktem Himmel, der die Gesamthelligkeit auf dauernd 45% des wolkenlosen Nachtages herabdrückte, anderseits, gleich hohe Transmissionskoeffizienten lieferten.

Der Frage, bis in welche Tiefen und in welchem Ausmass sich der Wellengang auswirkt, wurde alle Aufmerksamkeit geschenkt; sie ist aber nicht leicht präzis zu beantworten. Als sicher kann nur gelten, dass er auf die Lichtverhältnisse in 10 m Tiefe keine Wirkung mehr ausübt (19. Juli 1938). Auch in 5 m Tiefe dürfte selbst bei starkem Wellengang die Wirkung mindestens zweifelhaft sein (26. August 1938), indem die kleinen beobachteten Schwankungen durch Drehung der vom Boot ausgehängten Messkapsel bewirkt sein dürften. In 0,5 m Tiefe dagegen sind bei ziemlich hohen Wellen von schätzungsweise 10 cm Höhe reelle Schwankungen sowohl in Blau wie auch in Rot gemessen worden. Die beobachteten Schwankungen betrugen in Blau 5%, in Rot etwa 6–7% um einen Mittelwert, doch ist ein Teil derselben wohl auf Unruhe des Bootes und ein weiterer Teil auf nicht ganz konstante Beleuchtung zurückzuführen (8. August 1936). Die zahlreich durchgeführten Beobachtungen beweisen nur, dass auch in ½ m Tiefe die Wellenwirkung sehr gering ist. Anders ist es natürlich in 1 cm Tiefe; jedoch hört hier die Möglichkeit der Angabe einer auch nur annähernd sicheren Wirkungszahl auf, da auch nur eine leichte Kräuselung den Abstand von 1 cm zwischen horizontal gedachter glatter Wasseroberfläche und Auffangfläche des Messapparates dauernd beträchtlich ändert und damit die Tiefe der durchstrahlten Schicht.

f) **Zusammenfassung**

Ordnet man (Tabelle 2) sämtliche in den vier Jahren 1934, 1936, 1938 und 1939 während der Monate Juli, August, September und Oktober gewonnenen Messergebnisse nach hohen (65–50°), mittleren 49–35°) und niedrigen (34–20°) Sonnenhöhen (unterhalb 20° gestatten die im Osten und Westen des Sees steil aufragenden Berge keine Messung bei Sonnenbeleuchtung) und interpoliert sie rechnerisch ohne jeden Ausgleich auf die Wassertiefen

für Blau	von	1–10 m	10–15 m	>15 m
für Grün	von	1–10 m	10–15 m	
für Orange	von	1– 4 m	> 4 m	
für Rot	von	1– 3 m	> 3 m	
für Filterlos (Blau-Grün)	von	11–20 m	21–30 m	31–40 m

so ergibt sich neben der Möglichkeit des Vergleichs mit den Messresultaten anderer Orte die Erkenntnis einer ganz unerwarteten Konstanz der Durchlässigkeit des Wassers in allen Farben während aller Jahre und Monate. Die von einem Mittelwert abweichenden Resultate betragen nur wenige Prozente dieses Mittelwertes. Die Abweichungen dürften ausserdem zum Grossteil noch auf die Schwierigkeiten der

Tabelle 2

Transmissionskoeffizienten, nach Sonnenhöhe, Spektralbereich (Filterfarbe) und Tiefe geordnet

Hohe Sonnenhöhen: 65–50°

Rot		Orange		Grün	
1–3 m	>3 m	1–4 m	>4 m	1–10 m	10–15 m
0,664	0,738	0,664	0,685	0,838	–
0,548	0,548	0,661	0,661	0,822	–
0,523	0,523	0,654	0,654	0,852	0,838
0,543	0,540	0,626	0,626	0,838	–
0,556	0,536	0,609	0,609	0,838	–
0,632	–	0,644	0,653	–	–
0,548	0,552	–	–	–	–
0,542	0,562	–	–	–	–
0,570	0,571	0,643	0,648	0,838	0,838

Blau			Filterlos		
1–10 m	10–15 m	>15 m	10–20 m	20–30 m	30–40 m
0,825	–	–	0,873	0,819	0,788
0,787	0,743	–	0,852	0,808	0,759
0,776	–	–	–	–	–
0,876	–	–	–	–	–
0,800	–	–	–	–	–
0,800	–	–	–	–	–
0,818	0,797	0,798	–	–	–
0,824	–	–	–	–	–
0,818	–	–	–	–	–
0,834	–	–	–	–	–
0,851	0,810	–	–	–	–
0,839	0,823	0,807	–	–	–
0,815	–	–	–	–	–
0,778	–	–	–	–	–
0,790	–	–	–	–	–
0,815	0,793	0,803	0,863	0,814	0,774

Mittlere Sonnenhöhen: 49–35°

Rot		Orange		Grün	
1–3 m	>3 m	1–4 m	>4 m	1–10 m	10–15 m
0,537	–	0,638	0,618	0,818	–
0,574	0,527	0,630	0,630	0,828	–
0,528	0,548	0,620	0,620	0,863	–
0,507	0,507	0,566	0,566	0,820	–
0,546	0,535	0,637	0,655	0,807	0,812
0,550	–	0,606	–	0,820	–
–	–	0,747	0,707	–	–
–	–	0,678	0,688	–	–
0,540	0,529	0,640	0,641	0,826	0,812

Blau		Filterlos		
1–10 m	10–15 m	10–20 m	20–30 m	30–40 m
0,813	–	0,828	0,820	0,820
0,790	–	–	–	–
0,790	–	–	–	–
0,783	–	–	–	–
0,771	–	–	–	–
0,765	0,734	–	–	–
0,783	–	–	–	–
0,785	0,734	0,828	0,820	0,820

Niedrige Sonnenhöhen: 34–20°

Rot		Orange		Grün	
1–3 m	>3 m	1–4 m	>4 m	1–10 m	10–15 m
0,572	0,555	0,588	0,588	0,811	–
–	–	0,618	0,618	0,814	–
–	–	–	–	0,803	0,807
0,572	0,555	0,603	0,603	0,809	0,807

Blau			Filterlos		
1–10 m	10–15 m	>15 m	10–20 m	20–30 m	30–40 m
0,781	–	–	0,852	0,741	0,761
0,765	–	–	–	–	–
0,773	0,776	–	–	–	–
0,747	0,783	0,783	–	–	–
0,767	0,780	0,783	0,852	0,741	0,761

Messungen vom Boot aus zurückzuführen sein. Es fallen nur ganz wenige Werte aus der Reihe, eigentlich nur die schon erwähnten hohen Werte in Orange und Rot vom 19. Juli 1934 und ihnen ähnlich diejenigen vom 20. Juli 1938 und die möglicherweise durch eine Phytoplanktonentwicklung erklärbaren niedrigen Werte vom 10. und 15. August 1936. Im übrigen zeigt die Tabelle 2, wenn in ihr auch durch die rechnerische Interpollation manche der oben besprochenen Feinheiten untergehen, dieselben Merkmale, wie die Reihen der Einzeljahre, nämlich:

1. eine Abnahme aller p-Werte von Blau über Grün und Orange nach Rot, wobei sich die beiden langwelligen und die beiden kurzwelligen Werte untereinander verwandt zeigen und sich die Extremwerte um 50% dergestalt unterscheiden, dass jeder Meter Wasser um die Hälfte mehr Grün als Rot durchlässt;

2. mit sinkender Sonne eine Abnahme aller p-Werte, wobei nur Rot bei niedrigen Sonnenhöhen eine Ausnahme macht;

3. mit zunehmender Wassertiefe eine Abnahme der kurzwelligen Blau- und Grünwerte, und zwar bei hohen Sonnenhöhen regelmässig bis zu 40 Metern, während sich bei mittleren und kleinen Sonnenhöhen ein Minimum von etwa 25 m herausbildet; dagegen besteht eher eine Zunahme der p-Werte der langwelligen Strahlung bei hohen Sonnenhöhen, wobei sich ein Maximum in Rot bei etwa 3 m, in Orange bei etwa 4 m einzustellen scheint. Bei niedrigen Sonnenhöhen ergibt sich eine Abnahme auch der langwelligen p-Werte bis zur Tiefe.

Die unter 1. und 2. genannten Erscheinungen führen nun wiederum zu den Überlegungen, welche schon im Jahre 1932 (31) gemacht wurden, jetzt aber anhand eines weit grössern Materials geprüft werden können. Die Strahlungsquelle ist eine zweifache, nämlich Sonne und Himmel, von welch letzterem – für die in der Seemitte wenig bedeutungsvoll – ein Teil durch die Strahlung der Felsen, dunklen Tannenwälder und grünen Wiesen der Seeumgebung ersetzt wird. Gemessen wurde über wie unter Wasser stets die Bestrahlungsstärke der horizontalen Fläche. Auf sie fällt die über Wasser gemessene gelbe Sonnenstrahlung definiert und ziemlich steil ein, denn durch den Übergang aus Luft in Wasser (Brechungsindex 1,333, für vorliegende Betrachtungen für alle Wellenlängen des sichtbaren Spektrums und alle vorkommenden Temperaturen genügend genau gültig) wird der Einfallswinkel auf die horizontale Unterwasserlichtfläche geändert, und zwar

bei hohen	Sonnenhöhen (im Mittel 57° 30′)	von 32° 30′	auf 23° 46′
bei mittleren	Sonnenhöhen (im Mittel 42° 30′)	von 47° 30′	auf 33° 34′
bei niedrigen	Sonnenhöhen (im Mittel 27° 30′)	von 62° 30′	auf 41° 42′

Hierdurch nimmt die Bestrahlungsstärke der Unterwasser-Horizontalfläche durch die Sonne um 8,3% bzw. 23,2% bzw. 60,8% zu und ebenso das Verhältnis zwischen der auf die horizontale Unterwasserlichtfläche fallenden Sonnenstrahlung und der Himmelsstrahlung. Für die Überwasser-Horizontalfläche beträgt dieses bei wolkenlosem Himmel und hoher Sonnenhöhe von 57° 30′ (5):

in Blauviolett	3,96
in Grün	9,35
in Rot	14,72

Für die Unterwasser-Horizontalfläche nimmt dieses Verhältnis folgende Werte an:

Sonnenhöhe h	57° 30′ (hohe)	42° 30′ (mittlere)	27° 30′ (niedrige)
in Blauviolett	4,28	4,18	3,20
in Grün	10,13	10,14	9,73
in Rot	15,93	16,35	15,36

Der Sonnenanteil ist also bei allen Sonnenhöhen und in allen Farben ganz überragend, am ausgesprochensten im Rot.

Nun wird das direkte Sonnenlicht um so mehr diffundiert, je tiefer es eindringt und um so schneller, je geringer der Transmissionskoeffizient ist, beim langwelligen roten Licht also mehr als beim kurzwelligen grünen. Das diffuse Licht fällt aber auf die Horizontalfläche schräger auf als das direkte Sonnenlicht – ausser bei ganz niedriger Sonne – und wird dadurch weniger wirksam. Daher nimmt das mit der Tiefe zunehmender Diffusion unterliegende Sonnenlicht mit wachsender Tiefe schneller ab als das schon diffundierte, von allen Seiten einfallende, und zwar im allgemeinen ziemlich schräg einfallende Himmelslicht, denn dieses nimmt vom Zenith gegen den Horizont an Intensität zu. So muss die Bestrahlungsstärke der Unterwasser-Horizontalfläche bis zu gewissen Tiefen, eben denen, bis zu welchen der direkte Strahl noch mitbestimmend wirksam ist, schnell und dann langsamer abnehmen und diese Tiefe wird im langwelligen roten Licht mit kleinem p-Wert höher liegen als im kurzwelligen grünen und die Erscheinung wird in ersterem ausgeprägter sein, weil der Sonnenanteil am Gesamtlicht daselbst beträchtlich grösser ist. So erklärt sich wohl das Minimum der p-Werte bei etwa 25 m durch Aufhören der Zufuhr diffundierten Sonnenlichts, was einen plötzlichen Abfall, also einen verkleinerten p-Wert, bedeutet, worauf dann im allein verbliebenen Himmelslicht die Absorption mit zunehmender Tiefe weiter gleichmässig anhält, also wieder langsamer absinkende Intensitäten bzw. grössere p-Werte zeigt. Nur bei mittleren und niedrigen Sonnenhöhen, bei denen der direkte Sonnenstrahl nicht in grosse Tiefen undiffundiert vordringt, bildet sich die Erscheinung deutlich aus. Für Rot und Orange liegt die Übergangsschicht, in der die

Wirkung des direkten Strahls bis zum Aufhören nachlässt, nicht nur weit höher infolge der kleineren p-Werte, sondern sie ist auch dünner. Daher folgt dem Minimum kein neuer nachweisbarer Anstieg mit der Tiefe, und in der Schicht, in welcher der direkte Sonnenstrahl stark nachzulassen beginnt, ist, namentlich bei hohen Sonnenhöhen, die allseitige Diffusion, insbesondere auch die vielseitige, von oben nach unten und umgekehrt, so stark, dass eine Intensitätszunahme und damit ein Maximum des p-Wertes sich herausbildet, bevor die gesamte, von direkter Sonnenstrahlung und diffusem Himmelslicht stammende Rotstrahlung mit der Tiefe erlischt.

Natürlich wird man zur Erklärung der an einigen wenigen Tagen bei hohem Sonnenstande gefundenen auffallend hohen roten p-Werte auch an eine Wanderung des lichtschutzsuchenden Zooplanktons in die Tiefe denken und hierbei wird auch den Wassertemperaturen und der Lage und Deutlichkeit der Sprungschicht neben der Planktonschichtung Aufmerksamkeit zu schenken sein. Solche Detailuntersuchungen könnten dann wohl auch manche kleine Abweichungen der Helligkeitslogarithmen von der Geraden erklären, denen auch in Tabelle 1 nicht voll Rechnung getragen worden ist. Die Verfolgung der Rotintensitäten in den verschiedenen Wassertiefen wird um so notwendiger, als nach C. Montforts (15) grundlegenden Untersuchungen an Unterwasseralgen von hochoxydierten Carodinoiden (Fucoxanthin u. a.) mehr Strahlungsenergie absorbiert wird, als vom Chlorophyl, und Rotausnutzer neben Grünblauausnutzern bestehen, wobei die Photosynthese der braunen Zellen durch Rot angekurbelt wird, um durch Zugabe kurzwelligen Lichts in Gang zu kommen, so dass zwischen verschiedenen Funktionstypen der Photosynthese unterschieden werden muss.

