Untersuchungen über das Photochemische Klima des Berninahospizes.

Von

E. Rübel.

Einleitung.

„Wenn man erwägt, einen wie grossen Einfluss die Intensität des Lichtes auf das Wachstum und Gedeihen der Pflanzen- und der Tierwelt ausübt, ein Einfluss, der sich auch in hohem Grade auf das Wohl und Wehe des Menschen erstreckt, so kann man nur lebhaft wünschen, dass die photochemischen Messungen eine grössere Verbreitung als bisher finden möchten."

Dies schreibt Stelling im Jahre 1878 in seiner Arbeit: Photochemische Beobachtungen der Intensität des gesamten Tageslichtes in St. Petersburg[1]). Aber es vergingen 16 Jahre, bis überhaupt wieder eine Arbeit auf diesem Gebiete erschien, d. i. Wiesners Photochemische Klima von Wien. Das lag wohl hauptsächlich in der Schwierigkeit der Messung. Es fehlte an einer geeigneten Messmethode. Man begnügte sich mit den Bezeichnungen von mehr oder weniger hell oder dunkel. Seit Wiesner die photometrische Methode von Bunsen und Roscoe vereinfacht hat, liegt uns in dieser eine leicht anwendbare und gute Resultate liefernde Methode vor. Da für die Alpen, ausser einigen Zahlen von Weinzierl [2]) von der Sandlingalpe, noch keine Resultate von Lichtmessungen vorhanden sind, erschien es mir wichtig, auf dieses Kapitel näher einzutreten und in erster Linie das photochemische Klima des Berninahospizes zu studieren. Dieses mag dann zur Grundlage dienen zu eventuellen späteren Lichtgenuss-Studien im Sinne Wiesners [3]).

Die Methode beruht auf der Schwärzung von Chlorsilber durch das Licht, misst also eigentlich bloss die Intensitäten der chemisch

---

[1]) Stelling, S. 23.
[2]) Weinzierl 1902 S. 220—224.
[3]) Sitzungsberichte Bd. 102, 104, 109, 113, 114.

wirksamen oder aktinischen Strahlen, während für die Pflanzen alle Strahlen in Betracht kommen. Daher wird der Methode vorgeworfen, dass sie nichts aussage über die wirklich auf die Pflanzen wirkenden Intensitäten.

Gehen wir zu einer Diskussion dieser Fehlerquellen über. Auf den Gestaltungsprozess der Pflanzen wirken hauptsächlich die stark brechbaren Strahlen ein, diese werden durch die photometrische Methode gemessen, also sind die Resultate für die Fragen der Pflanzengestaltung zu gebrauchen. Die Kohlensäureassimilation hingegen bedingen grossenteils die schwach brechbaren Strahlen. Aber nach der Assimilationskurve von Engelmann [1]) besteht neben dem Maximum im roten Teile des Spektrums noch ein zweites kleineres Maximum im blau bei einer Wellenlänge von 480 μ. Es gelang auch Timiriazeff [2]) bei Benutzung von direktem Sonnenlicht folgender Nachweis. Setzte er die Menge Kohlensäure, welche durch die Strahlen der gelben Hälfte des Spektrums reduziert wurde gleich 100, so war die Wirkung der blauen Hälfte gleich 54, also ein Drittel der reduzierten Kohlensäure kommt auf Rechnung von stärker brechbaren Strahlen. Stahl [3]) fand, dass, wenn man die Pflanzen statt direktem Sonnenlicht blauem Himmelslicht aussetzt, sich die Wirkung der beiden Spektrumhälften gleich stark äussert. Es folgt, dass auf jeden Fall die chemischen Strahlen bei der Kohlensäurezersetzung nicht bedeutungslos sind, ihre Bestimmung ist also auch hiefür von Interesse. Von den beiden im Chlorophyll enthaltenen Farbstoffen ist nach Stahl (l. c.) u. a. der gelbe, auf die Ausnützung der stark brechbaren Strahlen abgestimmt. Das Tageslicht erleidet auch eine Veränderung beim Durchgang durch pflanzliche Medien, was eine Fehlerquelle ergibt beim messen des Lichtes unter Bäumen usw. Wiesner hat aber gezeigt [4]), dass das durch Absorption und Reflexion veränderte Licht bloss einen verschwindenden Anteil des diffusen Lichtes unter Bäumen bildet und erst wahrnehmbar wird, wenn die Lichtintensität im Baumschatten auf $^1/_{80}$ des Tageslichtes fällt.

Von grosser Wichtigkeit für die Brauchbarkeit unserer Methode sind die Untersuchungen von Prof. Leonhard Weber [5]) in Kiel. Er misst die Helligkeiten für bestimmte einzelne Wellenlängen, nämlich ein Grün von 541,5 μ Wellenlänge und ein Rot von 630,5 μ Wellen-

[1]) Bot. Ztg. 1883; 84.

[2]) Proc. Roy. Soc. 72, 1903.

[3]) Stahl, Laubfarbe und Himmelslicht. Nat.-wiss. Wochenschrift 1906 Nr. 19. Stahl verweist auf eine demnächst zu erscheinende grössere Abhandlung über Chlorophyllbiologie.

[4]) Wiesner 1895 S. 8—13.

[5]) Weber, Nat. Verein f. Schleswig-Holstein 1893 Bd. 10., Bd. 11., Bd. 13.

länge. Er gelangt durch vergleichende Versuche zu dem Resultat, dass eine ziemlich vollständige Proportionalität zwischen der Intensität der aktinischen und der roten Strahlen besteht.

Aus all diesen Studien geht also zur Genüge hervor, dass die photometrische Methode in weitem Umfang brauchbar ist. [1]).

Es werden in dieser Arbeit also immer nur die stark brechbaren Strahlen berücksichtigt und verglichen.

I. Abschnitt.

Geschichtliches und Methodisches.

1. Kapitel.

Kurzer geschichtlicher Überblick über Messungen und Messmethoden der chemischen Lichtintensität.

Vor allem musste ein Apparat erfunden werden, der genaue Messungen gestattet und zugleich leicht zu handhaben ist. Ohne letzteres war an eine ausgiebige Untersuchung der Lichtintensitäten der verschiedenen Gebiete der Erde nicht zu denken. Dem Mangel eines solchen Apparates ist es wohl auch hauptsächlich zuzuschreiben, dass die Erde in dieser Hinsicht so wenig erforscht ist, während wir über die Wärmeverteilung gut orientiert sind, für deren Messung man das bequeme Thermometer hat.

Einen ersten Versuch zur Messung der chemischen Lichtintensität veröffentlichte Draper 1843.[2]) Sein Apparat, das Tithonometer (er nannte die chemischen Strahlen „tithonic rays") beruht auf dem Prinzip der Verbindung von Chlor und Wasserstoff zu Salzsäure durch Lichtwirkung. Er gewann aber keine genauen Angaben. 1854—57 arbeiteten Bunsen und Roscoe diese Methode aus und gewannen einen brauchbaren Apparat, den sie Chlorknallgas-Photometer[3]) nannten.

Zu erwähnen ist dann Becquerels elektrochemisches Actinometer[4]) und 1868 Vogels chemisches Photometer[5]).

---

[1]) Siehe auch besonders in Wiesners neustem photometrischem Werk: Der Lichtgenuss der Pflanzen, Leipzig 1907.

[2]) Phil. Mag. Bd. XXIII. 3. Serie, S. 401—415.

[3]) Roy. Inst. Proc. Vol. II; Vol. III. Phil.-Trans. 1857. Pogg. Ann. 1855, Bd. 96, S. 373—94; 1857 Bd. 100, S. 43—88; id. S. 481—516; Bd. 101, S. 235—263; 1859 Bd. 108, S. 193—273.

[4]) E. Becquerel, la lumière, T. II. S. 121.

[5]) Pogg. Ann. 1868, Bd. 134, S. 146.

1869 folgte Marchand zu Fécamp mit seinem Photantitypimeter[1]. Er bestimmt die Kohlensäure, die sich durch Einwirkung des Lichts aus einem Gemisch von Eisenchlorid und Oxalsäure entwickelt.

Einen ähnlichen Apparat verwandte Vallot[2]) zu calorimetrischen Messungen am Mont Blanc.

Diese Apparate befriedigen aber alle nicht. Bunsen und Roscoe schlugen dann einen andern Weg ein nach dem Prinzip der Schwärzung von photographischem Papier durch Licht. Nachdem Jordan und später Hunt, Herschel, Claudet, Hartig u. a. vergebens gesucht hatten, nach diesem Prinzip vergleichbare Masse zu erhalten, gelang es Bunsen und Roscoe 1862[3]) ein gleichmässig lichtempfindliches Papier herzustellen. Sie schafften sich eine Einheit und erfanden einen Apparat, das Pendelphotometer, in welchem die am Licht erhaltenen Schwärzungen durch Vergleich auf die Einheit zurückgeführt wurden. Die Handhabung dieses Apparates war aber noch sehr kompliziert; man konnte nur bei ruhiger Luft beobachten, man brauchte zur Ablesung eine Dunkelkammer usw. Bunsen und Roscoe verbesserten und vereinfachten später[4]) ihren Apparat, auch Stelling in St. Petersburg brachte eine Vereinfachung an, aber der Apparat blieb immer unhandlich und zu schwer zum transportieren, um Verbreitung zu finden. Nach Stellings Beobachtungen von 1878 ruhte die ganze Messung von chemischer Lichtintensität, bis Wiesner in den 90er Jahren unter Anwendung der Bunsen-Roscoe-Einheit eine einfache Methode ausarbeitete, welche photoklimatische und pflanzenphysiologische Messungen gestattet, bei leicht transportablem Apparat.

Einen ähnlichen Apparat hat seit 1900 F. E. Clements[5]) in Gebrauch.

Sehr wünschenswert wäre ein selbstregistrierendes Instrument, das in bestimmten Intervallen beobachtet. Roscoe beschreibt ein solches 1874[6]), aber nirgends finde ich Angaben darüber, ob es sich bewährt hat und ob es überhaupt benutzt worden ist. Clements gibt am angegebenen Ort an, dass er einen Selagraph, wie er das selbstregistrierende Photometer nennt, in Konstruktion habe.

Einen Apparat zum Bestimmen von Lichtsummen beschreibt Steenstrup[7]). Verschieden lange Pauspapierstreifen werden aufeinander

---

[1]) Marchand, Etude sur la force chimique contenue dans la lumière du soleil. Paris, Gauthier-Villars.

[2]) Vallot, Ann. de l'observ. météor., phys. et glac. du Mont Blanc. T. III. S. 81–96.

[3]) Pogg. Ann. 1862, Bd. 117, S. 529—562.

[4]) Pogg. Ann. 1865, Bd. 124, S. 353—390; 1874 Bd. 151, S. 268—285.

[5]) Research methods in ecology, S. 48.

[6]) Pogg. Ann. Bd. 151, S. 268—285; Roy. Soc. Proc. XXII.

[7]) Om Bestemmelsen af Lysstyrken og Lysmaengden. Meddelelser om Gronland. Kjöbenhavn 1902. franz. Résumé, S. 243—245.

gelegt, so dass alle am selben Ort beginnen, aber an verschiedenen Stellen enden. Dadurch entstehen verschieden dicke Lagen Papier, durch welche das Licht auf drunter gelegtes empfindliches Papier trifft. Auf dem Pauspapier befinden sich Tuschmarkierungen, die sich auf dem Photographiepapier bei Belichtung abbilden. Die Anzahl der vom Licht in gegebener Zeit durchdrungenen Pauspapierlagen lässt sich auf dem Photographiepapier ablesen und gibt ein Mass für die Lichtsumme. Einen ganz ähnlichen Apparat hat auch schon Hartig früher verwendet.