Wenn hier im Gegensatz zu anderen Orten eine klare und regelmässige Abhängigkeit der p-Werte von der Sonnenhöhe und der Wassertiefe gefunden worden ist, so erklärt sich das erstens durch den im Hochgebirge weit grösseren Anteil der Sonnenstrahlung an der Gesamtstrahlung und zweitens durch die – im Gegensatz zum offenen Meere – glattere Wasseroberfläche. Die Absoluthöhe der p-Werte, die grossen Differenzen zwischen den langwelligen und kurzwelligen, das Überragen der grünen p-Werte, die Gleichmässigkeit der Wassertransparenz in den verschiedenen Jahren und Monaten sagen insgesamt, dass das Wasser des Davosersees in den Perioden der durchgeführten Messungen weitgehend frei von suspendierten Mineralstoffen ist und nur wenig Phyto- und Zooplankton enthalten kann – wenigstens in Uferferne, in der immer gemessen worden ist.

Tabelle 3

Messungen zwischen 0,0 und 1,0 m Wassertiefe.
Transmissionskoeffizienten nach Sonnenhöhen und Farben geordnet.

Datum	Sonnenhöhe °	Sonne	Tiefenstufe 0–0,01 m	0,01–0,5 m	0,5–1,0 m	0–1,0 m
Rot						
22. 7. 38	57	gut	$5{,}5 . 10^{-8}$	–	–	0,382
5. 7. 39	57	gut	$6{,}3 . 10^{-9}$	0,168	0,490	0,241
29. 7. 39	54	gut	$1{,}3 . 10^{-11}$	0,319	0,321	0,252
20. 7. 38 a	52	gut	–	–	–	0,186
30. 7. 38	52	gut	$1{,}0 . 10^{-12}$	–	–	0,358
13. 9. 38	39	gut	$3{,}2 . 10^{-14}$	–	–	(0,307)
22. 7. 38	22	gut	$3{,}2 . 10^{-13}$	–	–	0,333
Orange						
5. 7. 39	59	gut	$1{,}9 . 10^{-9}$	0,216	0,499	0,273
29. 7. 39	56	gut	$5{,}6 . 10^{-7}$	0,359	0,425	0,341
30. 7. 38	49	gut	$9{,}6 . 10^{-14}$	–	–	0,420
Grün						
5. 7. 39	59	gut	$3{,}2 . 10^{-12}$	0,547	0,822	0,509
26. 7. 38	58	gut	$5{,}0 . 10^{-12}$	–	–	0,582
30. 7. 38	55	gut	$2{,}6 . 10^{-12}$	–	–	0,548
29. 7. 39	55	gut	$6{,}5 . 10^{-6}$	0,499	0,844	0,580
26. 7. 38	49	gut	$1{,}8 . 10^{-15}$	–	–	0,560
22. 9. 39	38	gut	–	–	–	0,474
22. 7. 38	22	gut	$1{,}1 . 10^{-17}$	–	–	0,519
Blau						
22. 7. 38	63	gut	$1{,}5 . 10^{-14}$	–	–	0,489
22. 7. 38 p	62	gut	$2{,}9 . 10^{-10}$	–	–	0,521
22. 7. 38 p	61	gut	$4{,}5 . 10^{-11}$	–	–	0,435
22. 7. 38 a	60	gut	$7{,}1 . 10^{-14}$	–	–	0,523
22. 7. 38	58	gut	–	–	–	(0,767)
2. 8. 38	56	gut	$1{,}3 . 10^{-10}$	–	–	0,546
5. 7. 39	56	gut	$3{,}0 . 10^{-9}$	0,531	0,670	0,493
30. 7. 38	54	gut	$5{,}0 . 10^{-9}$	–	–	0,542
20. 7. 38 a	52	gut	–	–	–	0,621
20. 7. 38 p	52	gut	$3{,}0 . 10^{-16}$	–	–	0,533
29. 7. 39	52	gut	$5{,}0 . 10^{-14}$	0,792	0,836	0,595
13. 9. 38	43	gut	$1{,}6 . 10^{-20}$	–	–	0,491
22. 9. 39	37	gut	–	–	–	0,482
20. 7. 38	36	gut	$6{,}8 . 10^{-13}$	–	–	0,535
20. 7. 38	27	gut	$2{,}3 . 10^{-17}$	–	–	0,514

Auch die Lichtdurchlässigkeit und Farbe der obersten 1-m-Wasserschicht wurde durch viele systematische Messungen, insbesondere während der Jahre 1938 und 1939 zu bestimmen und nach Gesetzmässigkeiten zu deuten gesucht. Tabelle 3 enthält die Resultate. Die Gesetz-

mässigkeit wird weitgehend durch die p-Werte der obersten Zentimeterschicht bestimmt, was ja auch leicht verständlich ist, denn von ihr geht vorzugsweise die gesamte Reflexion des Wasserspiegels aus. Sie enthält auch den grössten Teil auf der Oberfläche schwimmender Verunreinigungen. Vorzugsweise in ihr treten durch Windwirkung kleinste Luftbläschen auf. Die Veränderungen in ihr gegenüber der glatten Spiegelfläche, wenn auch nur durch leichte Kräuselung verursacht, variieren, und zwar gegenüber den tieferen Wasserschichten fast ausschliesslich im Sinne der Schwächung der Durchlässigkeit.

Sehr exakte Messungen in 1 cm Tiefe sind nicht leicht durchzuführen, ausser bei spiegelglattem See, der freilich in den Zeiten, während denen gemessen werden kann, selten ist.

Die wiederum nach Sonnenhöhen und Farben geordneten Transmissionskoeffizientenwerte der Tabelle 3 lassen in Spalten 4–7 erkennen, dass sich die p-Werte, wiederum bezogen auf eine 1-m-Wasserschicht, in der Grössenanordnung von 1 Milliardstel (10^{-8}) bis 1 Trillionstel (10^{-18}) bewegen oder fassbarer ausgedrückt, dass 1 cm der obersten 1-m-Wasserschicht im Mittel etwa ebenso viel Licht zurückhält, wie 1 m des Wassers in mehr als 1 m Tiefe. Trotz beträchtlicher Schwankungen darf die Vermutung ausgesprochen werden, dass mit sinkender Sonne eine Abnahme der p-Werte besteht, und zwar für alle Farben etwa gleichmässig. Aus ihren wohl ausgedehntesten aller bisher vorliegenden Unterwasserlichtmessungen leiteten Poole und Atkins (20) einen mittleren Reflexionswert von 15% ab, was der Grössenanordnung des p-Wertes von 10^{-8} für die oberste 1-cm-Schicht entspricht, d.h., der weitaus grösste Teil der in Davos gefundenen p-Werte wäre durch die Reflexion zu erklären, was auch der Erwartung entspricht.

Betrachten wir nun zunächst die Spalte 6 der Tabelle 3, so erkennen wir, dass in der zwischen 0,5 und 1 m gelegenen Schicht die kurzwelligen Grün- und Blauwerte schon ihren normalen, für grössere Tiefen geltenden Wert gewonnen haben (die Werte der letzten Spalte der Tabelle 3 sind vergleichbar mit den schon in Tabelle 1 enthaltenen Werten) und zwar bei allen Sonnenhöhen, während sie für die langwellige Rot- und Orangestrahlung nur bei hohen Sonnenhöhen schon in 0,5–1 m Tiefe den Normalwert erreichen und bei mittleren und niedrigeren Sonnenhöhen noch zu klein erscheinen. Dies gilt nicht nur für die abnormalen Werte von Anfang Juli 1939, sondern auch für alle 1938 und, wie hier hinzugefügt sei, auch für die 1934 und 1936 gewonnenen Werte, welche freilich nicht in grosser Zahl vorliegen. Man wird geneigt sein, auch hier eine Planktonwanderung als Ursache der Abweichung anzunehmen.

In der zwischen 0,01 und 0,5 m liegenden Wasserschicht erweist sich das Wasser in allen Jahren zu allen Zeiten bei allen Sonnenhöhen gegenüber den tieferen Schichten ganz wesentlich getrübt, worüber die Spalte 5 die näheren Angaben enthält. Die p-Werte sinken in Grün und Blau auf etwa $^2/_3$, in Rot und Orange sogar auf etwa $1/2$ der erst in $1/2$ bis 1 m auftretenden Normalwerte ab. Zieht man noch die aus den Jahren 1934 und 1936 etwas zahlreicher vorliegenden p-Werte zwischen 0,01 und 1 m Wassertiefe herbei (die Zwischenzahl für 0,5 m fehlt in diesen Jahren meist), so muss man die relativ grosse Gleichmässigkeit der Erscheinungen an sich und selbst ihrer Zahlengrössen auch hier anerkennen.

Diese Gleichmässigkeit ist übrigens auch durch Messungen mit der Secchischeibe aufgefallen, welche durchgeführt wurden, seit überhaupt biologische Beobachtungen am Davosersee angestellt worden sind, d.h. seit 1913. Sie sind freilich nur seltener angestellt, seitdem die Ansprüche durch Einführung der photographischen und dann photoelektrischen Messmethoden in begrenzten Spektralteilen gesteigert worden sind. Immerhin liegen auch aus den hier betrachteten 4 Jahren 1934, 1936, 1938, 1939 Messungen vor und ihre Resultate lauten sämtliche auf eine Durchsichtigkeit (D) von 7,5 m mit Ausnahme der, wie oben ausführlich erörtert, durch die infolge verspäteter Auffüllung des Sees gestörten Julitage des Jahres 1939. Von diesen wies der die grösste Störung zeigende 4. Juli 1939 ein D von nur 4,1 m auf, während nach weiterem Aufklaren des Seewassers am 29. Juli 1939 D = 6,5 m gefunden wurde. Poole und Atkins (20) haben aus ihren langen Messreihen folgende rohe Beziehung zwischen dem Absorptionskoeffizienten (a) der Wasserschicht zwischen 0 und 20 Meter und der Anzeige der Secchischeibe abgeleitet: a = 1,7 : D. Das ergibt aus dem Davoser Wert D = 7,5, da a = log. nat. p, für den Transmissionskoeffizienten p den Wert 0,797, welcher zufällig genau übereinstimmt mit dem laut Tabelle 2 für Blaulicht bei hohen Sonnenhöhen für die gleiche Wassertiefe im Mittel gefundenen Wert.

3. Relative und absolute Helligkeitswerte (Energien)

Nun bieten ja die Transmissionskoeffizientenwerte zweifellos das physikalisch bestbegründete und für sichere Vergleiche übersichtlichste Mass; aber sie entbehren doch einer gewissen Anschaulichkeit. Ein Vergleich mit dem uns vertrauten Tageslicht und seinen Variationen

und eine prozentuale Beziehung der Lichtabnahme mit der Tiefe zu ihm geben eine bessere Vorstellung. Daher sind, wiederum zusammengefasst für hohe (57½°), mittlere (42½°) und niedrige (27½°) Sonnenhöhen, in Tabelle 4 die Prozentwerte, bezogen auf die Helligkeit (Intensität) des auf die Seeoberfläche einfallenden Lichtes für die Wassertiefen 1, 2, 3, 5,

Tabelle 4

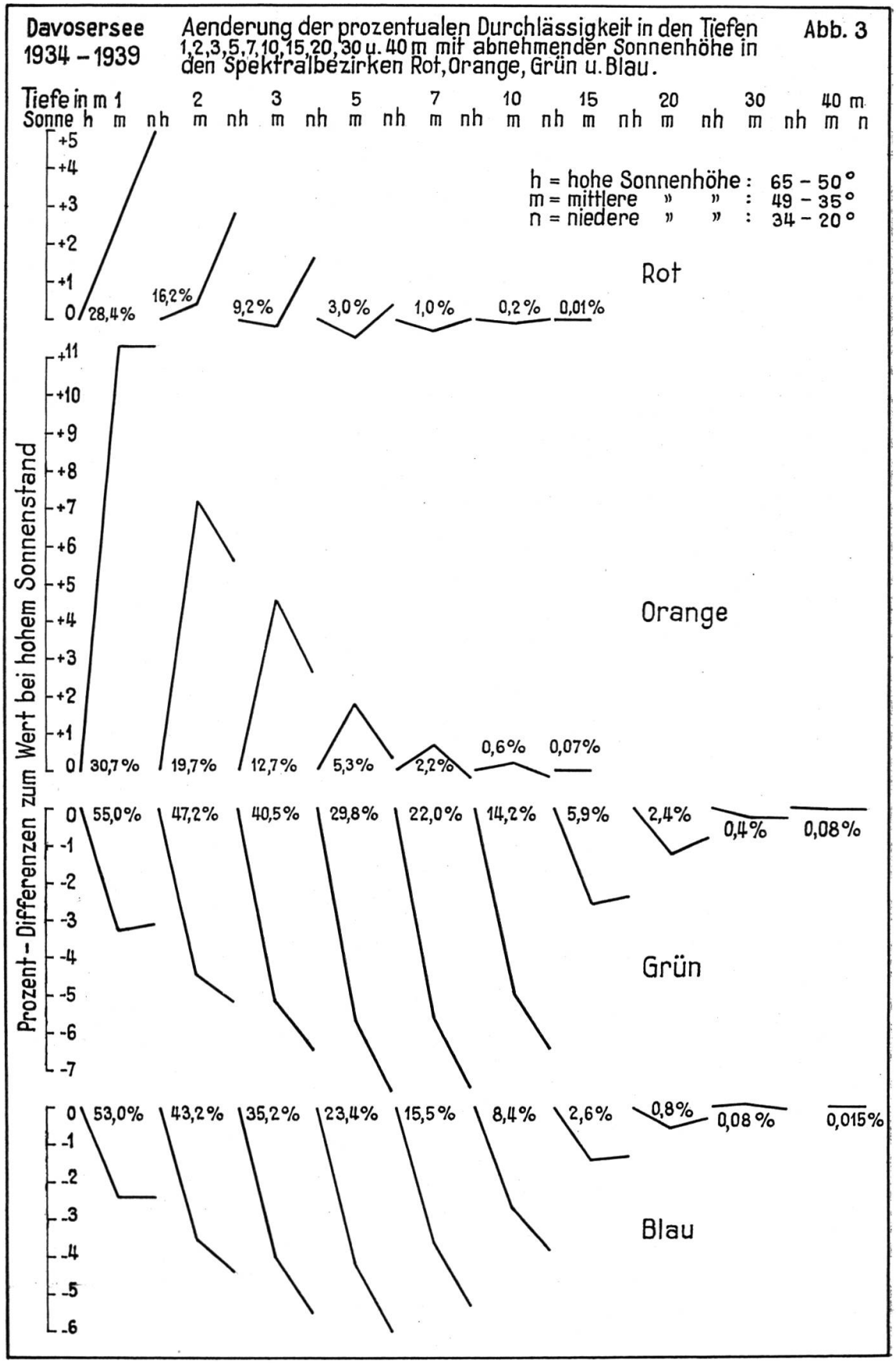
Durchlässigkeit in Prozenten der auf die Wasseroberfläche auffallenden Strahlung, geordnet nach hohen, mittleren und niedrigen Sonnenhöhen.
4jährige Mittel. Heitere Tage.