Bevor ich zur Beschreibung der Wiesnerschen von mir angewandten Methode gehe, will ich eine Übersicht geben über die bis jetzt publizierten lichtklimatischen Messungen.

Es beobachteten:

Roscoe[1]) auf dem Dach von Owens College in Manchester vom 26. Aug. 1863—27. Sept. 1864 an einigen 40 Tagen, wovon er 35 publiziert; und zum Vergleich an einem Tag in Dingwall (Schottland) und in Heidelberg.

Roscoe und Baxendell[2]) 16 mal an 6 einzelnen Tagen zwischen 6. Okt. und 21. Nov. 1865 wiederum in Owens College Manchester und 63 mal auf Cheetham Hill bei Manchester.

Wolkoff[3]) 99 mal im Sommer 1864 auf dem Königstuhl bei Heidelberg, von Bunsen veranlasst, die Resultate Roscoe zur Publikation übergebend.

Baker[4]) in Kew, von Roscoe veranlasst, fast täglich von April 1865—März 1867 zu den Zeiten der übrigen meteorologischen Ablesungen 9^h 30 a. m., 2^h 30, 4^h 30 p. m.

Thorpe[4]) auf Roscoes Veranlassung in Parà (Brasilien) zwischen dem 4. und 26. April 1866.

Kapitän Herschel[5]) für Roscoe 1868 in Indien bei einer Sonnenfinsternis aber bei schlechtem Wetter.

Roscoe und Thorpe[6]) in Quintado Estero Furado, $8^1/_2$ Meilen s. ö. Lissabon, 134 mal an 15 Tagen zwischen dem 5. und 30. Aug. 1867.

Marchand in Fécamp 1869—1872.

Roscoe und Thorpe[7]) in Catania 19.—22. Dez. 1870, bei Anlass einer Sonnenfinsternis.

---

[1]) Pogg. Ann. 1865, Bd. 124; Phil. Trans. Bd. 155.
[2]) Pogg. Ann. 1866, Bd. 128; Roy. Soc. Proc. XV.
[3]) Pogg. Ann. Bd. 128; Roy. Soc. Proc. XV.
[4]) Pogg. Ann. Bd. 132; Phil. Trans. Bd. 157.
[5]) Manch. Lit. Phil. Soc. Mem. IV.
[6]) Pogg. Ann. Erg.-Bd. 5; Phil. Trans. Bd. 160.
[7]) Phil. Trans. Bd. 161.

Stelling[1]) in St. Petersburg, Nov. 1874—Juli 1875, täglich um 1^h.
Weber[2]) in Breslau, diffuses Licht, im Dez. 84, Jan., Juni und Juli 85.
Weber[3]) in Kiel, 1890—1905.
Wiesner[4]) mit Krasser und Linsbauer in Wien von Juni 1893 bis Dez. 1894.
Wiesner[4]) mit Figdor in Buitenzorg auf Java an 64 Tagen zwischen Nov. 1893 und März 1894.
Wiesner[4]) in Cairo an 10 Tagen im Februar und März 1894.
Wiesner[5]) im arktischen Gebiet vom 28. Juli — 29. August 1897.
J. Vallot[6]) nach der Methode Duclaux in Chamonix bei 1095 m und in Montanvert bei 1925 m zwischen Mitte August und Ende September 1897.
Weinzierl[7]) auf der Sandlingalpe häufig in den Sommern 1893—99.
Hesselman[8]) auf der Insel Skabbholmen einige Zahlen aus den Sommern 1899, 1900, 1901.
P. Franz Schwab[9]) in Kremsmünster in Ober-Österreich 1897—1902.
Wiesner[10]) mit v. Portheim und Strakosch in Amerika, hauptsächlich im Yellowstonegebiet 11. Aug. — 9. Sept. 1904.
Stebler und Volkart[11]) in Zürich einige Tage des Sommers 1904.[12])

2. Kapitel.

Methode der Beobachtung.

Die Methode, welche ich anwandte, ist diejenige von Bunsen und Roscoe, die von Wiesner bedeutend vereinfacht wurde. Das Prinzip davon ist, die chemische Lichtintensität durch Schwärzung von lichtempfindlichem Chlorsilberpapier zu messen. Bunsen und Roscoe hatten gefunden, dass innerhalb weiter Grenzen gleichen Produkten aus Beleuchtungsdauer und chemischer Lichtintensität gleiche Schwärzungen ihres Papieres entsprachen.

---

[1]) Repert. der Meteorologie T. VI. Nr. 6.
[2]) Meteor. Zeitschr. 1885.
[3]) Schr. d. nat. Verein f. Schleswig-Holstein, Bd. 10.
[4]) Denkschr. Bd. 64.
[5]) Denkschr. Bd. 67.
[6]) Ann. d. l'obs. du Mont Blanc, T. III.
[7]) Zeitschr. f. d. Landwirtsch. Versuchswesen in Österr. Wien 1902.
[8]) Beihefte z. bot. Centralblatt, Bd. 17, S. 368, Jena 1904.
[9]) Denkschr. Bd. 74.
[10]) Denkschr. Bd. 80.
[11]) Beiträge zur Kenntnis der Matten und Weiden der Schweiz. XV. Schweiz. landwirtsch. Jahrbuch 1905.
[12]) Hier sind nur die lichtklimatischen Messungen berücksichtigt; physiologische sind in neuerer Zeit noch von verschiedenen gemacht worden.

Um vergleichbare Resultate zu erhalten, schufen sie einen Normalton, ein Normalpapier und eine Einheit. Den Normalton erhielten sie auf folgende Weise: Ein Teil bei Luftabschluss geglühter Lampenruss wird mit 1000 Teilen Zinkoxyd gemischt. Es resultiert ein lichtes Taubengrau. Die Herstellung dieses innigen Gemenges begegnet bedeutenden Schwierigkeiten, auf die ich nicht eintreten will, da Wiesner[1]) sie genau beschreibt.

Das Normalpapier[2]) erhält man auf folgende Art: Das Papier wird während 3 Minuten in einer 3 %igen, chemisch reinen Kochsalzlösung gebadet und zum Trocknen aufgehängt. Das so gesalzene Papier ist haltbar. Vor dem Gebrauch wird das Papier gesilbert, indem man es 2 Minuten lang auf einer 12 %igen Silbernitratlösung schwimmen lässt und zum Trocknen aufhängt. Das Silbern kann bei Kerzenlicht vorgenommen werden, das länger andauernde Trocknen hingegen muss in dunklem Raum geschehen.

Wiesner benutzt Rives 8 Kilo Papier, jedoch kann auch jedes andere gute Papier verwendet werden; Bunsen und Roscoe zeigten, dass die Dicke des Papieres nicht in Betracht kommt, aber bei zu dünnem ist zur Beseitigung der Diaphanität eine weisse Unterlage nötig. Die Kochsalzlösung muss stets 3 %ig sein, ein anderer Gehalt verändert die Resultate, die Lösung behält aber beim Gebrauch die gleiche Konzentration bei. Die Silbernitratlösung darf 8—12 % $AgNO_3$ enthalten, von einer 12 %igen kann man $^2/_3$ verbrauchen, bevor sie unter 8 % sinkt. Die Einwirkungsdauer fanden Bunsen und Roscoe zwischen $^1/_4$ und 8 Minuten ohne Einfluss auf die Empfindlichkeit.

Dieses Normalpapier hat den schweren Nachteil, dass es nur 16—20 Stunden bei unveränderter Empfindlichkeit bleibt und nachher rasch abnimmt, es muss also jeden Tag frisch bereitet werden.

Bei hohen Lichtintensitäten ist die Zeit zur Schwärzung des Normalpapieres bis zur Farbe des Normaltones eine zu geringe, um genau gemessen zu werden. Für diese Fälle hat Wiesner empirisch einen Ton hergestellt, der in der 10fachen Zeit erreicht wird.

Die Beobachtungen werden mit dem Wiesnerschen Handinsolator gemacht. Dieser besteht aus einem schwarzen Brettchen von zirka 10 cm Länge, zirka 8 cm Breite und zirka $^1/_2$ cm Dicke. Das Brettchen ist mit schwarzem Papier in der Weise überzogen, dass man von einer Seite, wie es etwa bei Photographierahmen der Fall ist, Papier einführen kann. Quer hinüber zieht sich ein Schlitz, in welchem die Exposition stattfindet. Normalton- und Zehnertonstreifen werden

---

[1]) Wiesner, I. 1896, S. 12.
[2]) Bunsen und Roscoe, Pogg. Ann. 117, S. 552.

zwischen Brettchen und Papier eingeführt und zwischen diese beiden ein Streifen Normalpapier; siehe Fig. 1.

Damit ist der Insolator zum Gebrauche bereit. Will man beobachten, so hält man den Insolator horizontal möglichst weit vom eigenen Körper weg und nicht zu tief, damit nicht ein beträchtlicher Teil des Lichtes abgehalten werde. Mit einiger Übung kommt man bald dazu, den Insolator so zu halten, dass der Fehler, der durch das Abhalten von Licht durch den eigenen Körper weit innerhalb der Fehlergrenzen der Methode bleibt.

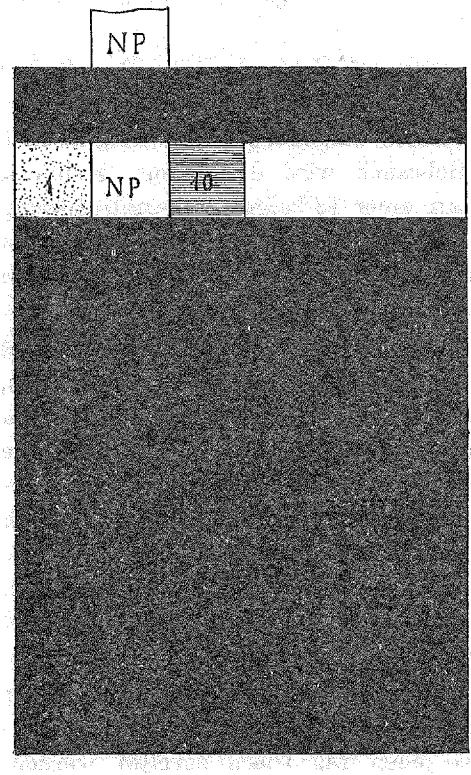

Fig. 1. Wiesnerscher Handinsolator.

Im Moment, in dem man das dunkel gehaltene Normalpapier beim Schlitz dem Lichte aussetzt, setzt man einen Chronographen in Gang, der die Zeit in Fünftelssekunden anzeigt. Im Moment, in dem das Normalpapier den Normalton erreicht hat, d. h. in dem man gar keinen Unterschied zwischen Normalpapier und Normalton sehen kann, arretiert man den Chronographen, an welchem man nun die Zeit auf Fünftelssekunden genau ablesen kann. Ist die Zeit zur Erreichung des Normaltones zu kurz, um genau gemessen zu werden, so fährt man mit Beobachten einfach fort bis der Zehnerton erreicht ist. Hat man keinen Chronographen, so zähle man die Schläge der Taschenuhr, da das Ticken auch in Fünftelssekunden geschieht.

Die Genauigkeit der Zeitmessung ist also eine Fünftelssekunde. Ist nun die Einwirkungsdauer 1 Sekunde, so ist der maximale Zeitfehler 20 %, wartet man da aber bis zur Erreichung des Zehnertons, so ist der Fehler nur noch 2 %; bei 4″ Belichtungsdauer ist der Fehler einerseits 5 %, anderseits 0,5 %. Diese 0,5 % bei 40″ werden aber dadurch erhöht, dass das menschliche Auge bei dieser langsamen Farbenveränderung nicht mehr auf die Fünftelssekunde den Moment

der Gleichfarbigkeit bestimmen kann. Man wird gut tun, bei hohen Lichtintensitäten den Zehnerton zu benutzen und den Normalton erst, wenn die Belichtungsdauer 4" erreicht.

Den Fehler der Methode, wie auch derjenigen von Stelling hat Wiesner zu ± 5% berechnet. Das Erkennen des Moments der Übereinstimmung der Farbe des Normalpapiers und Normaltones erfordert einige Übung, leichter ist es bei monochromatischem Licht. Zu diesem Zweck legt man zur Ablesung ein möglichst monochromatisches gelbes Glas über die Töne. Ist die Schwärzung noch nicht erreicht, so belichtet man weiter, unter Subtraktion der Zeit, die man bedeckt gehalten hatte.

Ein schwerer Übelstand des Normalpapiers ist seine geringe Dauerhaftigkeit. Käufliche photographische Papiere lassen sich finden, die lange Zeit die gleiche Empfindlichkeit behalten, aber nicht diejenige des Normalpapieres. Dies kann jedoch durch einführen eines Faktors umgerechnet werden. Die Papiere innerhalb eines Paketes hat Wiesner immer gleich empfindlich gefunden, was ich auch bestätigen kann, jedoch nicht gleich wie ein neues Paket derselben Marke, so dass der Reduktionsfaktor für jedes Paket bestimmt werden muss. Wiesner wendet für relative Messungen das Papier „Celluloid Vindobona" an, von dem er angibt, dass es fast genau mit Normalpapier übereinstimmt. Ich liess mir ein Paket dieses Papieres von Wien kommen; dies war aber wesentlich weniger empfindlich als Normalpapier. Eine andere Schwierigkeit machen diese Papiere noch beim Vergleich mit dem Normalton. Ihre Schwärzungen haben so stark rötliche, bräunliche, violette Töne, dass der Vergleich mit dem Normalton trotz des gelben Glases schwer wird. Es ist schwer, ein genügend monochromatisches gelbes Glas zu finden [1]).

Die Hebung dieses Übelstandes gelang mir durch Anwendung von „Wynnes Infallible Exposuremeter", nach dem Vorgang von Stebler und Volkart. Dieser für photographische Zwecke hergestellte Apparat hat mir für Lichtmessungen vorzügliche Dienste geleistet. Der Apparat hat die Form einer Taschenuhr. Die hintere Schale ist drehbar. Durch eine daran befestigte Feder drückt sie ein Wolltuch, vor welchem eine runde Scheibe lichtempfindliches Papier liegt, an eine vordere Metallplatte. In dieser ist ein kleiner Ausschnitt, durch welchen das lichtempfindliche Papier auf der Oberseite dem Licht ausgesetzt wird. Links und rechts dieses kleinen Schlitzes sind konstante Farbtöne. Das ganze ist mit einem Glas bedeckt. Beim drehen der hintern

---

[1]) Über die Hebung diverser Übelstände durch andere Papiere siehe in Wiesners Lichtgenuss der Pflanzen, Leipzig 1907.

Metallplatte wird das Papier mitgedreht, so dass immer neue Partien vor den Schlitz gebracht werden, so dass man mit einem Papierscheibchen ca. 20—30 Belichtungen machen kann. Das Papier hat einen hellgelben Ton, der bei Belichtung durch intensiv grüne Farben durchgeht bis zu schwarz. Die konstanten Töne sind ein tiefes Grün und ein helles Gelbgrün, das genau im vierten Teil der Zeit jenes tiefen Grüns erreicht wird. Der Durchgang durch diesen grünen Ton ist für das Auge viel leichter und schärfer zu beobachten als die grauen Töne. Auch bei diesem erwiesen sich die Papierscheiben eines Paketes untereinander gleich lichtempfindlich, aber verschieden in verschiedenen Paketen. Dieses Papier ist sehr haltbar, wie ich durch immer wiederholtes Vergleichen mit Normalpapier feststellen konnte. Die Zeitdauer der nötigen Belichtung liegt zwischen Normalton und Zehnerton. Mit diesem Papier habe ich den grössten Teil meiner Messungen angestellt unter Anwendung sehr häufiger Parallelmessungen mit Normalpapier. Ausserdem wurde jedes Papierscheibchen vor und nach Gebrauch mit Normalpapier [1]) kontrolliert, so dass die Resultate auf dieselbe Genauigkeit Anspruch machen können, wie die mit Normalpapier ausgeführten. Dass das Papier durch Glas geschützt ist, hat den Vorteil, dass man auch bei Regen und Schnee gut beobachten kann. Allerdings kann das Glas auch zur Fehlerquelle werden, indem es Strahlen absorbiert, die dann nicht zur Wirkung auf das Papier kommen. Meine darüber angestellten Versuche haben ergeben, dass tatsächlich eine Abschwächung der Intensität eintritt, dass diese aber so gering ist, dass sie weit innerhalb der Fehlergrenzen der Methode bleibt und daher nicht in Betracht gezogen werden muss.

3. Kapitel.

Das Tageslicht.

Ebensowenig wie der Gang der täglichen und jährlichen Temperatur aus dem Sonnenstand ausgerechnet werden kann, vermag man auch nicht die Lichtintensitäten der verschiedenen Zonen und Regionen daraus abzuleiten. Dies wäre nur möglich, wenn keine Atmosphäre vorhanden wäre, dann unterläge die Erde dem solaren Klima. Die Atmosphäre schafft das wirklich vorhandene Klima, das empirisch durch Messungen bestimmt werden muss.

Das Sonnenlicht wird durch die Atmosphäre verändert; nur ein Teil erreicht die Erdoberfläche als eigentliches Sonnenlicht, es ist

[1]) Normal- und Zehnerton verdanke ich Herrn Hofrat Wiesner.

dies das „direkte Sonnenlicht". Ein grosser Teil wird zerstreut und erreicht die Erde als „diffuses Licht". Das direkte Licht wirkt also nur wo und während die Sonne scheint, das diffuse aber überall und jederzeit, wo überhaupt Helligkeit herrscht. Im Schatten haben wir nur diffuses Licht, in der Sonne kommt das direkte noch hinzu, wir haben da das Gesamtlicht oder, wie es Wiesner auch nennt: das gemischte Sonnenlicht. Dieses Gesamtlicht eines Ortes misst man, wenn man den Apparat in der Sonne hält. Zur Beobachtung des diffusen Lichtes muss das direkte Sonnenlicht vom Papier abgehalten werden. Dies machte Wiesner vermittelst eines kleinen schwarzen Kügelchens, das er so aufhing, dass sein Schatten gerade auf die Messstelle fiel. Ich nahm nun einfach den Schatten meines eigenen Kopfes, da ich den Fehler, der durch diesen grossen schattenwerfenden Körper, der noch einen kleinen Teil des diffusen Lichtes wegnimmt, innerhalb der Fehlergrenze der Methode fand. Mit Vergnügen sah ich, als im Mai 1906 Wiesners Beiträge zur Kenntnis des photochemischen Klimas im Yellowstonegebiet erschienen, dass er neuerdings auch diese Methode angewandt hat und deren Gleichwertigkeit mit der Kügelchenmethode dartut.

Die Differenz zwischen dem Gesamtlicht und dem diffusen Licht ist das direkte.

Lichtintensität.

Die Lichtintensität wird angegeben durch einen Bruch: eins dividiert durch die Anzahl Sekunden, die nötig sind zur Erreichung des Normaltones durch das Normalpapier. 1 bedeutet also, dass in einer Sekunde der Normalton erreicht ist; 0,5 in 2 Sek. usw. Statt nun 1,000 zu schreiben und immer mit den 3 Dezimalen zu rechnen, nehme ich die Einheit, wie Schwab es auch tut, als 1000.

II. Abschnitt.

Beobachtungen.

Die Messungen wurden auf dem flachen Dache des Berninahospizes vorgenommen. Das Hospiz liegt in einer geographischen Breite von 46° 24′ 39″ und in einer geographischen Länge von 10° 1′ 29″ östlich von Greenwich und in einer Meereshöhe von 2309 m, das Dach also etwa 2320 m. Der Horizont ist allerdings nicht ganz frei, allein von den Bergen sind die meisten weit genug entfernt, dass sie nicht messbaren Einfluss auf das Resultat haben, einzig der

Piz Cambrena bewirkt bei den niedersten Sonnenständen des Winters einen frühen Sonnenuntergang und verkürzt daher bei den ganztägigen Beobachtungen die Dauer des Sonnenscheins.

Die Beobachtungen wurden grösstenteils von mir ausgeführt, ein Teil von meinem Assistenten Josias Braun, der durch viele gemeinschaftliche Beobachtungen in die Methode eingearbeitet war; im Sommer 1907 von der sehr gewissenhaften Telegraphistin.

Für die Bewölkung des Himmels wurden die in der Meteorologie üblichen Zahlen verwandt: 0 vollständig wolkenlos bis 10 vollständig bedeckt. Der Exponent bedeutet: 0 dünne Wolken, 1 dichtere Wolken, 2 ganz dichte Wolken. Die Bezeichnung der Sonnenbedeckung ist folgende (gleich wie bei Wiesner):

S_0 Sonne vollständig bedeckt, so dass der Ort, wo sie sich befindet, nicht erkennbar ist.
S_1 Sonne nur als heller Schein am Himmel erkennbar.
S_2 Sonnenscheibe sichtbar, aber noch keinen Schatten werfend.
S_3 Sonne nur durch zarten Schleier verdeckt.
S_4 Sonne vollkommen frei erscheinend.

Die Sonnenhöhen habe ich mir selber ausgerechnet nach der Gleichung:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \, \delta \cos t$$

worin h die Sonnenhöhe
φ die geographische Breite
δ die Sonnendeklination
t der Stundenwinkel

ist. Für jede Stunde rechnete ich von 5 zu 5° Deklination die Werte aus, trug sie in ein Coordinatensystem ein, in welchem die Deklinationen [1]) als Abscissen und die Sonnenhöhen als Ordinaten genommen sind. Man erhält sehr schwach gebogene Kurven. Durch eingehen mit der Deklination in die gross gezeichnete Tabelle erhält man die zugehörige Sonnenhöhe auf 1—2 Minuten genau.

Die Zeit ist überall Ortszeit, nach der Zeitgleichung korrigiert.

Es bedeutet:

J_g die gesamte Lichtintensität
J_d die Intensität des diffusen Lichtes
J_s die Intensität des direkten Sonnenlichtes.

---

[1]) Deklinationstabellen stellte mir Direktor Maurer von der Meteorologischen Zentralanstalt gütigst zur Verfügung.

4. Kapitel.

Mittagsbeobachtungen.