Wassertiefe m	Rot	Orange	Grün	Blau
Hohe Sonnenhöhen 65–50°				
0	100	100	100	100
1	28,4	30,7	55,0	53,0
2	16,2	19,7	47,2	43,2
3	9,2	12,7	40,5	35,2
5	3,0	5,3	29,8	23,4
7	1,0	2,2	22,0	15,5
10	0,2	0,6	14,2	8,4
15	0,01	0,07	5,9	2,6
20	–	–	2,4	0,8
30	–	–	0,4	0,08
40	–	–	0,08	–
Mittlere Sonnenhöhen 49–35°				
0	100	100	100	100
1	30,7	42,0	51,7	50,6
2	16,6	26,9	42,7	39,7
3	9,0	17,3	35,3	31,2
5	2,5	7,1	24,1	19,2
7	0,7	2,9	16,4	11,9
10	0,1	0,8	9,3	5,7
15	0,004	0,08	3,3	1,2
20	–	–	1,16	0,26
30	–	–	0,17	0,11
40	–	–	0,024	0,015
Niedrige Sonnenhöhen 34–20°				
0	100	100	100	100
1	33,3	42,0	51,9	50,6
2	19,0	25,3	42,0	38,8
3	10,9	15,3	34,0	29,7
5	3,4	5,6	22,2	17,4
7	1,0	2,0	14,5	10,2
10	0,18	0,44	7,7	4,6
15	–	–	3,5	1,3
20	–	–	1,55	0,48
30	–	–	0,08	0,02
40	–	–	0,005	0,002

7, 10, 15, 20, 30 und 40 m und für alle Farben einzeln berechnet, wobei für alle Tiefen die in Tabelle 2 enthaltenen mittleren p-Werte verwendet wurden, während für die oberste 1-m-Schicht die Mittel der Spalte 7 der Tabelle 3 herangezogen wurden, welche sich freilich nur auf die Jahre 1938 und 1939 beziehen. Dabei ist der schon erwähnte abnormale p-Wert vom 5. Juli 1939 ausgeschaltet worden.

Entsprechend den oben dargestellten Verhältnissen der p-Werte nimmt die Helligkeit bei allen Sonnenhöhen mit der Tiefe ab, und zwar in Rot am schnellsten, in Grün am langsamsten. Orange steht dem Rot, Blau dem Grün nahe. Mit sinkender Sonne fällt die prozentuale kurzwellige Helligkeit, und zwar mit zunehmender Tiefe schneller, bis etwa 15–20 m Tiefe ab; dagegen steigen die langwelligen Prozentzahlen mit sinkender Sonne (im Orange noch mehr als im Rot, namentlich bei mittleren Sonnenhöhen) bis zu etwa 3 bzw. 5 m an, um dann ebenfalls zu fallen. Das entspricht den langwelligen Maximalwerten in 3 bzw. 4 m und den kurzwelligen Minimalwerten in 20 m Tiefe, deren Ursache wir schon oben erörterten. In 15 m wird die langwellige Strahlung fast bedeutungslos, die kurzwellige aber erst in 40 m Tiefe. Auch relativ, und natürlich erst recht absolut, verbleibt in dieser Tiefe bei hohem Sonnenstand noch 3½mal mehr Energie als bei mittlerem und 16mal mehr als bei niedrigem Sonnenstand (Abb. 3).

Bei einem Vergleich der Prozentwerte der Durchlässigkeit zwischen verschiedenen Orten muss man sehr darauf achten, welcher Helligkeitswert der Prozentrechnung zugrunde gelegt worden ist. Verschiedene Autoren verfuhren in dieser Beziehung unterschiedlich. So legt Atkins (4) seinen Prozentrechnungen einheitlich einen Reflexionsverlust von 15% zugrunde. Sauberer und Eckel (23) rechnen auf Grund ihrer Reflexionsmessungen mit 5% Reflexionsverlust, d.h., etwa dem doppelten des aus dem Brechungsindex errechneten, womit sie zu ähnlichen Werten kommen, wie sie Angström und Lunelund (2) gefunden haben. O. Eckel (6) bezieht die prozentualen Durchlässigkeiten der zahlreichen von ihm untersuchten Seen Kärntens, des Salzkammerguts und des Traungebietes auf die in 5 m Tiefe herrschenden Helligkeiten. Seybold (17) scheint nach dem zusammenfassenden Bericht R. Orths (17) die Lichtverteilung im Adriatischen Meer ohne weitere Korrektur auf die auf die Wasseroberfläche einstrahlende Energie bezogen zu haben, wie auch wir es taten und es – da den wahren Verhältnissen entsprechend – allgemein geschehen sollte. Mit der Klarheit des offenen Meerwassers können die Binnenseen natürlich nicht konkurrieren. Im Atlantik fand Atkins (4) in 20 m Tiefe noch 5,6% der auf die Oberfläche einstrahlenden


Davosersee
1934 – 1939
Aenderung der prozentualen Durchlässigkeit in den Tiefen 1,2,3,5,7,10,15,20,30 u. 40 m mit abnehmender Sonnenhöhe in den Spektralbezirken Rot, Orange, Grün u. Blau.
Abb. 3
Tiefe in m 1 2 3 5 7 10 15 20 30 40 m
Sonne h m nh m nh m nh m nh m nh m nh m nh m nh m nh m n
h = hohe Sonnenhöhe : 65 – 50°
m = mittlere » » : 49 – 35°
n = niedere » » : 34 – 20°
Rot
28,4% 16,2% 9,2% 3,0% 1,0% 0,2% 0,01%
Orange
30,7% 19,7% 12,7% 5,3% 2,2% 0,6% 0,07%
Grün
55,0% 47,2% 40,5% 29,8% 22,0% 14,2% 5,9% 2,4% 0,4% 0,08%
Blau
53,0% 43,2% 35,2% 23,4% 15,5% 8,4% 2,6% 0,8% 0,08% 0,015%
Prozent-Differenzen zum Wert bei hohem Sonnenstand

blauen Energie (nur diese mass im Mittel seine photoelektrische Zelle) und in der blauen Adria mass SEYBOLD (17) bei hochstehender Sonne in 20 m Tiefe noch 14% Blau und sogar 15% Grün, also 6mal mehr als im Davosersee festgestellt wurde. Die englischen Seen, welche ULLYOTT (18) untersuchte, ähneln in ihrer Transparenz weitgehend dem Davosersee und unter den vielen österreichischen Seen, deren Kenntnis wir ECKEL und SAUBERER (22, 23) verdanken und deren teilweise grosse Differenzen ECKEL (6) gut zu erklären vermochte, steht der Lunzer Untersee dem Davosersee wohl am nächsten. Freilich stimmt das Ver-verhältnis der 0-m- und 1-m-Kurve (22) gar nicht zum Davoser Befund, was sich durch die mit 5% angenommene Reflexstrahlung erklärt, die nach den ausführlichen Daten unserer Tabelle 3 dem grossen Verlust in der obersten Wasserschicht keineswegs gerecht wird.

Gehen wir aber von den Werten der 1-m-Schicht aus, so stimmen die Werte der Durchlässigkeit beider Seen erstaunlich gut überein, denn wir finden laut Abb. 12, S. 286 (22), nachstehende Prozentwerte:

Rotintensitäten	im Lunzer Untersee	Davosersee
in 1 m Tiefe	100%	100%
in 2 m Tiefe	55%	57%
in 5 m Tiefe	11%	11%
Grünintensitäten		
in 1 m Tiefe	100%	100%
in 2 m Tiefe	87%	86%
in 5 m Tiefe	52%	54%

Hier soll nun, um im Zusammenhang zu bleiben, dem folgenden, die absoluten Intensitäten behandelnden Abschnitt, vorgegriffen werden. Erfreulicherweise teilen SAUBERER und ECKEL (21) auch absolute Kalorien und zwar in Millikal./cm² und Min. pro 50 $m\mu$ mit; diese sind also nur durch 50 zu dividieren, um den Davoser Werten der Tabelle 6 vergleichsweise zugeordnet werden zu können, denn alle Zahlenangaben verstehen sich wie in Davos für klare Sommertage bei hoher Sonne.

Entsprechend der gut 1000 m niedrigeren Lage über Meer ist die einfallende Strahlung in Lunz von geringerer Intensivität und geringer an kurzwelliger Strahlung. In Rot stehen 1,24 Millikalorien in Lunz 1,53 Millikalorien von Davos gegenüber und in Grün entsprechen 1,5

Millikalorien in Lunz 2,00 Millikalorien in Davos (die Davoser Zahlen sind der Tabelle 6 vom Juli 1938 entnommen). Die Steigerung der Energien um $^1/_3$ im kurzwelligen und $^1/_4$ im langwelligen Licht entsprechen auch den Erfahrungen von W. MÖRIKOFER (16).

Klar und den relativen Prozentzahlen, aus denen die Energien abgeleitet sind, entsprechend, differieren dann die Werte der 1-m-Wasserschicht derart, dass die Davoser Werte unter diejenigen von Lunz sinken und damit auch die 5-m-Werte. Es beträgt nämlich der Wert in 1 m Tiefe vom Wert in 0 m

	im Lunzer Untersee	im Davosersee
in Rot	0,60	0,36
in Grün	0,80	0,55

Setzen wir die im Davosersee für diesen Übergang gefundenen Verhältniszahlen auch für den Lunzer Untersee ein, was wir unbedenklich tun können, da ja die Transparenz beider Seen in allen Tiefen und allen Farben fast genau übereinstimmend gefunden worden ist und durch die von SAUBERER gemessenen 5% Reflexion der Seeoberfläche nach aussen sicher nicht alle Schwächungen erfasst sein können, welche die einfallende Strahlung in der allerobersten Wasserschicht durch zahllose innere Reflexionen, durch Absorption und Diffusion an suspendierten, organischen und anorganischen Stoffen, Luftblasen usw. erfährt, so gelangen wir zu folgenden Millikalorienwerten:

		Lunzer Untersee Millikalorien	Davosersee Millikalorien
Rot	0 m	1,24	1,53
	1 m	0,44	0,55
	5 m	0,04	0,05
Grün	0 m	1,50	2,00
	1 m	0,83	1,10
	5 m	0,42	0,58

Diese Unterschiede wären also fast ausschliesslich durch die Meereshöhe zu erklären, vorbehalten kleine Differenzen durch Uferstrahlung. Sollte die absolute und nicht die relative Strahlungsintensität entscheiden, so müsste sich hiernach im Lunzer Untersee das gesamte Leben der Vegetation und der Fauna in 1–2 m höherer Wassertiefe abspielen als im Davosersee.

Jedenfalls können wir aus diesen rein zufällig so günstig gebotenen Vergleichen volles Zutrauen gewinnen zur Messmethode des Unterwasserlichts in absolutem Energiemass mittels Sperrschichtphotozellen in begrenzten Spektralgebieten, zumal die angewandten Filter recht voneinander abweichen, da bei unsern Messungen im Davosersee engbegrenzte einfache Gelatinefolien, in Lunz dagegen weiss-kombinierte SCHOTTsche Glasfilter gebraucht wurden.

Hier soll nicht versäumt werden, auf die wertvollen Einblicke hinzuweisen, welche O. ECKEL (6) bei seinem Versuch erörtert, die Absorption (Transmission) des senkrecht definiert durch eine Wasserschicht von 1 m Dicke fallenden Sonnenstrahls (unter Ausschluss alles Himmelslichts) exakt physikalisch zu bestimmen, ein Versuch, welcher in Davos schon 1932 auf Grund der damals durchgeführten photographischen Messungen gemacht und niedergeschrieben, freilich erst 1936 veröffentlicht worden ist. Sie beziehen sich auf den Wechsel der Anteile des Himmels und des Gesamtlichts mit der Wassertiefe, die Zunahme der Durchsichtigkeit des Wassers für Himmelslicht mit der Tiefe, die Verlagerung des optischen Schwerpunktes der Himmelsstrahlung nach zenithnahen Himmelspartien bei zunehmender Wassertiefe und die Wirkung der Horizontabschirmung durch den See umrahmende Berge. Sie erweitern also die in Davos (32) schon im Jahre 1932 angestellte, hier auszugsweise (32) wiedergegebene Überlegung.