Datum 1905	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Sept. 1. 12h	4	1	52° 6′	**850**max	190	**660**max
2.	3—4	2	51 45	850	250	600
3.	0	10	23			
4.	1	8	0			
5.	4	2	50 38			
6.	4	8	16			
7.	3—4	8	49 54			
8.	4	3	32			
9.	0	8	9			
10.	4	6	48 46			
11.	4	1	23			
12.	4	4	1			
13.	4	3	47 38			
14.	0	9	25			
15.	3	5	46 52			
16.	4	5	29	850	500	350
17.	4	2	6			
18.	4	1	45 43	850	200	650
19.	0	10	20	125	**125**min	0
20.	0	10^1	44 57	167	167	0
21.	2	6	34	500	500	0
22.	0	9^1	11			
23.	0	10^2	43 48	147	147	0
24.	0	10^1	25	360	360	0
25.	0	8^1	43 2			
26.	1	10^0	42 38	500	500	0
27.	2	10	14	420	420	0
28.	2	7	41 51	420	420	0
29.	0	8^2	17			
30.	3	5	3			
Okt. 1.	3	6^1	40 40	560	—	—
2.	3—4	5^0	17	**740**max	385	355
3.	3	9^1	39 54	340	275	65
4.	1	10	31	310	310	0
5.	1	10^2	8	250	250	0
6.	4	5	38 45	370	208	162
7.	4	1	22	620	180	**440**max
8.	4	6^0	37 59	650	310	340
9.	4	1	36	620	250	370
10.	0	8^1	13			
11.	3	8	36 50	222	139	83
12.	4	1	27	560	250	310
13.	4	1	5	440	120	320
14.	4	5	35 43	560	210	350

Datum 1905	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Okt. 15. 12h	4	1	35° 21′	560	170	390
16.	2	8°	0	360	360	0
17.	4	0	34 38	580	200	380
18.	3	6°	16	370	280	90
19.	4	2	33 54	380	180	200
20.	0	10	32	280	280	0
21.	1	9°	10	360	360	0
22.	4	1	32 49	370	170	200
23.	0	10	28	**208**min	308	0
24.	1	10	7	250	250	0
25.	0	10²	31 46			
26.	3	8²	25	320	180	140
27.	4	0	4			
28.	4	1	30 43	370	155	215
29.	4	1	24			
30.	1	10°	4	360	360	0
31.	1	10°	29 44	310	310	0
Nov. 1.	1	10°	24	310	310	0
2.	0	10¹	4	217	217	0
3.	0	10²	28 46			
4.	0	10²	27	180	180	0
5.	0	10²	8	140	140	0
6.	1	4	27 50	167	167	0
7.	0	5	32	190	190	0
8.	1	10²	18	180	180	0
9.	1	10°	1	310	310	0
10.	4	1	26 44	320	—	—
11.	3	5	28			
12.	0	9²	11	132	132	0
13.	0	10²	25 54	180	180	0
14.	4	0	37	195	100	95
15.	3—4	3°	21	330	223	107
16.	0	8²	5	167	167	0
17.	0	3	24 50	**114**min	114	0
18.	0	8°	35	410	410	0
19.	0	10	20	163	163	0
20.	0	10	6	210	210	0
21.	0	10	23 53	245	245	0
22.	2	7°	39	**430**max	430	0
23.	4	0	25	240	—	—
24.	4	2	12	240	—	—
25.	4	0	22 59	300	130	170
26.	0	10°	47	270	270	0
27.	0	10°	35	230	230	0
28.	4	1	23	400	150	**250**max
29.	1	10	11	175	175	0
30.	2	4	0	163	163	0

Datum **1905**	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Dez. 1. 12h	1	10	21° 49′	290	290	0
2.	2	3	40	180	180	0
3.	4	0	31	330	147	183
4.	4	0—1	23	270	155	115
5.	4	0	14	**350**max	160	190
6.	4	0	6	270	120	150
7.	1	6	20 59	223	223	0
8.	3—4	0	52	280	130	150
9.	0	7	46	270	270	0
10.	2	10	40	310	310	0
11.	4	0	35	265	110	155
12.	4	1	30	300	115	185
13.	3	4	26	310	155	155
14.	2—3	4	22	180	180	0
15.	4	0	18	190	110	80
16.	4	0	15			
17.	4	0	13			
18.	4	0	11			
19.	4	0	9			
20.	4	0	7	183	75	108
21.	4	2^2	7	235	90	145
22.	4	1	6	220	85	135
23.	3	2	6	165	99	66
24.	4	0	7	215	85	130
25.	4	0	8	260	95	165
26.	4	0	10	145	57	88
27.	4	0	12	160	72	88
28.	2	9^1	14	**123**min	123	0
29.	2	8^1	17	141	141	0
30.	2	10^1	21	205	205	0
31.	4	0	25	310	87	**223**max
1906						
Jan. 1.	3	3	20 29	165	60	105
2.	4	0	34	250	83	167
3.	2	10^1	39	**141**min	141	0
4.	3	5^1	45	153	92	61
5.	3	7^0	51	310	250	60
6.	0	10^0	58	286	286	0
7.	4	6	21 6	310	208	102
8.	0	10^0	14	310	310	0
9.	3	10^0	22	350	208	142
10.	3—4	2	30	**450**max	150	**300**max
11.	2	10^0	37	420	420	0
12.	2—3	$2—10^0$	47	345	233	112
13.	4	1	57	420	155	265
14.	2	9	22 7	270	270	0
15.	4	0	18	420	140	280

Datum 1906	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Jan. 16. 12h	2—3	1—10⁰	22° 29′	250	217	33
17.	4	1	41	278	125	153
18.	2	2—10⁰	53	200	200	0
19.	0	10¹	23 5	155	155	0
20.	2—3	9	18	200	167	33
21.	4	1	31	263	100	163
22.	4	1	45	185	83	102
23.	3	4⁰	59	185	125	60
24.	4	1	24 13	230	115	115
25.	4	0	27	275	105	170
26.	4	4	42	260	110	150
27.	4	1	57	238	105	133
28.	4	0	25 13	266	133	133
29.	4	0	29	410	220	190
30.	2	9	45	320	320	0
31.	1—2	10	26 1	330	330	0
Febr. 1.	4	0	18	280	140	140
2.	4	2¹	35	305	125	180
3.	2	9¹	53	320	320	0
4.	2	8	27 11	330	330	0
5.	4	0	29	370	145	225
6.	0—1	10¹⁻²	47	240	240	0
7.	0	10¹⁻²	28 5	227	227	0
8.	4	0	23	350	145	205
9.	1—2	10¹	42	330	330	0
10.	4	0	29 2	370	170	200
11.	4	3	22	460	210	250
12.	0	10	42	290	290	0
13.	0—1	10	30 2	330	330	0
14.	0	10	23	280	280	0
15.	1	8	43	320	320	0
16.	4	0	31 4	380	150	230
17.	4	1	25	420	210	210
18.	4	0	46	**600**max	260	**340**max
19.	4	1	32 7	520	210	310
20.	2	10⁰	28	460	460	0
21.	0	10¹	49	280	280	0
22.	4	1	33 11			
23.	0	9²	33	**190**min	190	0
24.	3	5¹	55	340	195	145
25.	4	4⁰⁻¹	34 18	370	200	170
26.	2	6¹	40	270	270	0
27.	0	10²	35 2	208	208	0
28.	0	10²	24	220	220	0
März 1.	0	10¹	47	370	370	0
2.	4	7¹	36 10	620	310	310
3.	4	2¹	32	520	220	300

Datum **1906**	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
März 4. 12 h	4	0	36° 55′	500	195	305
5.	4	0	37 19	500	180	320
6.	4	0	42	500	200	300
7.	4	0	38 5	500	200	300
8.	4	0	28	600	220	380
9.	3—4	8^{1}	52	500	300	200
10.	4	4^{1}	39 15	550	210	340
11.	3—4	6^{0-1}	39	500	250	250
12.	0	10^{2}	40 2	**180**$_{min}$	180	0
13.	4	1^{1}	25	500	180	320
14.	1	10^{1}	49	410	410	0
15.	4	2^{1}	41 13	500	200	300
16.	4	3	37	490	180	310
17.	2—3	5^{0-1}	42 1	300	300	0
18.	4	0	24	600	190	410
19.	0	10^{2}	48	290	290	0
20.	2	10^{1-2}	43 11	410	410	0
21.	0—1	10^{1}	35	500	500	0
22.	0	10^{2}	59	410	410	0
23.	0—1	10^{1-2}	44 23	500	500	0
24.	0	10^{1-2}	47	470	470	0
25.	1	10^{1}	45 10	530	530	0
26.	1	10^{0}	33	560	560	0
27.	4	5^{1}	57	600	200	400
28.	4	0—1	46 20	600	200	400
29.	4	0	43	**640**$_{max}$	200	**440**$_{max}$
30.	4	3	47 6	560	160	400
31.	4	1	30	560	170	390
April 1.	4	0	53	650	180	470
2.	4	2^{0-1}	48 17	600	200	400
3.	4	0	39	650	190	460
4.	2—3	10^{1}	49 2	500	500	0
5.	1	10^{1-2}	24	480	480	0
6.	4	4	47	600	200	400
7.	3—4	5^{0-1}	50 10	910	360	550
8.	1—2	10^{1}	32	650	650	0
9.	1—2	9^{1}	54	700	700	0
10.	2	3^{1}	51 16	600	600	0
11.	1	10^{1}	38	650	650	0
12.	4	1^{0-1}	52 10	830	260	**570**$_{max}$
13.	4	1^{1}	32	830	260	**570**$_{max}$
14.	0	10^{1-2}	54	560	560	0
15.	3	8^{1}	53 15	650	480	170
16.	0	9^{1-2}	35	500	500	0
17.	0	10^{2*}	54	**300**$_{min}$	300	0
18.	0	10^{2}	54 14			
19.	1	9^{1-2}	34	700	700	0

Datum 1906	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
April 20. 12h	0	10^1	54° 54′	650	650	0
21.	3—4	8^1	55 14	830	530	300
22.	0	10^1	33	700	700	0
23.	0—1	10^{1-2}	53	700	700	0
24.	0—1	10^{1-2}	56 13	700	700	0
25.	3	7^1	32	900	450	450
26.	0	10^{1-2}	51	700	700	0
27.	0	10^1	57 10			
28.	4	1	29	**1010_{max}**	450	560
29.	0	10^{1-2}	48	560	560	0
30.	0—1	10^1	58 7	700	700	0
Mai 1.	0	10^2	26	650	650	0
2.	4	4^1	44	1300	360	940
3.	4	0	59 1	1010	450	560
4.	4	1	18	1300	360	940
5.	3—4	5^1	35	1010	510	500
6.	4	2^1	52	900	300	600
7.	1	8^1	60 10	830	830	0
8.	0	9^{1-2}	27	700	700	0
9.	1	9^{1-2}	43	750	750	0
10.	0—1	8^1	58	650	650	0
11.	0—1	9^1	61 14	650	650	0
12.	3—4	8^1	29	1510	720	790
13.	4	4^1	45	1390	470	920
14.	4	3^1	62 1	**1600_{max}**	450	**1150_{max}**
15.	0	10^0	17	530	530	0
16.	2	9^1	32	560	560	0
17.	1	8^1	46	**450_{min}**	450	0
18.	0	10^1	59	530	530	0
19.	0	10^1	63 13	650	650	0
20.	0	10^1	26	**450_{min}**	450	0
21.	4	4^1	39	1130	450	680
22.	4	1	52	1130	450	680
23.	4	1	64 4	1300	450	850
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
27.	3	6^1	49	900	600	300
28.	0	9^1	59	670	670	0
29.	4	4^1	65 9	1500	440	1060
30.	4	4^1	17	1300	360	940
31.	4	2_{cu}	25	1380	400	980
Juni 8.	4	0	66 24	1200	200	1000
9.	3	6	30	1000	370	630
10.	1	10	34	550	550	0
11.	2	10	38	750	750	0
12.	1	9	42	**340_{min}**	340	0
17.	4	4	67 0	**1660_{max}**	350	**1310_{max}**
27.	4	1	66 59	1300	250	1050

Datum 1906		Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Juli	3. 12h	0	9	66° 36′	440	440	0
	4.	0	10	32	350	350	0
	6.	3	7	23	900	600	300
	7.	3	5[1]	17	900	540	360
	8.	2	10	10	900	900	0
	9.	3—4	9	2	1000	500	500
Aug.	4.	0	10[2]	61 0	**165**$_{min}$	165	0
	5.	4	0—1	60 44	**1280**$_{max}$	260	**1020**$_{max}$
	8.	4	2	59 54	1190	200	990
	10.	2	10°	17	550	550	0
	26.	1	8	54 11	330	330	0
	27.	4	4	53 49	850	170	680

Einige Augusttage 1905, nicht genau Mittags.

13. 1h 10	4	0	58° 26′	650	170	480
15. 1h 10	4	5	57 47	850	310	540
22. 12h	3—4	5	55 32	850	415	435
26. 1h 20	4	6	54 12	850	250	600
29. 10h 40	4	3	53 10	850	250	600
31. 11h 25	4	4	52 29	800	250	550

Einige Mittagsdaten, nicht auf dem Hospiz gemessen.

Datum 1906		Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte	Ort	
Juni	13. 12h	3—4	4	66° 47′	760	220	540	Pontresina	1800 m
	15.	4	4	52	900	300	600	„	„
	16.	4	3	54	**1660**$_{max}$	600	1060	„	„
	18.	1	7	58	**300**$_{min}$	300	0	„	„
	26.	4	0	67 1	900	225	675	Tschüfferhang	2400 m
Juli	2.	4	5	40	1120	350	770	Morteratsch	1900 m
	10.	3	9	65 51	**1660**$_{max}$	600	**1060**$_{max}$	Piz Albris	3120 m
	15.	4	1	15	1130	300	830	Schafberg	2740 m
	17.	4	1	64 54	1100	220	880	Boval	2460 m
	20.	3—4	6	23	1520	550	970	Furcla Surlej	2760 m
	22.	4	2	64 0	1100	330	770	Zernetz	1500 m
	23.	4	4	63 48	1280	370	910	Flüela Schwarzhorn	3150 m
	24.	4	8	36	1350	470	880	Ofen	1800 m
Aug.	6.	4	0	60 28	1100	180	920	Piz Lagalp	2962 m
	7.	4	1	11	**1350**$_{max}$	220	**1130**$_{max}$	Diavolezza	2977 m
	11.	0	10	59 0	420	420	0	Munt Pers	3211 m
	13.	4	1	24	1100	220	880	Pontresina	1800 m
	14.	0	9	6	330	330	0	„	„
	15.	0	9	57 48	220	220	0	Plaun da Statz	1950 m
	16.	3	7	29	830	480	350	Tschiervagletscher	2560 m
	18.	4	3	56 51	1080	270	810	Alp Languard	2400 m

Datum 1906	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte	Ort	
Aug. 20. 12h	4	1	56° 13′	1280	220	1060	Aguaglioils	2767 m
21.	3	5	55 53	830	220	610	Rosatsch	2900 m
23.	4	1	15	1230	220	1010	Berninahäuser	2050 m
24.	4	4	54 54	1100	220	880	Gemsfreiheit	3080 m
28.	4	0	53 29	830	130	700	Furcla Muraigl	2895 m
30.	4	0	52 49	830	170	660	Las Sours	2980 m
31.	4	0	29	720	130	590	Pontresina	1800 m

Datum 1907	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
April 1. 12h	3	10°	47° 54′	850	350	500
2.	1	10¹	48 18	470	470	0
3.	0	10¹	40	**470**min	470	0
4.	4	5	49 3	930	450	480
5.	1	10	25	540	540	0
6.	4	4	48	1120	460	**660**max
7.	3	7	50 11	860	470	390
8.	2	10	33	590	590	0
9.	4	0	55	940	300	640
10.	1	10	51 17	590	590	0
11.	0	8	39	**470**min	470	0
12.	1	10	52 11	590	590	0
13.	2	10	33			
14.	2	6	55	630	630	0
15.	2	10	53 16	750	750	0
16.	2	10	36	750	750	0
17.	3	10°	55	990	630	360
18.	3	10	54 15	750	450	300
19.			35			
20.	4	0	55	920	440	480
21.	4	0	55 15	990	410	580
22.	4	0	34	870	400	470
23.	4	1	54	940	420	520
24.	3	8	56 14	770	420	350
25.	4	4	33	1040	470	570
26.	4	5	52	970	470	500
27.	1	10	57 11	660	660	0
28.	1	10	30	630	630	0
29.	2—3	10	49	710	590	120
30.	4	8	58 8	**1130**max	580	550
Mai 1.	0	10¹	27	570	570	0
2.	4	0	45	1010	530	480
3.	4	8	59 2	1170	650	520
4.	4	0	19	990	410	580
5.	4	5	36	990	420	570
6.			53			

Datum 1907	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Mai 7. 12h	0	10^2	60° 11′	400	400	0
8.			28			
9.	4	0	44	1000	320	680
10.	4	2	59	1100	430	670
11.	4	0	61 15	1100	470	630
12.	4	4	30	1100	470	630
13.	0	8	46	480	480	0
14.	3→4	1	62 2	810	300	510
15.	0	10^2	18	**260**$_{min}$	260	0
16.	0	10	33	530	530	0
17.	3	8	46	680	420	260
18.	0	10	63 0	500	500	0
19.	2	10	14	700	700	0
20.	3	10	27	680	500	180
21.	0	10	40	500	500	0
22.	1	10	53	630	630	0
23.	0	10	64 5	500	500	0
24.	4	4	17	1310	420	890
25.	4	2	28	1300	480	820
26.	4	2	39	**1800**$_{max}$	470	**1330**$_{max}$
27.	3—4	7	50	1360	590	770
28.	1	10	65 0	500	500	0
29.	2—3	10	10	680	450	230
30.	0	10	18	420	420	0
31.	4	9	26			
Juni 1.	0	10^2	65 34	360	360	0
2.	3—4	4	42	**1500**$_{max}$	750	750
3.	2—3	8	50	920	700	220
4.	0	8	57	380	380	0
5.	3	5	66 4	920	430	490
6.	0	10^2	11	310	310	0
7.	1	9	18	590	590	0
8.	4	1	25	900	380	520
9.	4	0	31	1160	420	740
10.	4	1	36	1360	360	**1000**$_{max}$
11.	1	9	40	590	590	0
12.	4	8	44	1240	500	740
13.	0	10	48	450	450	0
14.	0	10^2	51	260	260	0
15.			54			
16.	4	6	56	1360	500	860
17.	3—4	7	58	1240	380	860
18.	1	7	67 0	460	460	0
19.			1			
20.			2			
21.	3	9	3	680	430	250
22.	3	9	3	910	460	450

Datum 1907	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Juni 23. 12h	0	10² dicker Nebel	67° 3′	**85**min	85	0
24.	4	2	2	990	410	580
25.	1	10	2	420	420	0
26.	3	9	0	900	420	480
27.	3	8	66 58	900	420	480
28.			56			
29.			53			
30.	0	10	50	360	360	0
Juli 1.	0—1	10	46	310	310	0
2.	0	10²	42	175	175	0
3.	3	9	38	1060	530	530
4.	2	10	33	500	500	0
5.	4	8	28	1000	360	640
6.	3	6	23	870	420	450
7.	2	8	17	630	630	0
8.	0	10²	10	**165**min	165	0
9.	3	9	4	690	460	230
10.	4	8	65 56	1080	500	580
11.	4	6	49	900	400	500
12.	4	4	41	1200	410	790
13.	0—1	10	33	330	330	0
14.	3	10	25	630	380	250
15.	3	9	16	750	500	250
16.	4	2	6	1350	500	850
17.	4	2	64 56	1500	560	940
18.	4	1	46	1500	550	950
19.	4	1	35	**1800**max	600	**1200**max
20.	4	1	24	1700	500	**1200**max
21.	4	1	13	1500	460	1040
22.	2	8	2	600	600	0
23.	4	6	63 50	1500	550	950
24.	1	10	38	370	370	0
25.	0	10	26	380	380	0
26.	0	10	13	380	380	0
27.	4	7	62 59	1600	520	1080
28.	4	7	45	1520	520	1000
29.	4	8	31	1360	520	840
30.	1	10	17	430	430	0
31.	4	7	3	1350	510	840
Aug. 1.	4	7	61 48	1350	410	940
2.	4	6	33	1600	500	1100
3.	3—4	7	18	1060	400	660
4.	4	2	2	1350	500	850
5.	1	10	60 46	580	580	0
6.	3	9	30	900	500	400
7.	1	7	14	580	580	0
8.	4	0	59 57	1600	500	1100

Datum 1907	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Aug. 9. 12h	4	8	59° 40′	**1660**max	550	**1110**max
10.	3	10	23	900	450	450
11.	3—4	8	5	1400	560	840
12.	4	4	58 48	1400	500	900
13.	4	2	30	1350	500	850
14.	4	0	11	1260	450	810
15.	1	10²	57 53	380	380	0
16.	0	10²	34	**360**min	360	0
17.	3	9	15	800	320	480
18.	4	0	56 56	1250	330	920
19.	4	0	37	1450	450	1000
20.	2	10	17	580	580	0
21.	4	0	55 57	900	310	590
22.	4	0	37	900	300	600
23.	0	10	17	400	400	0
24.	2—3	10	54 57	640	370	270
25.	4	0	36	860	280	580
26.	4	0	16	950	360	590
27.	3	8	53 55	800	340	460
28.	4	8	34	1250	420	830
29.	1	10	13	560	560	0
30.	4	8	52 51	1470	500	970
31.	2	9	30	700	700	0
Sept. 1.	4	7	52 8	**1250**max	600	650
2.	2	10	51 47	490	490	0
3.	2	10	25	560	560	0
4.	2	9	3	420	420	0
5.	2—3	7	50 41	550	370	180
6.	4	5	18	900	400	500
7.	4	0	49 56	900	320	580
8.	4	0	33	950	300	650
9.	4	0	11	900	300	600
10.	1	10	48 48	500	500	0
11.	0	10	26	360	360	0
12.	3	8	3	840	420	420
13.	3	9	47 40	600	360	240
14.			17			
15.	3	9	46 54	670	420	250
16.	4	7	31	900	420	480
17.	4	0	8	800	310	490
18.	4	0	45 44	750	280	470
19.	4	0	21	680	280	400
20.	4	0	44 58	690	260	430
21.	4	1	34	670	270	400
22.	4	0	11	1100	350	**750**max
23.	4	7	43 48	860	380	480
24.	4	5	24	720	320	400

Datum 1907	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
Sept. 25. 12h	0	9²	43° 1′	**310** min	310	0
26.	0	10²	42 37	**310** min	310	0
27.	0	10	14	320	320	0
28.	0	10	41 51	360	360	0
29.	4	9	27	760	340	420
30.	0	10	4	360	360	0

Vergleichende Tabelle der Monatsmittel der Mittagsbeobachtungen des Gesamtlichtes aus allen Tagen.

	Berninahospiz X. 05—V. 06, IV.—IX. 07		Wien l. c. S. 32 VI.—XII. 93, 1894		Kremsmünster l. c. S. 50 1897—1901
	n		n		
Jan.	31	279	29	85	154
Febr.	27	336	27	189	228
März	31	493	29	302	361
April	56	727	30	585	561
Mai	56	889	18	635	698
Juni	25	770	53	688	882
Juli	31	939	42	982	929
Aug.	31	1008	39	909	876
Sept.	29	672	30	643	646
Okt.	26	413	52	293	303
Nov.	25	224	60	145	171
Dez.	27	237	52	95	125
Jahr		582		463	495

Lichtintensitäts-Maxima und -Minima.

	J_g Max	Min	J_d Max	Min	J_s Max	Min
Jan.	450	141	420	61	300	0
Febr.	600	190	460	125	340	0
März	640	180	560	150	440	0
April	1130	300	750	180	660	0
Mai	**1800**	260	750	260	**1330**	0
Juni	1660	**85**	750	85	1310	0
Juli	**1800**	165	**900**	165	1200	0
Aug.	1660	165	700	165	1110	0
Sept.	1250	125	750	125	750	0
Okt.	740	208	385	120	440	0
Nov.	430	114	430	100	250	0
Dez.	350	123	310	**57**	223	0

Monatsmittel der Mittagsbeobachtungen bei Sonnenschein.