Für biologische Probleme weitaus wichtiger als die einer leichten Anschauung Rechnung tragenden Prozentwerte sind natürlich die absoluten Energien, welche in den verschiedenen Wassertiefen in den verschiedenen Spektralteilen zur Wirkung gelangen. Hierüber sind schon andernorts eingehend (28) Ausführungen gemacht worden. Die Energiewerte sind hier (vergl. Seite 3) durch Eichung in Millikalorien pro cm^2 und Minute, bezogen auf $\lambda = 1\ m\mu$, bestimmt. Sie sagen also aus, wieviel Millikalorien jede Spektrallinie von 1 $m\mu$ Breite pro Minute auf 1 cm^2

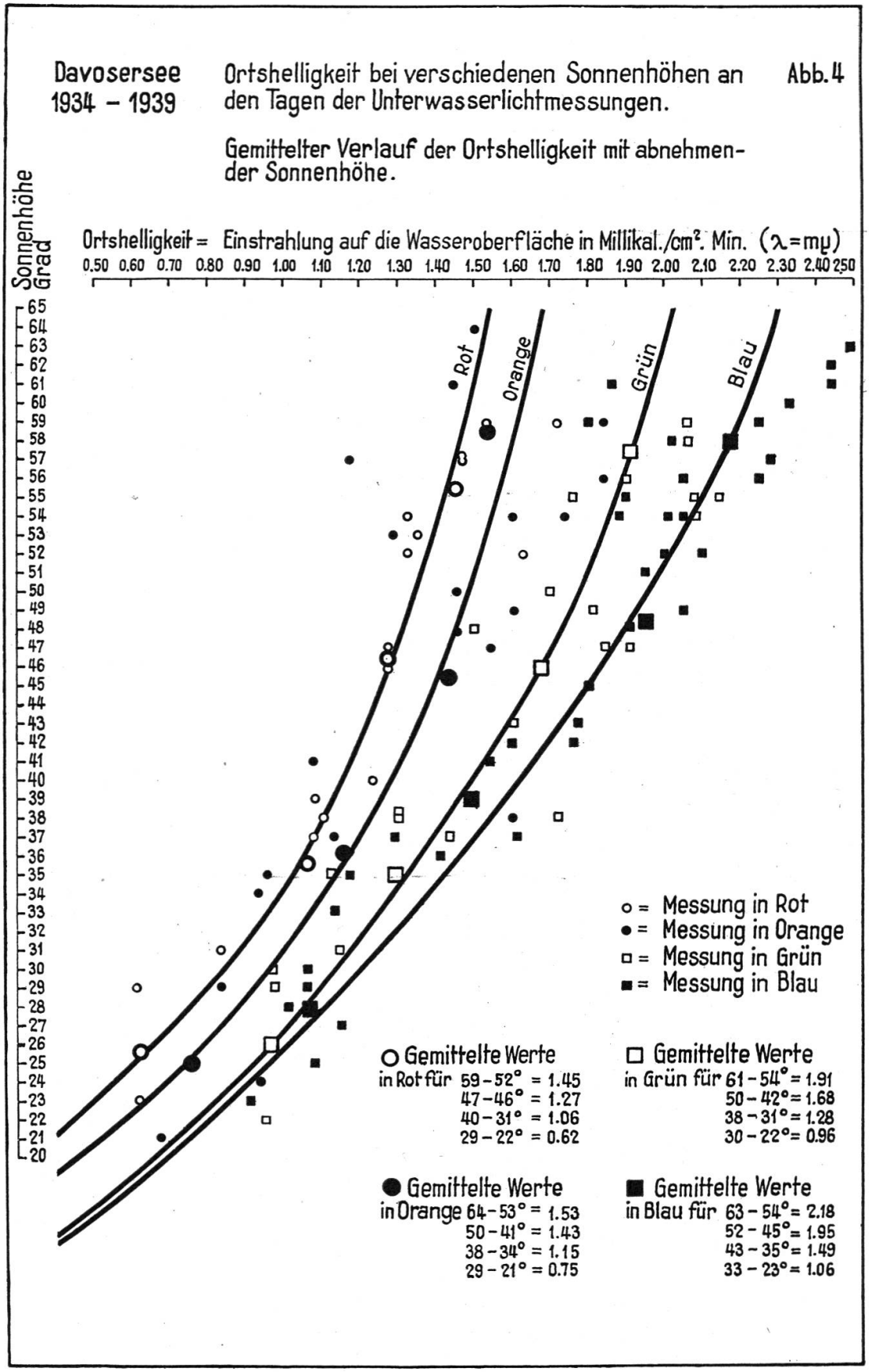
in Blau	zwischen 530 und 460 $m\mu$
in Grün	zwischen 570 und 510 $m\mu$
in Orange	zwischen 750 und 610 $m\mu$
in Rot	zwischen 770 und 650 $m\mu$

strahlt, wobei die optischen Schwerpunkte bei den Wellenlängen in Blau bei 488 $m\mu$, in Grün bei 533 $m\mu$, in Orange bei 660 $m\mu$ und in Rot bei 678 $m\mu$ liegen, so dass in weiteren Rechnungen die gefundenen Kalorienwerte unmittelbar diesen Wellenlängen zugeordnet werden können.

Tabelle 5

Ortshelligkeit = Einstrahlung auf die Wasseroberfläche in Millikal./cm². Min. $\lambda = m\mu$. Einstrahlung nach Spektralbereich und Sonnenhöhen geordnet (Abb. 4).

Datum	Sonnenhöhe ⁰	Ortshelligkeit = Einstrahlung Millikal./cm² Min. $\lambda = m\mu$	Datum	Sonnenhöhe ⁰	Ortshelligkeit = Einstrahlung Millikal./cm² Min. $\lambda = m\mu$
Rot					
19. 7. 34	59	1,72	15. 8. 36	46	1,27
10. 8. 36	59	1,53	22. 9. 39	40	1,23
22. 7. 38	57	1,47	13. 9. 38	39	1,08
5. 7. 39	57	1,47	28. 9. 34	38	1,10
29. 7. 39	54	1,32	28. 9. 34	37	1,07
15. 8. 34	53	1,35	26. 9. 34	31	0,83
20. 7. 38	52	1,32	26. 9. 34	29	0,61
30. 7. 38	52	1,63	22. 7. 38	22	0,62
10. 8. 36	47	1,27			
Orange					
9. 7. 34	64	1,50	15. 8. 36	48	1,45
19. 7. 34	61	1,44	22. 7. 38	47	1,54
5. 7. 39	59	1,84	28. 9. 34	41	1,07
9. 7. 34	57	1,17	7. 8. 34	38	1,60
29. 7. 39	56	1,84	22. 7. 38	37	1,13
10. 8. 36	54	1,60	28. 9. 34	35	0,95
22. 7. 38	54	1,73	2. 10. 34	34	0,93
19. 7. 34	53	1,28	26. 9. 34	29	0,83
6. 8. 36	50	1,50	7. 8. 34	24	(0,93)
30. 7. 38	49	1,60	28. 9. 34	21	0,67
Grün					
28. 7. 34	61	1,62	7. 8. 34	47	1,84
5. 7. 39	59	2,06	22. 7. 38	47	1,91
28. 7. 34	58	1,60	28. 7. 34	42	1,50
26. 7. 38	58	2,06	28. 9. 34	38	1,30
10. 8. 36	56	1,90	2. 10. 34	38	1,30
28. 7. 34	55	1,76	22. 9. 39	38	1,72
22. 7. 38	55	2,08	22. 7. 38	37	1,43
29. 7. 39	55	2,14	28. 7. 34	35	1,12
22. 7. 38	54	2,08	7. 8. 34	31	1,14
15. 8. 36	50	1,70	28. 7. 34	30	0,96
22. 7. 38	49	1,81	26. 9. 34	29	0,97
28. 7. 34	48	1,50	22. 7. 38	22	0,95
Blau					
22. 7. 38	63	2,49	10. 8. 36	59	2,25
22. 7. 38	62	2,44	28. 7. 34	58	2,02
28. 7. 34	61	1,86	22. 7. 38	57	2,28
22. 7. 38	61	2,44	2. 8. 38	56	2,05
22. 7. 38	60	2,33	5. 7. 39	56	2,25
28. 7. 34	59	1,80	28. 7. 34	55	1,90


Davosersee
1934 – 1939
Ortshelligkeit bei verschiedenen Sonnenhöhen an den Tagen der Unterwasserlichtmessungen.
Abb. 4
Gemittelter Verlauf der Ortshelligkeit mit abnehmender Sonnenhöhe.
Sonnenhöhe Grad
Ortshelligkeit = Einstrahlung auf die Wasseroberfläche in Millikal./cm². Min. (λ = mμ)
0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 1.10 1.20 1.30 1.40 1.50 1.60 1.70 1.80 1.90 2.00 2.10 2.20 2.30 2.40 2.50
Rot
Orange
Grün
Blau
○ = Messung in Rot
● = Messung in Orange
□ = Messung in Grün
■ = Messung in Blau
○ Gemittelte Werte in Rot für 59 – 52° = 1.45
47 – 46° = 1.27
40 – 31° = 1.06
29 – 22° = 0.62
● Gemittelte Werte in Orange 64 – 53° = 1.53
50 – 41° = 1.43
38 – 34° = 1.15
29 – 21° = 0.75
□ Gemittelte Werte in Grün für 61 – 54° = 1.91
50 – 42° = 1.68
38 – 31° = 1.28
30 – 22° = 0.96
■ Gemittelte Werte in Blau für 63 – 54° = 2.18
52 – 45° = 1.95
43 – 35° = 1.49
33 – 23° = 1.06

Datum	Sonnenhöhe °	Ortshelligkeit = Einstrahlung Millikal./cm². Min. $\lambda = m\mu$	Datum	Sonnenhöhe °	Ortshelligkeit = Einstrahlung Millikal./cm². Min. $\lambda = m\mu$
Blau					
19. 7. 34	54	1,88	28. 9. 34	41	1,54
15. 8. 36	54	2,05	2. 10. 34	37	1,29
30. 7. 38	54	2,01	22. 9. 39	37	1,61
20. 7. 38	52	2,10	20. 7. 38	36	1,41
29. 7. 39	52	2,00	28. 7. 34	35	1,17
10. 8. 36	51	1,95	28. 9. 34	33	1,13
28. 7. 34	49	2,05	28. 7. 34	30	1,06
28. 7. 34	48	1,90	26. 9. 34	29	1,06
16. 8. 38	45	1,80	7. 8. 34	28	1,01
15. 8. 36	43	1,60	20. 7. 38	27	1,15
13. 9. 38	43	1,77	20. 7. 38	25	1,08
7. 8. 34	42	1,76	28. 9. 34	23	0,91
28. 7. 34	42	1,60			

Eine Durchsicht der in Tabelle 5 zusammengestellten insgesamt 99 Kalorienwerte der Einstrahlung auf die Wasseroberfläche während der 21 Messreihen lehrt, dass das Material nicht ausreicht, um eine bei fast wolkenfreiem Himmel und klarer Sonne für alle Sonnenhöhen und alle Farben gültige Tabelle aufzustellen, mittels welcher alsdann durch Multiplikation der in Tabelle 4 enthaltenen Prozentwerte die Kalorienwerte für alle Wassertiefen in allen Spektralteilen heraus zu lesen wären. Wir müssen uns auf die relativ wenigen, aber erfreulicherweise recht charakteristischen und fruchtbaren Reihen beschränken, in welchen es gelang, kurz nacheinander innerhalb etwa einer halben Stunde bei kaum wechselnder Sonnenhöhe in allen 4 Farben alle Wassertiefen auszumessen. Derartige Reihen bestehen je 2 aus den Monaten Juli und August der Jahre 1936, 1938 und 1939 bei Sonnenhöhen zwischen 51° und 57° und ferner 2 von Ende September/Anfang Oktober des Jahres 1934 bei Sonnenhöhen zwischen 36° und 38°. Sie repräsentieren also Sommer- und Herbstverhältnisse um die Mittagszeit an heiteren Tagen. In der Tabelle 6 finden sich die genauen Daten und Sonnenhöhen. Die Ergebnisse der benachbarten Tage, welche eine gegenseitige Kontrolle und Ergänzung ermöglichen, sind jeweils in einer einzigen Tabelle zusammengefasst.

Vorweggenommen sei, dass in allen Reihen der Tabelle 6 übereinstimmend das Maximum der für die Wassertiefe Null gültigen Werte, d.h., der von Sonne, Himmel und Ufer auf die Seeoberfläche auffallenden Strahlen in den blauen Spektralbezirk fällt. Hierauf soll noch zurückgekommen werden.

In der Tabelle 6, soweit sie sich auf das Jahr 1936 bezieht, kommt trotz der hohen Sonnenhöhe die kleine Differenz von 5° schon ein wenig zum Ausdruck, weniger in der Spektralzusammensetzung, als in der Intensität, wie die Werte der Einstrahlung (0-m-Werte) besagen. Die Differenz steigert sich in den Unterwasserwerten, weil, wie schon erörtert, infolge gesteigerter Vegetationsentwicklung die p-Werte am 15. August 1936 geringer sind als am 10. August 1936. Zum Beweis sind die in Tabelle 1 schon enthaltenen p-Werte noch einmal in Tabelle 6 aufgeführt, und zwar für alle Wassertiefen einzeln. Im langwelligen Spektralteil hat die Durchlässigkeit mehr eingebüsst als im kurzwelligen. Die Auswirkung kommt wohl am besten in 5 m Tiefe zum Ausdruck. Hier haben am 15. August 1936 die Rot- und Orangeenergien schon etwa 40%, die Grün- und Blauenergien etwa 25% gegenüber den Energien vom 10. August 1936 verloren. Wie sehr verschieden sich in den einzelnen Spektralteilen die recht verschiedenen Durchlässigkeiten in der Tiefe auswirken, zeigt sich auch schon an den 5-m-Werten gut, denn die Überwasserlichtverhältniszahlen von langwelligem zu kurzwelligem Licht von etwa 1:1,25 sind hier schon auf 1:12,5, d.h., das Zehnfache umgewandelt. Auf diesen Wechsel der spektralen Zusammensetzung, d.h. der Farbe mit der Tiefe, wird unten ausführlich eingegangen.

Auch in den Werten des Jahres 1938 der Tabelle 6 kommt die Differenz von 5° trotz der grossen Sonnenhöhe in den Intensitäten der Einstrahlung zum Ausdruck. Der relativ hohe Rotwert deutet auf nur geringen Wolkeneinfluss. Im Gegensatz zum Jahre 1936 finden sich hier in den p-Werten keine Differenzen, das Wasser ist vielmehr an beiden Tagen in allen Farben gleich gut durchlässig. Die Energiedifferenzen ändern sich daher mit der Tiefe kaum. Ob die in Rot (deutlich nur in grösster Tiefe bei kleinem Galvanometerausschlag, also bei grösserer Fehlermöglichkeit) bestehenden Schwankungen reell sind, könnte nur anhand der Ergebnisse der Planktonuntersuchungen überprüft werden.