Monat	Berninahospiz Sept. 1905—Aug. 06 u. April—Sept. 1907						Kremsmünster (nach Schwab) Mittel der Jahre 1901 u. 1902					Wien (nach Wiesner) 1893/94			Mittlere Sonnenhöhe
	n [1])	N [1])	J_g	J_d	J_s	$J_d : J_s$	n	J_g	J_d	J_s	$J_d : J_s$	n	N	J_g	
Jan. [2])	22	31	282	145	137	100 : 93	40	174	121	53	100 : 44	6	29	169	22°
Febr.	12	27	397	180	217	100 : 119	31	387	213	174	100 : 82	15	27	250	30
März	19	31	545	209	336	100 : 161	59	428	208	220	100 : 106	16	29	456	41
April	27	56	861	403	458	100 : 114	40	604	277	327	100 : 118	23	30	696	52
Mai	31	56	1153	455	698	100 : 153	72	904	399	505	100 : 127	13	18	879	61
Juni	18	32	1119	430	689	100 : 160	68	1144	464	680	100 : 146	27	53	943	64
Juli	23	38	1203	494	709	100 : 144	53	1177	529	648	100 : 122	32	42	1152	63
Aug.	26	37	1170	401	769	100 : 191	83	1021	486	535	100 : 110	32	39	1072	55
Sept.	23	42	821	340	481	100 : 141	89	693	350	343	100 : 98	21	30	789	42
Okt.	17	26	475	216	259	100 : 120	39	416	234	182	100 : 78	20	52	476	34
Nov.	4	25	306	150	156	100 : 104	62	206	142	64	100 : 45	16	60	281	26
Dez.	18	27	248	109	139	100 : 127	32	156	120	36	100 : 30	8	52	197	19
Jahr			715	294	421	100 : 143		609	295	314	100 : 106			613	

[1]) N = Zahl der beobachteten Tage, wovon n sonnige, d. h. die Sonne warf Mittags 12^h einen Schatten, also S_3 oder S_4.

[2]) Die genaue Berechnung hat einige der vorläufigen Zahlen in: Deuxième Congrès des Jardins alpins, S. 31, verändert.

Dekaden- und Monatsmittel der Mittagsbeobachtungen unter Berücksichtigung aller Tage.

Monat	Dekade	J_g	J_d	J_s	S	B		J_g	J_d	J_s	S	B	J_d : J_s
Sept. 05	III	358	358	00	1,0	9,0		530	310	220	2,0	6,5	100 : 71
Okt.	I	488	272	216	3,0	5,9							
	II	431	219	212	3,2	4,2	27	413	244	169	2,7	5,8	100 : 69
	III	318	248	70	1,9	7,4							
Nov.	I	212	212	0	0,5	8,6							
	II	210	188	22	0,8	6,8	25	224	203	21	1,0	7,3	100 : 10
	III	277	225	52	1,6	6,5							
Dez.	I	279	201	78	2,3	3,6							
	II	237	123	114	3,6	1,5	27	237	144	93	3,2	2,8	100 : 65
	III	217	113	104	3,7	3,2							
Jan. 06	I	272	179	93	2,5	6,3							
	II	296	208	88	2,5	5,4	31	279	181	98	2,8	4,8	100 : 54
	III	269	159	110	3,4	2,8							
Febr.	I	312	217	95	2,5	4,9							
	II	406	272	134	2,2	5,3	27	336	239	97	2,0	6,0	100 : 41
	III	268	223	45	1,3	7,7							
März	I	481	223	258	3,6	3,1							
	II	418	259	159	2,5	5,7	31	493	287	206	2,8	5,3	100 : 72
	III	539	354	185	2,3	7,0							
April	I	634	406	228	2,8	5,3							
	II	630	484	146	1,4	8,7	28	671	496	175	1,8	7,5	100 : 35
	III	755	610	145	1,3	8,5							
Mai	I	910	556	354	2,2	5,6							
	II	832	546	286	1,5	8,1	28	955	530	425	2,3	6,0	100 : 80
	III	1164	478	686	3,4	3,9							
April 07	I	736	469	267	2,3	7,6							
	II	731	589	142	2,1	8,2	28	783	516	267	2,5	7,1	100 : 52
	III	871	505	366	3,0	5,6							
Mai	I	904	466	438	3,0	4,4							
	II	684	463	221	2,0	7,1	28	824	476	348	2,4	6,5	100 : 73
	III	900	496	404	1,9	7,5							
Juni	I	840	468	372	2,2	5,6							
	II	800	449	351	2,0	8,1	25	770	433	337	2,1	7,2	100 : 78
	III	656	376	280	2,1	8,4							
Juli	I	648	405	243	2,2	8,8							
	II	1166	473	693	3,5	4,6	31	939	452	487	2,7	7,0	100 : 108
	III	999	476	523	2,5	7,6							
Aug.	I	1158	497	661	3,2	6,6							
	II	1023	443	580	2,9	5,3	31	1008	450	558	3,0	5,9	100 : 124
	III	857	413	444	2,9	5,7							
Sept.	I	742	426	316	2,8	5,8							
	II	699	346	353	3,4	4,8	29	672	369	303	2,7	5,9	100 : 82
	III	577	332	245	2,0	7,1							

Zusammenfassung.

	J_g	J_d	J_s	S	B	$J_d : J_s$
Jan.	279	181	98	2,8	4,8	100 : 54
Febr.	336	239	97	2,0	6,0	100 : 41
März	493	287	206	2,8	5,3	100 : 72
April	727	506	221	2,1	7,3	100 : 44
Mai	889	503	386	2,3	6,3	100 : 77
Juni	770	433	337	2,1	7,2	100 : 78
Juli	939	452	487	2,7	7,0	100 : 108
Aug.	1008	450	558	3,0	5,9	100 : 124
Sept.	672	369	303	2,7	5,9	100 : 82
Okt.	413	244	169	2,7	5,8	100 : 69
Nov.	224	203	21	1,0	7,3	100 : 10
Dez.	237	144	93	3,2	2,8	100 : 65
Jahr	582	334	248	2,5	6,0	100 : 74
Vegetationsperiode Juni—Sept.	847	426	421	2,6	6,5	100 : 99
11. Juni—20. Sept.	875	430	445	2,6	6,6	100 : 104

Interessante Resultate bietet der Vergleich einer Höhenstation mit solchen der Ebene. Länger durchgeführte Mittagsbeobachtungen [1]) liegen nur für Wien und Kremsmünster vor. Die geographischen Breiten der 3 Stationen sind nicht sehr verschieden, Berninahospiz 46° 24′ 39″, Wien 48° 13′ und Kremsmünster 48° 3′ 23″, so dass die Sonnenhöhen nur wenig von einander abweichen. Wien hat eine Höhe über Meer von 170 m, Kremsmünster liegt in hügeliger Gegend in reiner staub- und rauchfreier Luft bei 384 m und das Berninahospiz bei 2309. Der Höhenunterschied ist also ca. 2000 m.

Vergleichen wir die Monatsmittel des Gesamtlichtes nach der vorliegenden Tabelle und übersichtlicher graphisch dargestellt in Fig. 2

Die Grosstadt mit ihrem Rauch und ihren Nebeln zeigt eine geringere Intensität als das freigelegene Kremsmünster. Eine Ausnahme machen der April, der 1893 in Wien ein besonders heller war, sowie Juli und August. Höher als die beiden Talstationen ist die Gesamtintensität auf dem Berninahospiz. Am stärksten kommt dies in den Wintermonaten zum Ausdruck, in welchen die Ebene von dichten Nebeln überlagert ist, während es in der Bergeshöhe klar ist. Da tritt uns speziell der Dezember entgegen: Wien 95, Berninahospiz 237 und der Januar, Wien 85, Berninahospiz 279, also auf der obern Station 2½ resp. 3 mal mehr Licht. Noch drastischer kommt es zum Ausdruck, wenn wir die absoluten Minima der Mittags-

[1]) Für Kiel liegen die schönen Beobachtungen von L. Weber vor, jedoch nach anderer mit dieser nicht vergleichbarer Methode.

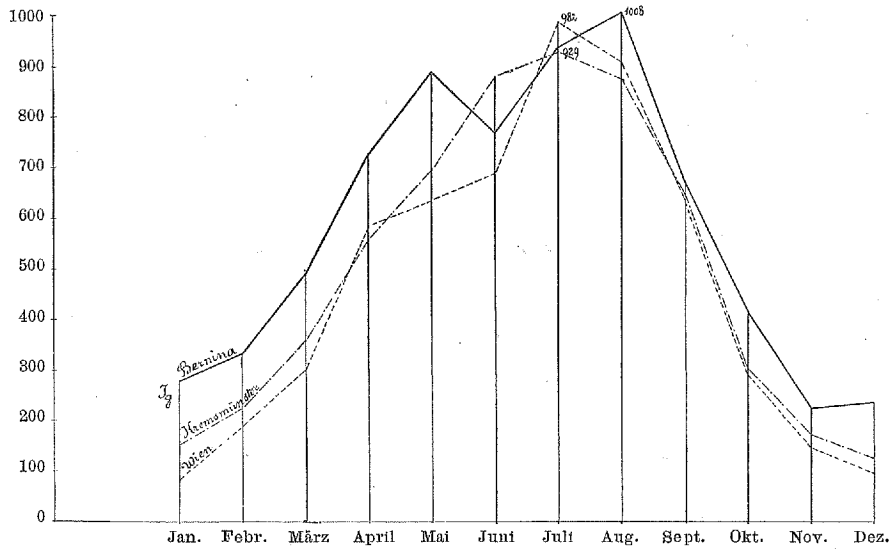

Fig. 2. Monatsmittel der Mittagsintensitäten des Gesamtlichtes aus allen Tagen.

beobachtungen vergleichen. Die geringsten Intensitäten des Winters weist Wien auf

am 5. Dez. 1893 [1]) bloss 7
am 17. Nov. 1894 bloss 9;

dagegen auf Berninahospiz

am 23. Juni 1907 85
am 17. Nov. 1905 114
am 28. Dez. 1905 123,

also das 12—16 fache.

Hiermit tritt uns die gepriesene Klarheit und Lichtfülle des Alpenwinters zahlenmässig in aller Deutlichkeit entgegen.

Dagegen sind die höchsten Intensitäten naturgemäss nicht so verschieden. Wiesner fand als Maximum in Wien 1500, in Buitenzorg 1600, Schwab in Kremsmünster sogar 1900; Weinzierl auf der Sandlingalpe bei 1400 m ü. M. 1800, ich auf dem Berninahospiz auch 1800. Für Wien ist das Verhältnis der niedersten zur höchsten Intensität 7 : 1500 = 1 : 214, für das Berninahospiz 85 : 1800 = 1 : 21.

Gehen wir nun über zu den Teilen des Gesamtlichtes; zum diffusen und zum direkten Sonnenlicht. Wiesner gibt diese Verhältnisse leider nur für vereinzelte Tage, hingegen Schwab für die Jahre 1901 und 1902 für alle sonnigen Tage, d. h. solche, an welchen S_3 oder S_4 beobachtet wurde, also das direkte Licht nicht gleich null ist.

[1]) l. c. S. 32.

Für die Pflanzen wäre es wertvoll, das Mittel aus allen Tagen zu haben, um den Anteil des direkten Sonnenlichtes zu bestimmen, wovon später, da Schwab dies nicht gibt.

Vergleichen wir also die Mittel der Mittagsintensitäten bei Sonnenschein (Fig. 3). Das Gesamtlicht weist nicht die grossen Differenzen auf, wie bei der ersten Tabelle, bei der man die in der Ebene häufigen intensiv trüben Tage berücksichtigt. Für Wien habe ich aus Wiesners

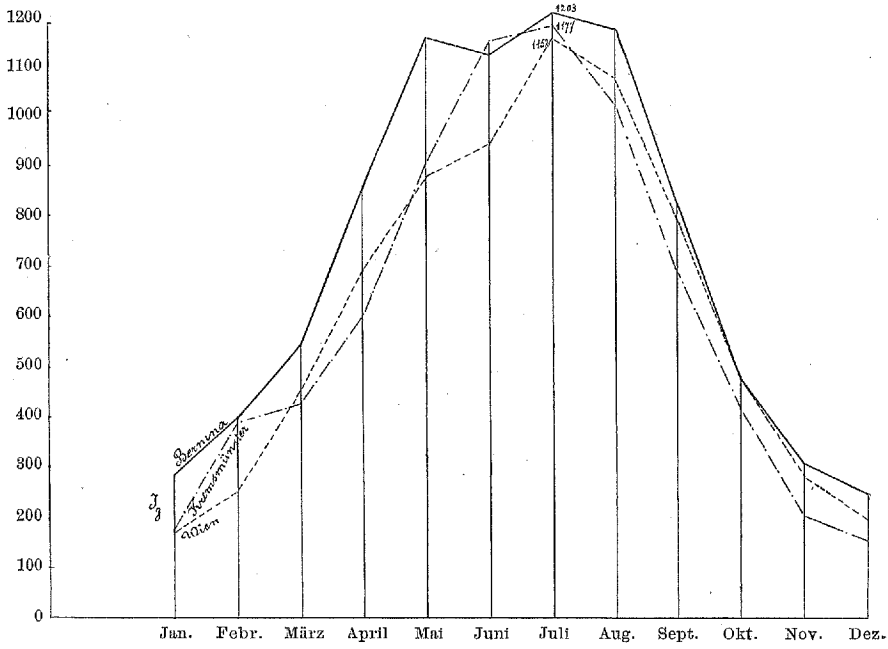

Fig. 3. Monatsmittel der Mittagsintensitäten des Gesamtlichtes bei Sonnenschein.

Tabellen die Mittel der Sonnentage herausgerechnet. Sie sind ebenso hoch und teilweise höher als die von Kremsmünster. Die von Berninahospiz sind noch höher, aber doch nicht so bedeutend wie bei Mitberücksichtigung der trüben Tage.

Das diffuse Licht (Fig. 5) ist in Kremsmünster und Berninahospiz fast gleich stark, eher in der Ebene stärker, das direkte (Fig. 4) in der Höhe aber ganz bedeutend stärker. Eine Depression in der Kurve im Sommer rührt davon her, dass 1907 einen sehr schlechten Juni und teilweise auch Juli hatte. Am klarsten sehen wir dies in der Tabelle und in der Kurve (Fig. 5), in der das Verhältnis des direkten zum diffusen ausgedrückt ist. Das diffuse ist gleich 100 gesetzt. Auf Berninahospiz sehen wir den Wert des direkten nur ein einziges Mal unter den des diffusen gehen, im Januar mit 93. In Kremsmünster dagegen

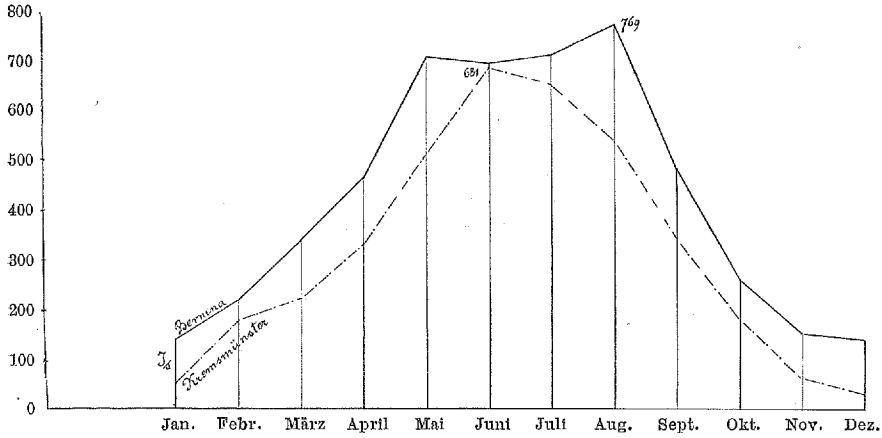

Fig. 4. Monatsmittel der Mittagsintensitäten des direkten Lichtes bei Sonnenschein.

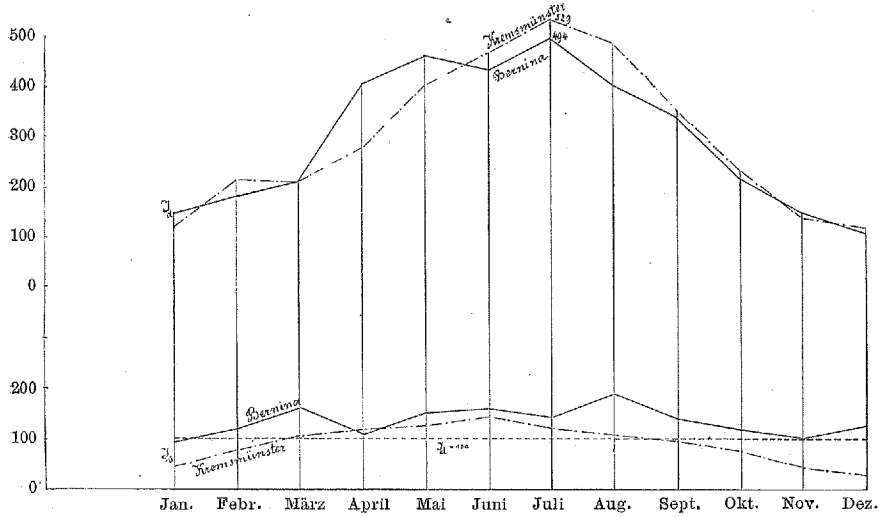

Fig. 5. Monatsmittel der Mittagsintensitäten des diffusen Lichtes bei Sonnenschein und Verhältnis des direkten zum diffusen Licht ($J_d = 100$ gesetzt).

liegt er 6 Monate lang, Sept.—Febr., darunter und zwar sehr stark. Im Dezember auf 30, das gegen die 127 des Dezembers 1905 auf Berninahospiz nicht einmal den vierten Teil ausmacht. Allerdings dürfte der überaus schöne Dezember 1905 auch über dem Mittel stehen.

Die ganze Zunahme der Lichtintensität von der Ebene zur alpinen Höhe fällt also auf das direkte Licht, das diffuse nimmt nicht zu, was auch begreiflich ist. Würden wir noch höher steigen, so würde sich das diffuse Licht immer stärker vermindern, da es nur soweit vorhanden ist als die Atmosphäre, durch die es erzeugt wird und an

deren Grenze es den Nullpunkt erreicht. Die Zunahme des direkten Lichtes muss aber grösser sein als die Verminderung des diffusen, da die von der Atmosphäre absorbierten Teile der Sonnenlichtstrahlung noch hinzukommen. Diese theoretische Überlegung wird durch die Messungen bestätigt.

Gehen wir über zur Tabelle, die die Monatsmittel sämtlicher Mittagsbeobachtungen gibt (Fig. 6). Das direkte Sonnenlicht spielt

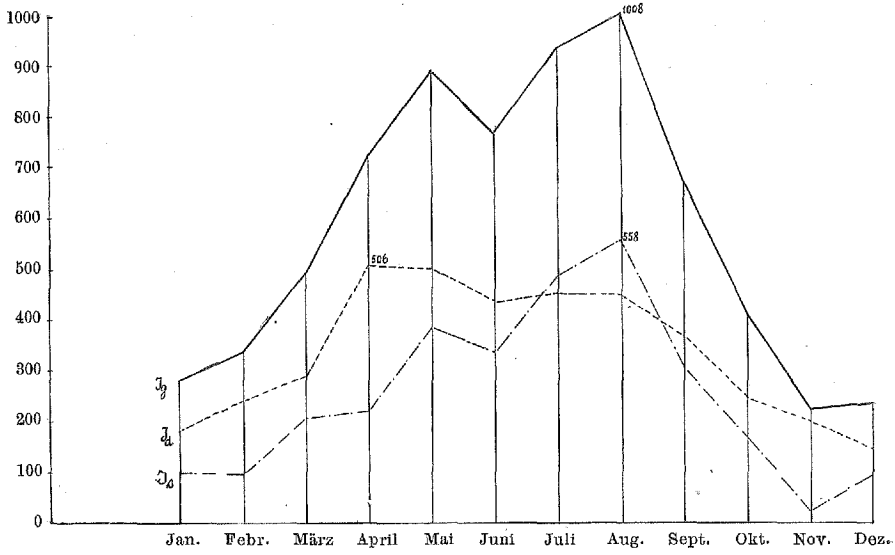

Fig. 6. Monatsmittel der Mittagsintensitäten des gesamten, direkten und diffusen Lichtes aus allen Tagen.

auch hier noch eine hervorragende Rolle, im Juli und August steigt die Kurve des direkten sogar über die des diffusen, was in der Ebene jedenfalls nie vorkäme. Im Mittel des ganzen Jahres verhält sich das diffuse zum direkten Licht wie 100 : 74 und ziehen wir die Vegetationsperiode in Betracht, auf die es für den Pflanzenwuchs ankommt, so erreicht das direkte Licht sogar denselben Wert wie das diffuse.

5. Kapitel.

Ganztägige Beobachtungen.

Um den täglichen Gang der Lichtintensitäten kennen zu lernen, führte ich Messungen durch, von denen eine Reihe im folgenden mitgeteilt ist. Ich wählte vorzugsweise dauernd klare oder dauernd trübe Tage, damit die alle Stunden oder Halbstunden ausgeführten Messungen annähernd das richtige Bild des Intensitätsganges geben. An Tagen,

wo Wolken oft an der Sonne vorbeiziehen, wechselt die Intensität von Minute zu Minute oft in starkem Masse. Es sind auch einige Beispiele von ungleichmässigen Tagen durchgeführt, um die Schwankungen zu zeigen.

Ganztägige Lichtbeobachtungen.

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			22. Aug. 1905			
7h	3—4		19° 0′	360	100	260
7 30	3—4		24 5	550	140	410
8	3—4		29 9	670	160	510
8 30	3—4		33 59	700	190	510
9 30	3—4		43 3	710	230	480
10	3—4		47 14	960	280	680
11	3—4		53 17	1390	360	1030
12	3—4		55 33	1250	420	830
1	3—4		53 17	900	360	540
1 30	4		50 16	960	280	680
2	4		47 14	900	210	690
2 30	3—4		43 3	830	250	580
3	4		38 49	660	210	450
3 30	4		33 59	570	230	340
4	2—3		29 9	500	250	250
5	0 Gewitter		19 0	18	18	0
6	4		8 41	310	100	210
			Lichtsumme	360	S_d 112	S_s 248
			1. Sept. 1905			
8	4	0	26 6	450	100	350
9	4	1	36 7	560	120	440
9 40	4	1	41 31	580	130	450
10 40	4	1	48 5	750	170	580
11 40	4	1	51 24	870	190	680
12 40	4	2	50 42	750	170	580
1 10	4	3	48 26	600	130	470
1 40	4	3	46 10	490	120	370
2 40	3—4	6	38 49	450	140	310
3 40	3	7	29 26	280	200	80
4 40	3	6	19 42	190	110	80
5 10	3—4	4	14 42	92	82	10
5 40	0	3	9 41	50	50	0
6 40	—	8		1		
			Lichtsumme	226	S_d 63	S_s 163
			2. Sept. 1905			
5h 30	—	0	0° 54′	25	25	0
6	4	0	6 0	62	50	12
6 10	4	0	7 42	83	55	28
6 15	4	0	8 33	125	62	63