Verglichen mit den Ergebnissen des Jahres 1936 sind sowohl die Durchlässigkeitswerte in allen Farben und Tiefen, am ausgesprochensten in grösseren Tiefen, als auch die eingestrahlten Energien ein wenig höher und als Folge davon ergibt sich schon in 5 m Tiefe eine Steigerung der Energien im langwelligen Spektralteil um etwa 50%, im kurzwelligen um 20 bis 25%. In 10 m Tiefe sinken die langwelligen Energien, wie Tabelle 6 noch besser als Tabelle 7 zeigt, zur Bedeutungslosigkeit herab, während die kurzwelligen noch bei 20 m Tiefe $^{3}/_{100}$ Millikalorien in Blau und $^{6}/_{100}$ in Grün einstrahlen und in Grün bei 40 m Tiefe noch etwa

Tabelle 6 (Abb. 5)

Vergleich der Absolutwerte (Millikal./cm². Min., $\lambda = m\mu$) und der Transmissionskoeffizienten aller Farben in verschiedenen Tiefen

Tiefe m	Absolutwerte in Millikal./cm² Min. Rot	Orange	Grün	Blau
22./26. Juli 1938, Sonnenhöhe 57°				
0,0	1,47	1,80	2,04	2,28
0,01	1,199	–	1,477	1,658
1,0	0,542	0,790	1,126	1,191
2,0	0,297	0,505	1,020	0,985
3,0	0,168	0,285	0,809	0,829
5,0	0,065	0,119	0,633	0,570
7,0	0,018	–	0,422	0,363
10,0	–	–	0,281	0,161
15,0	–	–	0,122	0,087
20,0	–	–	0,0620	0,031
25,0	–	–	0,0253	0,011
30,0	–	–	0,0077	0,0036
35,0	–	–	0,0023	–
38,0	–	–	0,0011	–
5. Juli 1939, Sonnenhöhe 57°				
0,0	1,59	1,92	2,11	2,31
0,01	1,316	1,571	1,620	1,899
0,5	0,548	0,742	1,187	1,392
1,0	0,384	0,524	1,074	1,139
2,0	0,164	0,349	0,867	0,949
3,0	0,066	0,175	0,678	0,728
5,0	0,017	0,048	0,437	0,380
7,0	0,004	0,016	0,241	0,190
10,0	–	–	0,102	0,063
15,0	–	–	0,021	0,008
20,0	–	–	0,0064	–
25,0	–	–	0,0018	–
30,0	–	–	0,0005	–
10. August 1936, Sonnenhöhe 56°				
0,0	1,53	1,60	1,90	2,25
0,5	0,674	0,653	1,194	1,194
1,0	0,408	0,462	1,035	1,079
2,0	0,224	0,272	0,838	0,851
3,0	0,102	0,191	0,715	0,687
5,0	0,043	0,080	0,531	0,483
7,0	0,014	0,029	0,360	0,301
10,0	0,003	0,010	0,197	0,131
15,0	–	–	0,054	0,028

Schicht m	Transmissionskoeffizienten Rot	Orange	Grün	Blau
22./26. Juli 1938, Sonnenhöhe 57⁰				
0,0 – 0,01	$5{,}5.10^{-8}$	–	$5{,}0.10^{-12}$	$7{,}0.10^{-14}$
0,01– 1,0	0,448	–	0,762	0,716
1,0 – 2,0	0,556	0,606	0,853	0,832
2,0 – 3,0	0,556	0,606	0,853	0,832
3,0 – 5,0	0,536	–	0,853	0,832
5,0 – 7,0	–	–	0,853	0,803
7,0 –10,0	–	–	0,848	0,803
10,0 –15,0	–	–	0,839	–
5. Juli 1939, Sonnenhöhe 57⁰				
0,0 – 0,01	$6{,}3.10^{-9}$	$1{,}9.10^{-9}$	$3{,}2.10^{-12}$	$3{,}0.10^{-9}$
0,01– 0,5	0,168	0,216	0,547	0,531
0,5 – 1,0	0,490	0,499	0,822	0,670
1,0 – 2,0	0,429	0,550	0,807	0,799
2,0 – 3,0	0,458	0,550	0,778	0,799
3,0 – 5,0	0,487	0,567	0,750	0,707
5,0 – 7,0	0,487	0,584	0,750	0,707
7,0 –10,0	–	–	0,750	0,693
10,0 –15,0	–	–	0,719	0,602
10. August 1936, Sonnenhöhe 56⁰				
0,5 – 1,0	0,366	0,501	0,838	0,800
1,0 – 2,0	0,548	0,626	0,838	0,800
2,0 – 3,0	0,548	0,626	0,838	0,800
3,0 – 5,0	0,548	0,626	0,838	0,800
5,0 – 7,0	0,548	0,626	0,838	0,800
7,0 –10,0	0,548	0,640	0,810	0,771
10,0 –15,0	(0,333)	0,670	0,785	0,743

Tiefe m	Absolutwerte in Millikal./cm². Min. Rot	Orange	Grün	Blau
29. Juli 1939, Sonnenhöhe 54°				
0,0	1,44	1,92	2,19	2,06
0,01	1,120	1,659	1,943	1,504
0,5	0,640	1,003	1,382	1,341
1,0	0,363	0,655	1,271	1,210
2,0	0,227	0,393	1,046	0,981
3,0	0,107	0,262	0,859	0,787
5,0	0,029	0,111	0,561	0,523
7,0	0,011	0,048	0,374	0,294
10,0	–	0,013	0,124	0,121
15,0	–	–	0,025	0,016
30. Juli 1938, Sonnenhöhe 52°				
0,0	1,60	1,72	1,92	1,90
0,01	1,213	1,274	1,471	1,570
1,0	0,573	0,722	1,053	1,033
2,0	0,269	0,446	0,898	0,854
3,0	0,169	0,297	0,759	0,702
5,0	0,027	0,127	0,526	0,468
7,0	–	–	0,325	0,303
15. August 1936, Sonnenhöhe 51°				
0,0	1,35	1,45	1,70	2,05
0,5	0,489	0,588	0,942	1,103
5,0	0,026	0,045	0,391	0,355
28. September 1934, Sonnenhöhe 39°				
0,0	1,07	1,07	1,30	1,54
0,5	0,444	0,605	0,723	0,735
1,0	0,330	0,512	0,656	0,665
2,0	0,182	0,325	0,525	0,560
3,0	0,106	0,191	0,459	0,454
5,0	0,034	0,079	0,315	0,350
7,0	0,013	0,033	0,210	0,210
10,0	–	0,016	0,100	0,105
2. Oktober 1934, Sonnenhöhe 36°				
0,0	1,10	1,03	1,30	1,29
0,5	0,491	0,526	0,824	0,689
1,0	0,330	0,379	0,772	0,649
2,0	0,165	0,217	0,668	0,519
3,0	0,094	0,147	0,492	0,444
5,0	0,035	0,062	0,366	0,292
7,0	0,008	0,024	0,253	0,185
10,0	–	0,003	0,141	0,071
15,0	–	–	0,03580	–
20,0	–	–	0,01470	–
25,0	–	–	0,00545	–
30,0	–	–	0,00181	–
35,0	–	–	0,00060	–
40,0	–	–	0,00024	–

Transmissionskoeffizienten

Schicht m	Rot	Orange	Grün	Blau
29. Juli 1939, Sonnenhöhe 54°				
0,0 – 0,01	$1{,}3 \cdot 10^{-11}$	$5{,}6 \cdot 10^{-7}$	$6{,}5 \cdot 10^{-6}$	$5{,}0 \cdot 10^{-14}$
0,01– 0,5	0,319	0,359	0,499	0,792
0,5 – 1,0	0,321	0,425	0,844	0,836
1,0 – 2,0	0,542	0,644	0,823	0,811
2,0 – 3,0	0,542	0,644	0,823	0,811
3,0 – 5,0	0,562	0,649	0,703	0,811
5,0 – 7,0	0,562	0,653	0,703	0,783
7,0 –10,0	–	0,653	0,681	0,748
10,0 –15,0	–	–	0,725	0,656
30. Juli 1938, Sonnenhöhe 52°				
0,0 – 0,01	$1{,}0 \cdot 10^{-12}$	$9{,}6 \cdot 10^{-14}$	$2{,}6 \cdot 10^{-12}$	$5{,}0 \cdot 10^{-9}$
0,01– 1,0	0,468	0,561	0,714	0,655
1,0 – 2,0	0,548	0,618	0,838	0,815
2,0 – 3,0	0,548	0,637	0,838	0,815
3,0 – 5,0	0,551	0,655	0,838	0,815
5,0 – 7,0	–	–	0,838	0,815
15. August 1936, Sonnenhöhe 51°				
0,01– 0,5	–	0,250	0,484	–
0,5 – 1,0	(0,522)	0,566	0,822	0,776
1,0 – 2,0	0,522	0,566	0,822	0,776
2,0 – 3,0	0,522	0,566	0,822	0,776
3,0 – 5,0	0,522	0,566	0,822	0,776
28. September 1934, Sonnenhöhe 39°				
0,5 – 1,0	0,574	0,638	0,832	0,848
1,0 – 2,0	0,574	0,638	0,832	0,848
2,0 – 3,0	0,574	0,638	0,832	0,848
3,0 – 5,0	0,543	0,638	0,832	0,848
5,0 – 7,0	0,511	0,638	0,803	0,785
7,0 –10,0	–	0,598	0,803	0,785
2. Oktober 1934, Sonnenhöhe 36°				
0,5 – 1,0	0,537	0,620	0,828	0,813
1,0 – 2,0	0,537	0,620	0,828	0,813
2,0 – 3,0	0,537	0,620	0,828	0,813
3,0 – 5,0	0,537	0,620	0,828	0,813
5,0 – 7,0	0,537	0,620	0,828	0,813
7,0 –10,0	(0,316)	(0,505)	0,828	0,738

$^1/_{1000}$ Millikalorie nachweisbar ist. Dies bedeutet freilich immer noch das etwa 3 Millionen-fache des Schwellenwertes des menschlichen Auges für Grün, denn $1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Kal./Min. entsprechen $1{,}8 \cdot 10^{-8}$ Kal./Sek. oder 0,75 Erg./Sek. gegenüber dem Schwellenwert des menschlichen Auges von $2{,}4 \cdot 10^{-7}$ Erg. in Grün. Extrapoliert man unter der Voraussetzung, dass die Wasserdurchlässigkeit p unverändert 0,84 bleibt, auf die Tiefe, in der der Schwellenwert des menschlichen Auges in Grün erreicht würde, so kommt man auf eine Wassertiefe von 129 m. Fast genau dieselbe Tiefe ergibt sich aus der von Poole und Atkins (20) veröffentlichten ungünstigsten Reihe vom 7. September 1927, während freilich die günstigsten Reihen extrapoliert eine etwa 20mal grössere Tiefe ergeben würden.

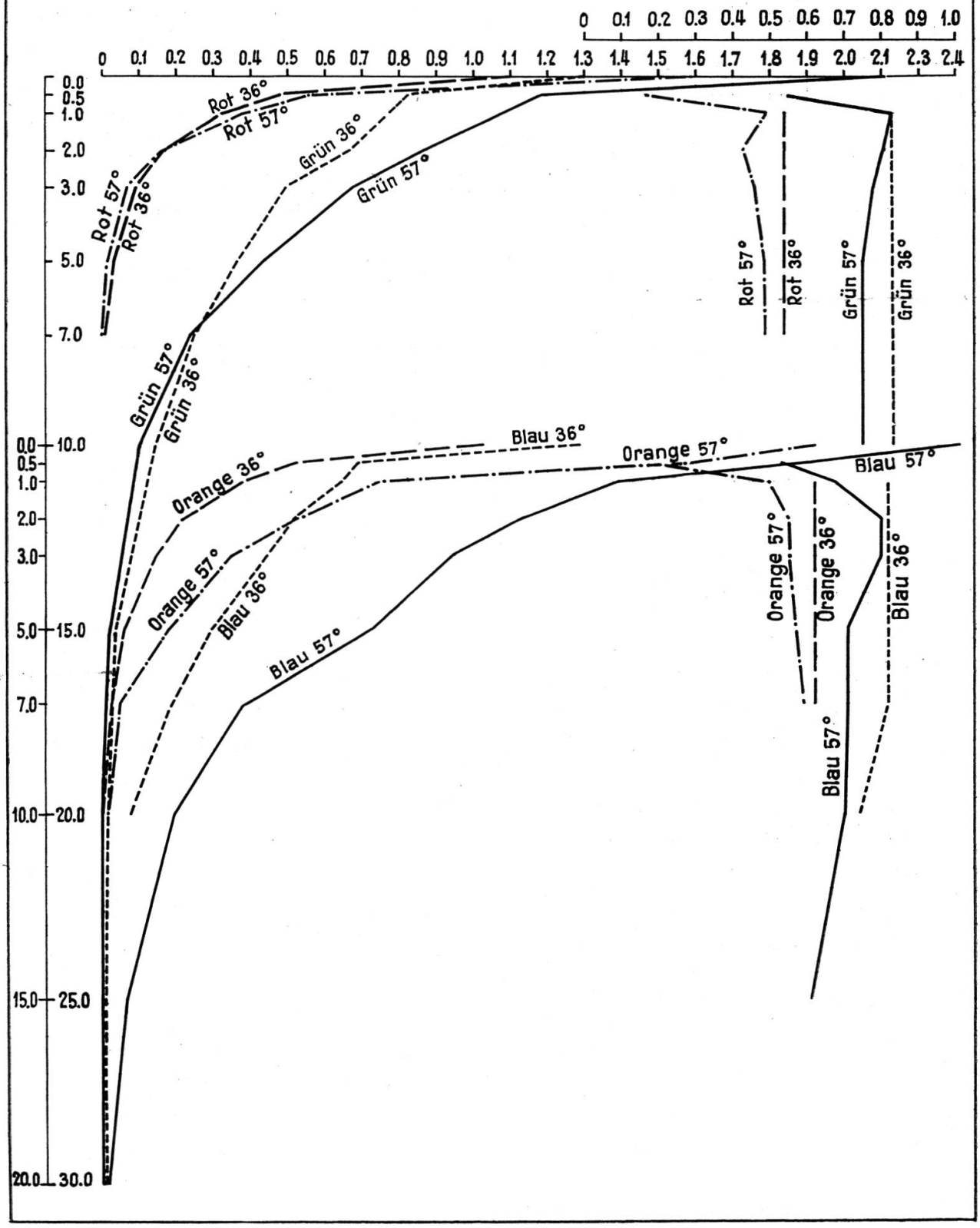
Schon seit über 100 Jahren (Ponchet, 1848) ist bekannt, dass die Haut von Fischen und Fröschen ähnlich hochgradig reaktionsfähige Gewebe darstellt, wie die Netzhaut des menschlichen Auges, und gleiches gilt für die Siphons von Mollusken (12) und vielleicht auch für die gefärbten inneren Organe der durchsichtigen Daphnien (?). Nach Russel (21) ist es sehr wahrscheinlich, dass das Auge des Fisches imstande ist, Farben wahrzunehmen. Es sind also, ganz abgesehen von möglichem ganz kurzwelligem Fluoreszenzlicht, bei seebiologischen Fragen auch die Strahlungsverhältnisse der Tiefen von 100 m und mehr zu berücksichtigen, im Davosersee mit seiner maximalen Tiefe von 53 m jedenfalls alle Tiefenstufen.

Die in der Tabelle 6 zusammengestellten Parallelbeobachtungen aus dem Jahre 1939 umfassen den oben schon des öftern erwähnten Zustand des Sees am 5. Juli 1939 und am 29. Juli 1939, an welchen Daten der See infolge seiner verspäteten Auffüllung noch stark getrübt war. An diesen beiden Untersuchungstagen war, wie schon bei der Erörterung der Transmissionskoeffizienten dargelegt wurde, vor allem in der Tiefe die Trübung noch nicht abgeklungen, d.h., die mit den Zuflüssen eingeschwemmten mineralischen Suspensionen waren noch nicht sedimentiert. Die Einstrahlungswerte in 0 m Tiefe entsprechen denjenigen der andern, schon betrachteten Tage. Die Spektralverteilung erscheint am 29. Juli 1939 etwas abnormal; sie ist zu gross in Grün und zu klein in Rot, wie es bei feinstem, kaum erkennbarem Cirrusschleier vor der Sonne zu sein pflegt. Schon von 0,5 m Tiefe an sinken die am 5. Juli 1939 bei 57° Sonnenhöhe gegenüber denjenigen vom 29. Juli 1939 etwas höheren Einstrahlungswerte unter die Ergebnisse des letzteren Datums ab und sie erreichen am 5. Juli 1939 bei 5 m Tiefe im langwelligen Spektralbezirk nur noch etwa die Hälfte, im kurzwelligen etwa $^3/_4$ der normalen

Davosersee
5. 7. 39 h=57°
2.10. 34 h=36°

Absolutwerte in Millikal./cm². Min (λ= mμ) bei hoher (57°) und mittlerer (36°) Sonnenhöhe und Transmissionskoeffizienten in verschiedenen Tiefen in den Spektralbereichen Rot, Orange, Grün und Blau.

Abb. 5



Grössen, wie sie am 29. Juli 1939 gleich denen der Jahre 1936 und 1938 gefunden wurden. Eine Ausnahme macht die wohl reelle Abweichung in Rot in 1 m Tiefe.

In grösseren Tiefen sinken die Intensitäten am 5. Juli 1939 auch im kurzwelligen Licht, insbesondere in Blau, auf die Hälfte der Werte des 29. Juli 1939 ab, welche auch ihrerseits unterhalb der Tiefe von 10 m stark unter die Werte des Jahres 1938 fallen. Dies lässt darauf schliessen, dass im See auch am 29. Juli 1939 die eingeschwemmten feindispersen Mineralstoffe noch nicht restlos zu Boden gesunken sind. In Grün, d.h., in der Eigenfarbe des Seewassers, nehmen interessanterweise die Differenzen zwischen den beiden noch durch eine von den übrigen Jahren abweichende Menge von schwebenden Mineralteilen gekennzeichneten Tagen in Tiefen unter 10 m ab. Immerhin gelangen am 5. Juli 1939 (vom 29. Juli 1939 liegen keine Messungen aus den grössten Tiefen vor) nur noch $^1/_{10}$ der normalen grünen Energiewerte bis zur Tiefe von 20 m und nur $^1/_{15}$ bis zur Tiefe von 30 m.

Die sechs bei hohen Sonnenhöhen von etwa 55° gemessenen Reihen werden wertvoll durch die in der Tabelle 6 aufgeführten, bei mittleren Sonnenhöhen von etwa 37° gemessenen Reihen ergänzt. Diese beiden Reihen verlaufen untereinander ähnlich und die Lichtdurchlässigkeit des Wassers entspricht, wie aus den p-Werten hervorgeht, der normalen Durchlässigkeit, wie sie durch die in der Tabelle 6 enthaltenen Reihen des Jahres 1938 gekennzeichnet werden. Eine Ausnahme bildet lediglich das Absinken in Tiefen unterhalb 5 m, was nicht durch eine geänderte Transparenz des Wassers zu erklären ist, sondern wie oben erörtert, durch die verschiedenen Einfallswinkel der Sonnen- und der Himmelsstrahlung. Die Unterschiede der Energien in den verschiedenen Wassertiefen sind also allein durch die unterschiedlichen Sonnenhöhen verursacht. Diese wirken sich bei der einfallenden Strahlung durch eine leichte spektrale Verschiebung nach der langwelligen Seite hin aus, worauf noch zurückgekommen werden soll, und in einer Intensitätsverminderung um rund einen Drittel. Beim Vergleich der Unterwasserwerte gleicher Wassertiefen fallen die relativ hohen Helligkeiten der obersten 0,5 m mächtigen Schicht auf, vornehmlich in Orange und Rot. Dies dürfte vor allem durch die bei niedrigeren Sonnenhöhen stärker zur Senkrechten gebrochenen, also in ihrer Wirkung auf die Horizontalfläche vermehrten direkten Sonnenstrahlung zu erklären sein. In 2 m Wassertiefe finden sich bei 37° Sonnenhöhe nur noch $^3/_5$ der für die Sonnenhöhe von 55° geltenden Intensitäten und in 5 m Wassertiefe nur noch $^1/_2$. Dies gilt bemerkenswerterweise etwa in gleichem Masse

für alle Farben. Die roten und vor allem die orangen Strahlen besitzen also bei niedriger Sonne relativ eine grosse Intensität, wobei sich in diesen und in manchen, hier nicht aufgeführten Reihen, in Rot die etwa 3 m Tiefe, in Orange die etwa 4 m Tiefe besonders auszeichnet. Der Unterschied in der Wassertiefe, bis zu der die langwellige Strahlung überhaupt vordringt, ist für hohe und mittlere Sonnenhöhen in Rot und Orange augenscheinlich nicht gross, wohl aber im kurzwelligen Grün und Blau. Von diesen Strahlen finden sich bei 37° Sonnenhöhe in 20 m Tiefe nur etwa ¼ der bei 55° Sonnenhöhe vorhandenen. Dieses Verhältnis scheint dann bis zu den grössten erreichbaren Tiefen unverändert zu bleiben, entsprechend dem bei etwa 25 m Wassertiefe gefundenen Minimum der p-Werte.

Erinnern wir uns, dass die auf die Wasseroberfläche auffallende Strahlung durch den Wechsel der Sonnenhöhe von 55° auf 37° etwa ⅓ der Intensität verliert, was übrigens in guter Übereinstimmung mit den auf vollem Dreijahresmittel beruhenden Ergebnissen der «Studie über Licht und Luft des Hochgebirges» (4) steht, so erkennen wir, dass das gegenüber der atmosphärischen Luft nach ganz andern physikalischen Gesetzen diffundierende und absorbierende Wassermedium den mit dem Wechsel der Sonnenhöhe verbundenen Helligkeitswechsel verstärkt und mit zunehmender Wassertiefe natürlich in wachsendem Masse. Die einfallende Strahlung wird in 1 m Wassertiefe auf rund 0,67, in 2 m auf 0,60, in 5 m auf 0,50, in 10 m auf 0,35 und in 20–40 m Tiefe auf 0,25 des ursprünglichen Wertes geschwächt. Es ist aber festzustellen, dass der Unterschied in der Schwächung gegenüber der Atmosphäre in Anbetracht der Tatsache, dass die Dichte des Wassers rund 773 mal grösser ist als diejenige der Luft (1000 gegenüber 1,293), unerwartet gering ist.

Wir kommen nunmehr auf den oben des öftern gestreiften Wechsel der spektralen Zusammensetzung, also der Farbe, zu sprechen. Wir haben ihr nicht, wie es hätte geschehen können, durch Zahlenverhältnisse der Intensitäten Ausdruck gegeben, da man aus solchen Zahlenverhältnissen nur schwer ein Bild über die zugehörige Mischfarbe gewinnen kann. Hiezu bietet vielmehr die auf der Grundempfindungstheorie basierende Darstellung mittels des trichromatischen Farbendreiecks ein viel besseres Hilfsmittel. Dies gelingt anhand der ausgezeichneten Anleitung Hascheks (8) leicht, im vorliegenden Fall ganz besonders, weil sämtliche Werte nicht nur in ein und demselben Mass, sondern sogar im absoluten Energiemass der Millikalorien pro cm² und Minute für $\lambda = 1\ m\mu$ vorliegen. So können alle Werte der Tabelle 6 unmittelbar den Ecken des Farbendreiecks Rot ($\lambda = 678\ m\mu$), Grün ($\lambda =$

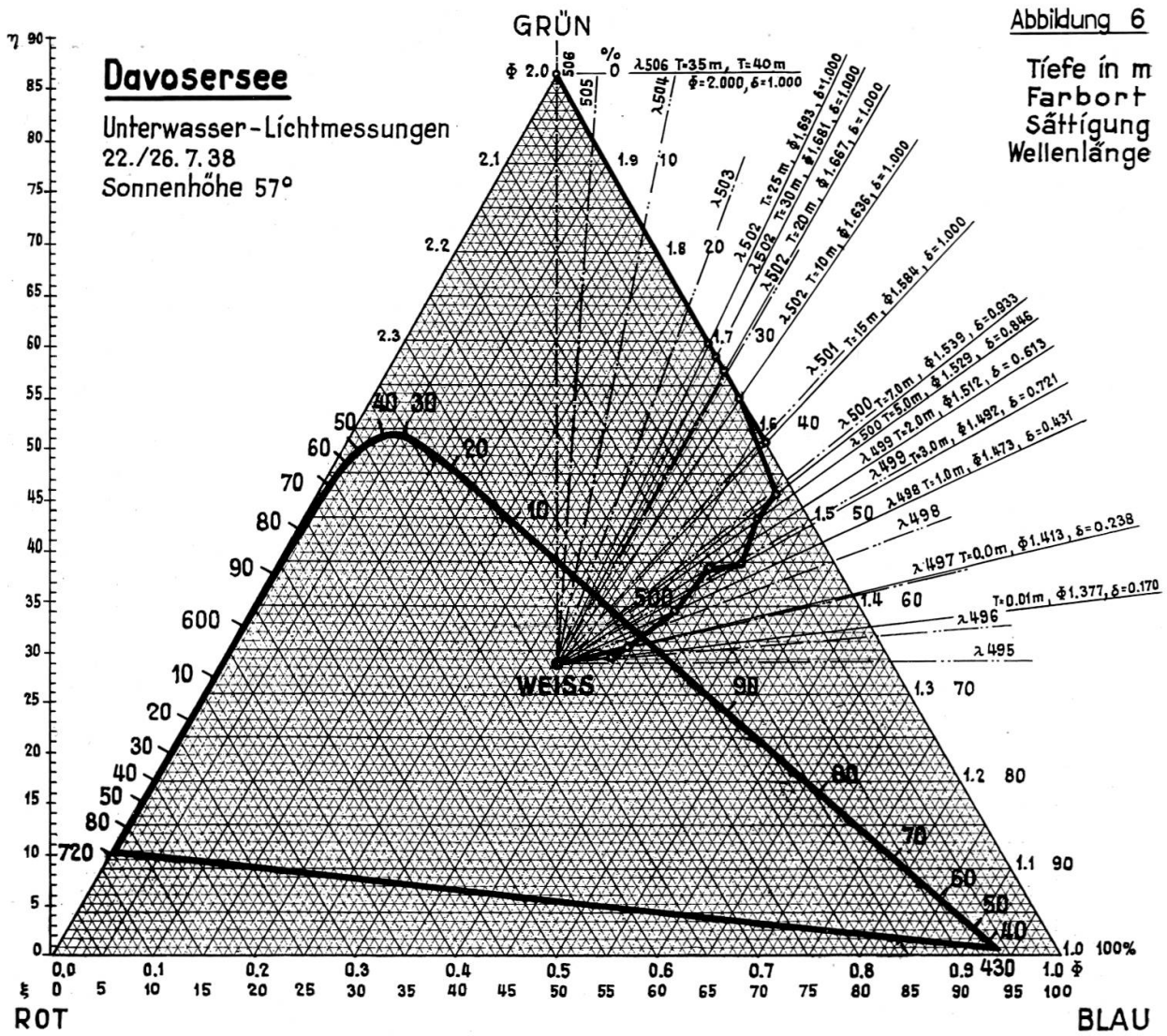
533 $m\mu$) und Blau (λ = 488 $m\mu$) zugeordnet werden, um daraus die Koordinaten der Farborte nebst den zugehörigen Wellenlängen, ferner die Sättigung σ und die Helligkeit H abzuleiten. Für alle in der Tabelle 6 aufgeführten Wassertiefen ist dies durchgeführt worden und die Resultate sind in der Tabelle 7 zusammengestellt (Abb. 6 und 7).

Tabelle 7

Farbort, Sättigung, Helligkeit in diversen Wassertiefen

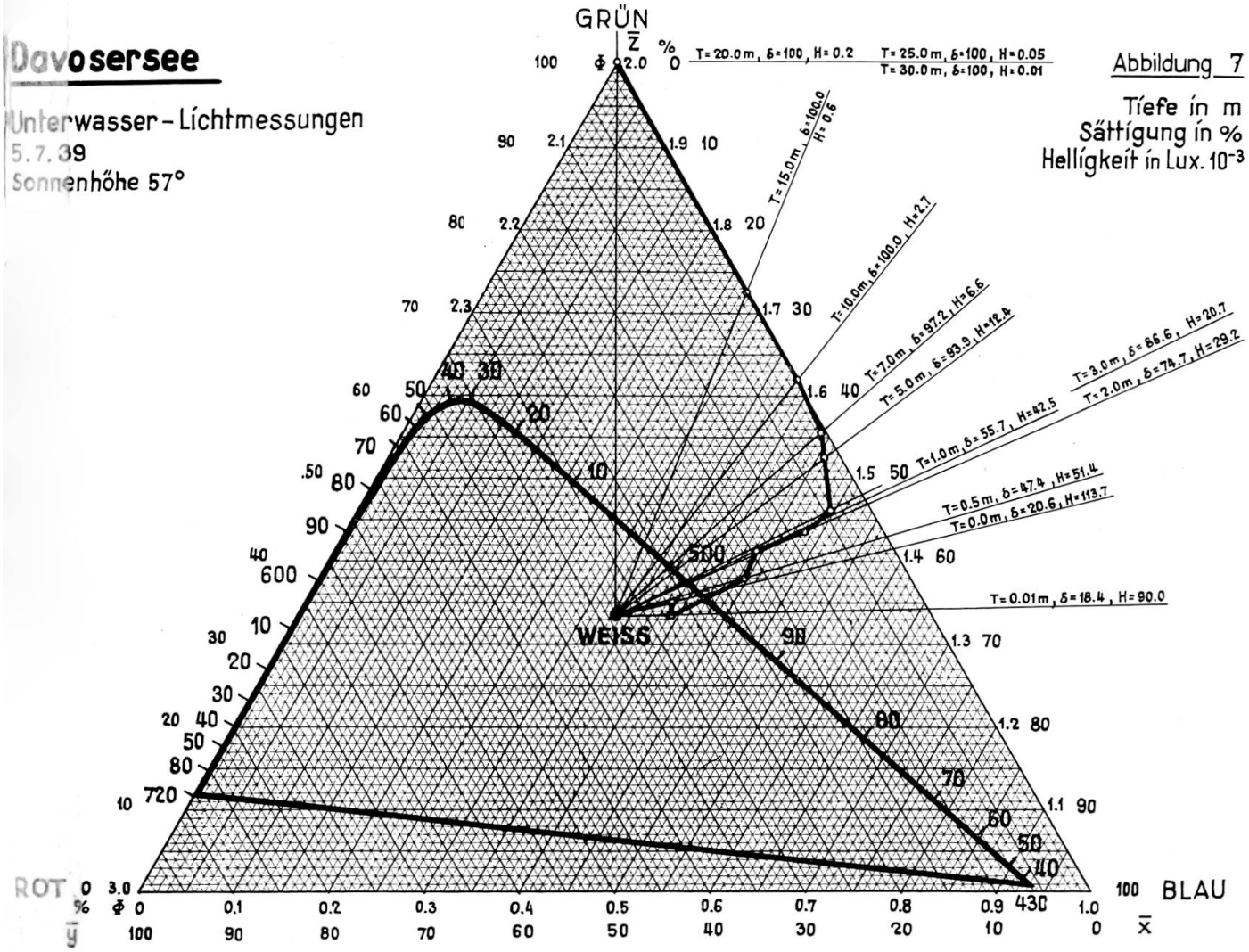
Tiefe m	Farbort ξ	Farbort η	Wellenlänge mμ	Φ	Sättigung σ	Helligkeit Lux. 10^{-3}
22./26. Juli 1938, Sonnenhöhe 57°						
0,0	57,0	30,5	498	1,413	0,238	106,7
0,01	55,3	29,5	496	1,377	0,170	82,1
1,0	61,4	34,1	499	1,473	0,431	49,4
2,0	64,9	38,4	499	1,512	0,613	37,9
3,0	68,3	38,8	499	1,492	0,721	27,7
5,0	69,9	43,2	500	1,529	0,840	19,3
7,0	71,5	45,5	500	1,539	0,933	12,0
10,0	68,2	55,1	502	1,636	1,000	7,5
15,0	70,8	50,6	501	1,584	1,000	3,3
20,0	66,7	57,7	502	1,667	1,000	1,7
25,0	65,2	60,4	503	1,693	1,000	0,7
30,0	65,9	59,0	502	1,681	1,000	0,2
35,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,06
38,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,03
5. Juli 1939, Sonnenhöhe 57°						
0,0	56,0	30,4	497	1,419	0,206	113,7
0,01	56,0	29,0	495	1,343	0,184	90,0
0,5	63,5	32,9	498	1,431	0,474	51,4
1,0	64,5	35,8	499	1,478	0,557	42,5
2,0	69,8	37,9	499	1,472	0,747	29,2
3,0	72,5	39,9	504	1,480	0,866	20,7
5,0	71,8	45,4	500	1,536	0,939	12,4
7,0	71,4	48,0	500	1,560	0,972	6,6
10,0	69,1	53,5	501	1,618	1,000	2,7
15,0	63,8	62,7	503	1,724	1,000	0,6
20,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,2
25,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,05
30,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,01
10. August 1936, Sonnenhöhe 56°						
0,0	56,3	29,0	495	1,339	0,192	105,1
0,5	58,5	33,8	499	1,500	0,340	55,8
1,0	63,3	35,5	499	1,483	0,515	42,3
2,0	66,4	37,9	499	1,495	0,649	30,5
3,0	69,5	41,2	499	1,512	0,797	22,7
5,0	70,8	43,5	500	1,526	0,878	15,8
7,0	71,3	46,2	500	1,547	0,938	10,2
10,0	69,3	51,5	501	1,602	0,973	5,4
15,0	67,1	57,0	502	1,659	1,000	1,4

Tiefe m	Farbort ξ	η	Wellenlänge mμ	Φ	Sättigung σ	Helligkeit Lux. 10^{-3}
29. Juli 1939, Sonnenhöhe 54°						
0,0	55,4	33,3	500	1,560	0,241	109,7
0,01	54,2	38,7	502	1,684	0,264	91,5
0,5	59,5	35,6	499	1,514	0,429	59,7
1,0	64,9	38,7	500	1,517	0,617	46,9
2,0	66,7	40,2	500	1,521	0,698	36,2
3,0	69,4	42,4	500	1,525	0,817	26,9
5,0	72,2	43,7	500	1,519	0,922	16,2
7,0	70,8	47,7	502	1,643	0,804	10,4
10,0	74,7	43,8	499	1,506	1,000	3,3
15,0	69.5	52,8	501	1,610	1,000	0,7
30. Juli 1938, Sonnenhöhe 52°						
0,0	52,8	30,7	499	1,516	0,114	107,8
0,01	54,2	30,0	497	1,420	0,145	82,2
1,0	58,7	34,3	499	1,511	0,354	48,5
2,0	64,5	38,5	500	1,518	0,601	33,6
3,0	66,4	40,3	500	1,525	0,689	26,4
5,0	71,6	44,6	500	1,531	0,921	15,1
7,0	74,1	44,8	500	1,522	0,992	8,8
15. August 1936, Sonnenhöhe 51°						
0,0	56,9	28,9	495	1,333	0,206	93,4
0,5	62,1	32,2	497	1,425	0,421	39,2
5,0	71,3	43,9	500	1,526	0,899	11,5
28. September 1934, Sonnenhöhe 39°						
0,0	56,0	28,8	503	1,724	0,435	72,7
0,5	57,7	32,9	499	1,489	0,300	35,1
1,0	60,2	34,4	497	1,393	0,400	29,3
2,0	64,9	35,9	499	1,476	0,569	20,6
3,0	67,1	39,0	499	1,504	0,688	16,1
5,0	72,6	39,0	498	1,471	0,854	9,7
7,0	72,8	42,0	499	1,500	0,910	6,1
10,0	75,6	42,3	499	1,488	1,000	2,7
2. Oktober 1934, Sonnenhöhe 36°						
0,0	52,6	30,5	499	1,513	0,106	77,6
0,5	53,9	35,6	502	1,627	0,265	39,3
1,0	59,1	38,2	501	1,581	0,435	32,3
2,0	63,1	42,8	501	1,587	0,634	23,7
3,0	67,0	41,4	500	1,532	0,726	16,5
5,0	69,4	45,7	500	1,563	0,848	11,1
7,0	69,8	49,1	501	1,581	0,946	7,1
10,0	66,8	57,6	502	1,665	1,000	3,8
15,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,9
20,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,4
25,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,1
30,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,05
35,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,02
40,0	50,0	86,6	506	2,000	1,000	0,01



Die Spalten 4 und 5 geben die Farbtöne an, erstere durch die Wellenlänge, letztere durch die den gesättigten Farben Rot = 0 (3), Blau = 1 und Grün = 2 folgende Zahlenreihe. Alle hier gefundenen Farbtöne liegen im Blaugrün, also zwischen 1 = Blau und 2 = Grün; sie nehmen an Grün zu, je weiter sich die Zahlen von 1 = Blau entfernen. Zum Beispiel sagt die Zahl 1,5 aus, dass die Mischfarbe aus 50% Grün und 50% Blau besteht, die Zahl 1,3 aber, dass sie aus 30% Grün und 70% Blau zusammengesetzt ist.

Es überrascht zunächst, dass die Farbtöne nur die geringe Schwankung zwischen $\lambda = 503\ m\mu$ und $\lambda = 494\ m\mu$ aufweisen. Der eingestrahlten Sonnen- und Himmelsstrahlung kommt in allen Reihen die längste, also grünste Farbe zu. Mit zunehmender Wassertiefe verkleinern sich die Wellenlängen, d.h., die Farbe wird blauer. Die einzige Ausnahme besteht in 10 m und 15 m Wassertiefe an den Tagen, an welchen die schon



erwähnte, durch noch nicht sedimentierte mineralische Stoffe verursachte Störung bestand, nämlich am 5. Juli 1939 und am 29. Juli 1939. Der Farbwandel vollzieht sich fast ausschliesslich in der obersten 1-m-Schicht. Die Sonnenhöhe wirkt sich nur bescheiden aus; ihr Einfluss geht dahin, dass bei geringerer Sonnenhöhe der Farbumschlag in eine etwas grössere Tiefe, etwa in 2 m, verlagert wird und vielleicht auch etwas energischer erfolgt, d. h. in der Tiefe zu kleineren Wellenlängen führt.

Infolge der Eigenfarbe und der grossen Reinheit des Davoserseewassers hatte man mit zunehmender Wassertiefe eine Verlagerung der Farbe nach der Grünseite erwartet und ganz zweifellos tritt sie auch in Tiefen unterhalb 15 m auf, wie dies auch aus den in der Tabelle 6 für diese Tiefen aufgeführten Grün- und Blauintensitäten hervorgeht. Die Wanderung zum Blau in der obern 7- bis 10-m-Schicht erklärt sich durch den fortschreitenden Ausfall der gelben Komplementärfarbe.

Bemerkenswert sind die auffallend kleinen Wellenlängen in der Schicht von 1 bis 5 m Tiefe. Sie erklären sich ganz im soeben erwähnten Sinne durch die aussergewöhnlich starke Gelbabsorption durch die suspendierten feindispersen Mineralteilchen.

Die Farborte wandern, wie die Koordinaten und die Spalten 4 und 5 der Tabelle 7 zeigen, regelmässig um so weiter vom Weisspunkt, der bei $\xi = 50$, $\eta = 14{,}43$ liegt, fort und auf die Blau-Grün-Dreieckseite zu, je mehr die Sättigung fortschreitet. Sie erreichen diese Seite im Mittel bei $\xi = 61{,}0$, $\eta = 29{,}7$, $\Phi = 1{,}36$, also einer blaugrünen Farbe, die aus 36% Grün und 64% Blau zusammengesetzt ist.

Die Sättigung (Tabelle 7, Spalte 6) entscheidet bei den hier vorliegenden Messungen am meisten über den unserem Auge sich bietenden Farbeindruck, und dies ist nicht nur hier, sondern meistens der Fall. Oft ist sie mit einem vollkommenen Farbumschlag verbunden, wie wohl beim bestbekannten Beispiel, bei der blauen und rosafarbenen Kornblume, bei welchen nur die verschiedene Konzentration desselben Farbstoffes entscheidet. Aus den Farbänderungen farbiger Lösungen mit fortschreitender Sättigung ist uns die Erscheinung ebenfalls bekannt. Die Sättigung σ stellt das Verhältnis der Summe der Grün- minus Rotenergien einerseits und der Blau- minus Rotenergien anderseits zur Gesamtenergie dar, also

$$\sigma = \frac{(\text{Grünenergie} - \text{Rotenergie}) + (\text{Blauenergie} - \text{Rotenergie})}{\text{Rotenergie} + \text{Grünenergie} + \text{Blauenergie}}$$

Sie erreicht also den Maximalwert 1, wenn die Rotenergie gänzlich verloschen ist, also in der Tabelle 7, in der Regel in Wassertiefen von 10–15 m. Aber ab etwa 7 m Wassertiefe nähert sich der Sättigungsgrad in allen Reihen dem Maximalwert schon recht beträchtlich.

In der obersten 1-m-Wasserschicht nimmt die Sättigung fast sprunghaft zu, zwischen 1 und 3 m Tiefe schreitet sie mit zunehmender Wassertiefe fast linear vorwärts, um sich unterhalb von 3 m Tiefe zu verlangsamen. Innerhalb der obersten 1-m-Schicht bestehen in der Sättigung die grössten Differenzen, denn in 0,5 m Tiefe hat die Sättigung schon etwa den doppelten Wert derjenigen der einfallenden Strahlung gewonnen, während in der obersten 1-cm-Schicht die Grundfarbe bei rund 500 $m\mu$ infolge vielfacher Reflexionen an Staub, Bläschen und Wellen eher noch weniger gesättigt erscheint als im einfallenden Licht und mehr Rot enthält. So schreitet insgesamt die Sättigung der blaugrünen Grundfarbe von rund 0,2 zu 1,0, also dem fünffachen Wert fort, d.h., sie verliert entsprechend an beigemischtem Rotlicht.

Zum Vergleich sind in die Tabelle 7 noch die Farbdaten einiger anderer Lichtquellen aufgenommen worden: Kerzenlicht besitzt den Farbton Rot bei starker Sättigung, elektrische Glühlampen weisen einen Orangeton auf, allenfalls auch einen gelben. Dagegen besitzt alles natürliche, direkt oder indirekt von der Sonne ausgehende Licht einen blaugrünen Farbton. Das Sonnenlicht neigt mehr zu Grün, λ 503, $\Phi >$ 1,5, das Himmelslicht dagegen mehr zu Blau, λ 494–493, $\Phi <$ 1,5. Das aus beiden zusammengesetzte Tageslicht schwankt nach H. H. KIMBALL (10) zwischen den Farbtemperaturen 5500° und 6500° absolut, je nach Sonnenhöhe und dem grösseren oder kleineren Anteil der Sonnen- bzw. Himmelsstrahlung. Die Farbe des tiefsten Himmelblaus entspricht nach demselben Autor der Farbtemperatur 24 000° absolut. Der höchste Blaugrad, 16 der OSTWALD-LINKEschen Skala zur visuellen Bestimmung des blauen Himmels entspricht nach L. POLLAKS (7) Untersuchungen der Wellenlänge λ = 495, Φ 1,326, doch hat derselbe Autor durch objektive Messungen noch tieferblaue Werte mit Φ = 1,30 gefunden. Der Sättigungsgrad liegt in allen diesen Fällen unter dem der künstlichen Lichtquellen; am geringsten ist er natürlich im Sonnenlicht, nämlich $<$0,1 und auch im Tageslicht überschreitet er meist kaum 0,2, wie dies nach der Tabelle 6 auch im Davosersee trotz modifizierender Uferstrahlung von dunklen Tannenwäldern und dunklem Gestein gefunden worden ist. Nur im blauen Himmelslicht kommen Sättigungen von 0,5 bis 0,6 vor, welche nach POLLAKS (7) Untersuchungen auch in der OSTWALD-LINKE-Skala gut getroffen sind. Dieser Sättigungsgrad wird im Unterwasserlicht bereits bei 2 m Tiefe erreicht, jedoch ist der Farbton daselbst nach Grün verschoben, im Mittel zu λ 497, Φ 1,397, gegenüber λ = 493, Φ 1,271. Das bedeutet also 12% mehr Grünanteil. Von der Farbensättigung, welche in Wassertiefen unterhalb 7 m herrscht, vermitteln uns die schönsten Edelsteinfarben, das Smaragdgrün und das Saphirblau, eine gute Vorstellung.

Die Raumverteilung dieser tief blaugrünen Strahlung verläuft dergestalt, dass sowohl nach AITKEN (1) wie auch nach SAUBERER (22) im offenen Meer bzw. im klaren Lunzer Untersee die Helligkeit vom Oberlicht (Einfallswinkel 0°) zum Seitenlicht (Einfallswinkel 90°) von 100 auf etwa 14 fällt, und zwar bis 45° anfangs schnell, dann langsam und zwischen 45° und 90° anfangs langsam und dann schnell. Vom Seitenlicht zum Unterlicht fällt sie dann fast linear zum Minimalwert. Den Farbeindruck der Wasseroberfläche vermögen wir aus den 0 m und 0,01 m gefundenen Farbeindrücken abzulesen. Der Farbton schwankt um λ = 499, Φ 1,483, ist also blaugrün mit leichtem Überwiegen des

Blau. Die Sättigung beträgt nur 0,2; es ist also sehr viel weisslich bis hellblaugrünes Farbgemisch beigefügt. Die Helligkeit ist nach Tabelle 7, Spalte 7, sehr gross, jedoch kommt von ihr, da die Reflexion nur gering ist, nach SAUBERER (22) am verwandten Lunzer Untersee nur mit 5% angenommen, nur wenig Wirkung auf unser Auge. Da diese Reflexion nach Messungen desselben Autors für alle Spektralteile etwa gleich ist, ausser bei hier nicht berücksichtigten geringen Sonnenhöhen, so dürfen wir dem Sänger des «himmelblauen Sees» Recht geben, sicher hinsichtlich des klaren Davoser Gebirgssees.

Vom Licht- und Farbenwechsel, welchem ein Fisch durch Aufsteigen von etwa 7 m Tiefe zur obersten 0,5-m-Schicht innert kürzester Zeit unterworfen ist, empfangen wir einen teilweisen Eindruck, wenn wir an einem klaren Sommermittag aus grellem Sonnenlicht eine sehr dicht, etwa mit wilden Weinreben bewachsene Laube betreten. Jedoch hinkt der Vergleich insofern, als in dieser eine in der genannten Wassertiefe fehlende kräftige kurzwellige Ultrarotstrahlung herrscht, und zwar als Folge der Durchlässigkeit der Laubblätter für diese Strahlung. Er berücksichtigt auch nicht den Temperaturwechsel. Während die Lufttemperatur im besonnten und im beschatteten Milieu gleich ist, kann die Wassertemperatur in den obersten Schichten eines Sees um einige Grade höher sein als in der Tiefe. Ferner ist die Leitfähigkeit der Luft etwa 25mal kleiner als diejenige des Wassers und weist innerhalb einem grössern Raum nicht den Druckunterschied von fast $^3/_4$ Atmosphären (570 mm Quecksilber) auf, entsprechend einem Anstieg vom Meer auf 1100 m Höhe. Der Fisch und auch das täglich wandernde Zooplankton vollzieht also innert kürzester Zeit einen ganz bedeutenden Klimawechsel, um seiner Nahrung nachzugehen.

Das vorliegende Material erlaubt nun auch neben dem Farbton und der Sättigung das dritte Charakteristikum der Farbe, nämlich die Helligkeit zu bestimmen, und zwar nicht nur im relativen, sondern auch im absoluten Mass der Kalorie und mittels desselben im gebräuchlichen Mass der Meterhefnerkerze, d.h. in Lux. Nach F. EXNER (19) gilt für die Helligkeit H die Formel: $H = {}^1/_1$ Rot $+ {}^3/_4$ Grün $+ {}^1/_{40}$ Blau. Die auf diese Weise aus den Millikaloriewerten der Tabelle 6 errechneten, auf Spektrallinienbreite von 1 $m\mu$ bezogenen H-Werte sind zwecks Reduktion auf Luxwerte mit 34 900 zu multiplizieren, denn zum sichtbaren Spektrum gehören 400 $m\mu$ und 1 Lux entspricht $1{,}146.10^{-2}$ Millikalorien/cm² und Min., also $\frac{400}{1{,}146.10^{-2}} = 34\,900$. Die so errechneten Luxwerte sind in der Tabelle 7 in der Spalte 7 enthalten.

Zunächst muss festgestellt werden, dass die Überwasserlichtwerte ganz zufriedenstellend zu den im freien Davoser Tal während den drei Jahren 1908 bis 1910 regelmässig nach L. WEBERS Grün/Rot-Methode photometrisch gemessenen, in Tabelle 27 der «Studie über Licht und Luft des Hochgebirges» aufgeführten, übereinstimmen. Die 10%, um welche sie im Mittel niedriger als die Werte der Tabelle 27 der erwähnten Studie liegen, sind durch die lichtabschirmenden seenahen, hohen und mit Tannenwald bedeckten Berge um den Davosersee zu erklären.

Vergegenwärtigen wir uns die Helligkeitsvariationen in den verschiedenen Wassertiefen durch Vergleich mit dem Helligkeitsverlauf des Sommertages im Überwasserlicht, so entspricht die

Helligkeit in	0 m	Wassertiefe etwa der	11	h Ortshelligkeit,
Helligkeit in	1 m	Wassertiefe etwa der	7	h Ortshelligkeit,
Helligkeit in	5 m	Wassertiefe etwa der	6	h Ortshelligkeit,
Helligkeit in	11 m	Wassertiefe etwa der	5	h Ortshelligkeit,
Helligkeit in	14 m	Wassertiefe etwa der	4.20	h Ortshelligkeit,

d.h., dem Sonnenaufgang mit etwa 1000 Lux.

Freilich zeigt dann die mittels der Hefnerkerze auf Lux geeichte photoelektrische Selenzelle LANGES, ohne Filter angewandt, reichlich 50% höhere Werte. Diese Diskrepanz ist ein neuer Beitrag zum Beweis, dass es nicht sinnreich ist, die Helligkeit einer nahezu gesättigten monochromatischen kurzwelligen Strahlung mit dem Mass der rötlich-orangefarbenen, der Strahlen Blau und Grün meist entbehrenden Hefnerkerze messen zu wollen. Es ist schon am internationalen Lichtforschungskongress 1936 (27) und im Archiv für Hydrobiologie 1937 (28) empfohlen worden, Unterwasserlichtmessungen nicht in Lux, sondern nur in absolutem Energiemass auszudrücken.

Bei einem Aufstieg aus 14 m Wassertiefe zur Oberfläche würde also an einem heitern Julimittag unser Auge den gesamten Verlauf der Ortshelligkeit zwischen Sonnenaufgang und Mittag erleben, d.h., einen Helligkeitswechsel von etwa 1:110. An einem klaren Herbsttag genügte der Aufstieg aus 11 m zur selben Empfindung; der Helligkeitswechsel betrüge dann 1:73.

Welche Helligkeitsschwankungen sich bei schnell und stark wechselnder Bewölkung, insbesondere durch wechselnde Sonnenbedeckung, in den verschiedenen Wassertiefen und Farben vollziehen, ist im Hinblick auf ihre Bedeutung für das gesamte pflanzliche und tierische Leben im Wasser in vielen Messungen zu ergründen versucht worden, indem die Messapparatur, mit einer bestimmten Farbe montiert, in gleich-

bleibender Wassertiefe gehalten und der Wechsel der Galvanometerausschläge notiert wurde. Als Beispiel mögen folgende in kürzester Zeit erfolgten jähen Wechsel mitgeteilt sein:

Sonnenhöhe	Grad	Farbfilter	Wassertiefe m	Helligkeitswechsel
hohe	59–55	Blau	1	1:4,6
hohe	59–55	Blau	2	1:4,0
hohe	59–55	Blau	5	1:4,4
hohe	59–55	Blau	10	1:4,9
hohe	59–55	Rot	2	1:4,4
mittlere	42–38	Grün	1	1:2,5
mittlere	42–38	Orange	3	1:2,1
mittlere	42–38	Filterlos (Grünblau)	40	1:2,7
mittlere	42–38	Filterlos (Grünblau)	40	1:5,0

Diese Helligkeitsschwankungen unter Wasser entsprechen recht gut den durch Dauerregistrierungen der Ortshelligkeit am Davoser Observatorium für die Ortshelligkeit unter Extremverhältnissen gefundenen. Auch hier wurden bei schnellem Vorübergehen von dichten Wolken vor der Sonne an Sommertagen Schwankungen der Helligkeit im Verhältnis 1:3 bis 1:4 gefunden. Dies bedeutet sozusagen momentane Differenzen bis zu 92 000 Lux.

4. Durchlässigkeiten für kurzwelliges Ultraviolettlicht ($< 320\ m\mu$)

Hierüber liegen nur zwei kleine Messreihen vor, und zwar vom 22. Juni 1939, einem heiteren Tage, bei Sonnenhöhen von 58° und 61°. Sie sind mit demselben Instrument, dem für Unterwassergebrauch aptierten FRANKENBURGERschen klimatischen UV-Dosimeter, und in derselben Weise durchgeführt worden wie im Jahre 1933 (31). Da die Reihen aus dem Jahre 1933 nur bei niedrigen und mittleren Sonnenhöhen gewonnen wurden, können die vorliegenden als kleine Ergänzung zu ihnen betrachtet werden.

Die ergänzenden Messungen bei hohen Sonnenhöhen ergaben für die Wasserschicht von 0 m bis 1 m ein prozentuales Lichtgefälle von 9,6%

gegenüber einem solchen von 7,2% bei mittleren Sonnenhöhen und einen Transmissionskoeffizienten von 0,233 per m für die zwischen 0,01 m und 1 m liegende Wasserschicht. Dies bedeutet nur etwa ⅓ der Durchlässigkeit für Grün (p = 0,660) und weniger als für Rot (p = 0,288) der nur wenige Tage später, am 5. Juli 1939 bei gleichen Sonnenhöhen durchgeführten Messungen. Es werden hiedurch die im Jahre 1933 gefundenen Resultate der sehr geringen Durchlässigkeit des Davoserseewassers für dieses biologisch so wichtige kurzwellige Ultraviolettlicht bestätigt und dahin erweitert, dass bei hohen Sonnenhöhen eine etwas höhere Durchlässigkeit besteht. Zu beachten ist, dass die beiden Messreihen des Jahres 1939 in dem verspätet aufgefüllten und daher noch Trübungen aufweisenden See erfolgten.

Literaturhinweise

1. Aitken, J., On the colour of Mediterranean and other waters. Proc. Roy. Soc. Edinburgh *11* (1882).
2. Angström, A., Gothenburg's Ozeanograph. Univ. Inst. *13* (1937).
3. Astrophysical Observatory Washington. Meteorol. Taschenbuch *2*, herausg. von F. Linke. Leipzig (1933).
4. Atkins, W. R., On the penetration of light into sea water. Journ. Mar. Biol. United Kingdom *14* (1926).
5. Dorno, C., Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, Tab. 31. Vieweg, Braunschweig (1911).
6. Eckel, O., Strahlungsuntersuchungen in einigen österreichischen Seen. Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien *144* (1935), H. 3/4 und 9/10.
7. Gerlands Beiträge zur Geophysik *18* (1927), *51* (1937).
8. Haschek und Hattinger, «Farbmessungen». Emil Haim, Leipzig (1936).
9. Hölper, O., Prot. d. Int. Strahlungskomm., Stockholm (1936).
10. Kimball, H. H., Monthly Weather Review (1924) 33.
11. Lange, B., Die Photoelemente und ihre Anwendung, I. und II. Leipzig (1939 und 1940).
12. Lazarus, Handbuch der Gesamten Strahlenkunde *38* (1927).
13. Lindholm, F., Gerl. Beitr. z. Geophysik *18* (1927).
14. Meteorologische Zeitschr. 1921 und 1935, H. 2.
15. Montfort, C., Nova acta Leopoldina *6* (1939) 44.
16. Mörikofer, W., Schweiz. Med. Jahrb. (1932).
17. Orth, R., Sammelreferat, Bioklimatische Beiblätter *5*, H. 2 (1938).
18. Pearsall, W. und Ullyott, P., Light penetration into fresh water I.–III. Thermion. Pot. Meth., Journ. of exp. Biol. *10/11* (1933/1934).
19. Perntner-Exner, Meteorol. Optik. Wien–Leipzig (1922).
20. Poole, H. H. und Atkins, W. R. G., Photo-electr. measurement of submar. illum. throughout the year. Journ. of Mar. Biol. Assoc. United Kingdom *15* und *16* (1928/29).
21. Russel, F. S., Cons. perm. intern. pour l'exploration de la Mer *60* (1936).

22. Sauberer, Fr., Beitr. zur Kenntnis des Lichtklimas einiger Alpenseen. Int. Rev. Hydr. *39*, H. 20 (1939).
23. — und Eckel, O., Zur Methodik der Strahlungsmessungen unter Wasser. Int. Rev. Hydr. *37*, H. 4 und 5 (1938).
24. Schmassmann, W., Die Bodenfauna hochalpiner Seen. Arch. f. Hydrob., Suppl.-Bd. *3*, H. 1 (1920).
25. Suchlandt, O., Dinoflagellation als Erreger von rotem Schnee. Ber. der Deutschen Bot. Ges. (1916).
26. — Beobachtungen über das Phytoplankton des Davosersees im Zusammenhange mit chemischen und physikalischen Bestimmungen. Dissertation, Lausanne (1917).
27. — Beitrag zur Kenntnis der Periodicität des Phytoplanktons. Arch. f. Hydrob. *13* (1922).
28. — Methodisches zu Unterwasserlichtmessungen. Verh. des 3. Intern. Kongr. für Lichtforschung, Wiesbaden 1.–7. 9. 1936.
29. — Methodisches zu Strahlungsmessungen unter Wasser. Arch. f. Hydrob. *31* (1937).
30. — und Schmassmann, W., Über das Plankton des Davosersees während seiner Umgestaltung zum Stausee. Festschrift für die 110. Jahresversammlung der Schweiz. Natf. Ges. in Davos (1929).
31. — und Schmassmann, W., Zur Verwendung photoelektrischer Apparate in der Limnologie. Verh. der Schweiz. Natf. Ges. (1934).
32. — und Schmassmann, W., Limnologische Beobachtungen an acht Hochgebirgsseen der Landschaft Davos. Zeitschrift f. Hydrologie *7*, H. 1 und 2 (1936).