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		2. Sept. 1905.				
6h 30	4	0	11° 6′	165	75	90
7	4	0	16 12	250	83	167
7 30	4	1	21 15	310	100	210
8 30	4	1	31 2	500	125	375
9 30	4	1	39 51	630	210	420
10 30	3—4	1	46 46	630	210	420
11	4	1	49 39	700	210	490
11 30	3—4	2	50 42	950	250	700
12 30	3—4	3	50 42	780	250	530
1 30	3	5	46 46	500	280	220
2 30	3	7	39 51	500	310	190
3 30	3	10	31 2	310	250	60
4 30	1	10	21 15	140	140	0
5 30	0	10	11 6	37	37	0
6 30	—	5	0 54	5		
			Lichtsumme	227	S_d 97	S_s 127
		16. Sept. 1905				
7h	0	9	12° 26′	62	62	0
8	0	9	22 58	192	192	0
9	3—4	7 cu st	31 31	560	420	140
9 30	2—3	5 „	35 24	560	420	140
10	4	5 „	39 16	690	420	270
11	1	7 „	44 36	420	420	0
11 30	4	5 st	45 33	850	500	350
12 40	3—4	6 st ni	45 14	850	620	230
1	0	9 st	44 36	420	420	0
1 05	2—3	9	44 9	550	500	50
2	2—3	8 st Nebel	39 16	440	420	20
3	0	9 „ „	31 31	310	310	0
4 30	0	10 „ „	27 12	100	100	0
			Lichtsumme	176	S_d 136	S_s 40
		19. Sept. 1905				
7h	0	10² Regen	11° 35′	21		
8	0	10° Nebel	21 30	250		
9	1	10	30 35	350		
10	1	5 Nebel cicu st	38 13	350		
11	0	10	43 30	310		
11 30	0	10 Regen	44 26	125		
12 30	0	10 „	45 18	250		
2	3	5	38 13	440		
3	0	8 Nebel	30 35	125		
4	0	5 „ ci st	21 30	167		
4 30	0	7	16 32	62		
			Lichtsumme	102		

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		24. Sept. 1905				
8h 30	0	10² Schnee	24° 31′	83		
9 30	0	10² „	32 46	180		
10 30	0	10² „	39 6	140		
11 30	0	10² „	42 35	180		
12	0	10¹ „	43 30	350		
12 30	0	10² „	42 35	100		
1	0	10¹ Regen	41 41	280		
2	0	10² „	36 31	69		
3	0	10² „	29 1	109		
4	0	10² „	20 2	100		
5	—	10² „	10 14	11		
5 15	—	10² „	7 38	10		
5 30	—	10² „	5 2	10		
5 45	—	10² „	2 26	4		
			Lichtsumme	63		
		26. Sept. 1905				
7h	3	2	9° 37′	111	100	11
8	1	7°	19 26	250		
9	1	6°	28 21	310		
10	0	10°	35 47	500		
12	1	10°	42 37	500		
1	1	10°	40 53	360		
3	0	8	28 21	83		
4	0	10	19 26	69		
5	—	10 Nebel, Regen	9 37	21		
			Lichtsumme	92		
		7. Okt. 1905				
7h 20	0	7°	9° 38′	83	83	0
8	3	5°	16 1	148	125	23
9	3	5°	24 45	440	250	190
10	4	1°	31 54	500	—	—
11	3	3	36 42	320	250	70
12	4	1	38 23	620	180	440
1	3—4	1	36 42	440	140	300
2	4	1	31 54	550	167	383
3	4	1	24 45	370	114	256
4	⊙ unter	1	16 1	100		
5		1	6 27	42		
			Lichtsumme	151	S_d 71	S_s 80
		8. Okt. 1905				
8h 20	3	4 cicu	18° 37′	111	100	11
9	2	9 „	24 25	310	310	0
10	3	3 „	31 30	370	208	162
11	4	1	36 17	440	170	270

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		8. Okt. 1905				
12h	4	6° cicu	37° 59′	650	310	340
1	3	9°	36 17	370	250	120
2	3—4	9 cu st	31 30	370	310	60
3	1	10	24 25	280	280	0
4	—	6	15 43	125		
5	—	5	6 7	38		
			Lichtsumme	128	S_d 88	S_s 40
		18. Okt. 1905				
7h	☉ noch nicht aufgegang.	0	3° 23′	28		
7 10	4	0	4 57	28	28	0
7 30	4	0	8 6	37	36	1
8	4	0	12 48	74	50	24
8 30	4	0	17 3	185	69	116
9	4	0	21 18	202	76	126
9 30	4	0—1	24 44	222	82	140
10	4	1	28 11	235	89	146
10 30	4	1	30 25	280	125	155
11	4	2 Streifen in S u. N	32 38	400	190	210
11 30	4	3° „	33 27	480	250	230
12	3	6°	34 17	370	280	90
12 30	3	7°	33 27	490	360	130
1	3—4	9°	32 38	480	310	170
1 30	3—4	6°	30 25	440	280	160
2	3—4	5°	28 11	440	280	160
2 30	4	4°	24 44	460	260	200
3	3	3°	21 18	280	125	155
3 30	4	3°	17 3	225	125	100
3 45	—	3°	14 55	139		
4	—	3°	12 48	125		
4 30	—	1°	8 6	83		
5	—	1°	3 23	41		
5 30	—	1°		6		
			Lichtsumme	116	S_d 68	S_s 48
		15. Nov. 1905				
8h	4	0	5° 48′	83	83	0
8 30	4	0	9 47	185	132	53
9	4	0	13 47	202	139	63
9 30	4	0	16 54	247	157	90
10	4	1°	20 0	280	167	113
10 30	4	2°	22 3	280	125	155
11	4	2°	24 6	440	125	315
11 30	3—4	2°	24 48	400	240	160
12	3—4	3°	25 29	330	223	107
1	0	8°	24 6	310	310	0
2	3	9°	20 0	320	230	90

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			15. Nov. 1905			
2h 30	1	8°	16° 54′	250	250	0
3	⊙ unter	8°	13 47	190		
3 30		8°	9 47	125		
4		8	5 48	62		
4 45		8		12		
			Lichtsumme	93	S_d 64	S_s 29
			25. Nov. 1905			
8h	⊙ noch nicht aufgegang.	0	3° 56′	25		
8 30	4	0	7 48	50	—	—
9	4	0	11 41	156	83	73
9 30	4	0	14 44	230	104	126
10	4	0	17 47	270	107	163
10 30	4	0	19 42	280	110	170
11	4	0	21 37	290	117	173
11 30	4	0	22 18	300	125	175
12	4	0	23 0	300	130	170
1	4	0	21 37	285	115	170
2	4	0	17 47	208	100	108
2 30	4	0	14 44	200	83	117
2 35	⊙ unter	0	14 14	83		
3		0	11 41	80		
4		1	3 56	41		
4 30		2		15		
			Lichtsumme	76	S_d 38	S_s 38
			3. Dez. 1905			
9h	4	0	10° 28′	83	50	33
10	4	0	16 30	250	83	167
11	4	0	20 15	290	100	190
12	4	0	21 31	330	147	183
1	4	0	20 15	310	113	197
2	2—3	0—10 leicht Nebel	16 30	180	180	0
3	⊙ unter	10 Nebel	10 28	62		
			Lichtsumme	63	S_d 31	S_s 32
			5. Dez. 1905			
8h	—	0	2° 11′	31		
8 20	4	0	4 52	70	41	29
8 45	4	0	8 13	104	68	36
9 45	4	0	14 44	210	95	115
10 45	4	0	19 4	330	140	190
11 30	4	0	20 40	340	143	197
12	4	0	21 14	350	163	187
12 45	4	0	20 20	340	130	210
1 45	4	0	17 10	280	110	170

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			5. Dez. 1905			
2h 15	4	0	14° 44′	208	102	106
2 25	⊙ unter	0	13 44	95		
3		0	10 14	62		
			Lichtsumme ca.	72	S_d 33	S_s 39
			6. Dez. 1905			
8h 20		0	5° 1′	40		
9	4	0	10 5	125	71	54
10	4	0	16 3	208	95	113
11	4	0	19 49	230	102	128
12	4	0	21 6	271	123	148
1	4	0	19 49	250	102	148
2	4	0	16 3	178	88	90
2 30	4	0	13 4	145	62	83
2 40	⊙ unter	0	12 4	55		
3		1	10 5	48		
4		1	2 30	26		
4 30		1		7		
			Lichtsumme	60	S_d 29	S_s 31
			8. Dez. 1905			
8h	—	0	2° 18′	24		
8 15	—	1	4 12	48		
8 30	4	1	6 5	56	42	14
9	4	1	9 52	125	80	45
10	4	1	15 48	208	95	113
11	4	1	19 38	310	116	194
12	3—4	1	20 52	283	134	149
1	3—4	1	19 38	208	110	98
2	3—4	1	15 48	210	95	115
2 30	3—4	2	12 50	208	95	113
2 40	⊙ unter	2 ci st	11 50	102		
3		3 weiss schimmernd	9 52	110		
4		5°	2 18	48		
4 30				14		
			Lichtsumme	68	S_d 34	S_s 34
			9. Dez. 1905			
9h	0	9	9° 47′	125		
10	0	9	15 45	227		
10 30	0	9	17 38	238		
11	0	9	19 31	310		
12	0	7	20 46	272		
1	2—3	9	19 31	330	310	20
2	2	5	15 45	310		
2 30	1	6	12 46	220		
3	—	6	9 47	200		
4	—	6	2 15	62		
4 30	—	7		10		
			Lichtsumme	77		

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		10. Jan. 1906				
8h	—	3 cicu	2° 47′	50		
8 30	2	4 cicu	6 35	104		
9	2	6°	10 24	208		
10	4	2	16 25	450	187	263
11	3—4	1	20 14	480	187	293
12	3—4	2	21 30	450	155	295
1	4	1 im Engadin	20 14	450	155	295
2	3—4	1	16 25	370	155	215
2 30	—	2 st	13 25	139		
3	—	1	10 24	125		
3 30	—	1	6 35	83		
4	—	1	2 47	62		
4 30	—	1		6		
			Lichtsumme	110	S_d 53	S_s 57
		11. Jan. 1906				
8h	—	1	2° 50′	41		
8 30	3—4	1	6 40	156	104	52
9 10	3	1	11 30	125	88	37
10	3	3 st cicu	16 31	178	125	53
11	2	7° st im Puschl., ci Nebel	20 20	310		
12	2	10° dünner Nebel	21 37	420		
1	1	10°	20 20	220		
2	0	10	16 31	208		
3	—	9	10 30	104		
4	—	6°	2 50	31		
			Lichtsumme	68	S_d 62	S_s 6
		12. Jan. 1906				
7h 30	—	1 st im Puschl.		4		
8	—	1	3° 2′	36		
8 30	3	1	6 50	104	104	0
9	3—4	1	10 39	250	125	125
10	2	2—10° feiner Dunst	16 12	310	310	0
11	2—3	2—10°	20 30	380	270	110
12	2—3	2—10°	21 47	340	230	110
1	2—3	2—10°	20 30	310	250	60
2	2	10°	16 12	178		
3	—	10°	10 39	125		
4	—	10	3 2	21		
			Lichtsumme	81	S_d 64	S_s 17
		15. Jan. 1906				
7h 30	—	0		14		
8	—	0	3° 26′	47		
8 05	4	0	4 4	96	96	0
8 30	4	0	7 16	170	100	70
9	4	0	11 6	200	100	100

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			15. Jan. 1906			
10^h	4	0	17° 8′	380	133	247
11	4	0	21 2	420	143	277
12	4	0	22 18	420	143	277
1	4	0	21 2	380	125	255
2	4	0	17 8	280	125	155
2 29	4	0	14 13	200		
2 31	—	0	14 1	111		
3	—	0	11 6	100		
4	—	0	3 26	33		
			Lichtsumme	95	S_d 39	S_s 56
			16. Jan. 1906			
8^h			3° 33′	50		
9	2	1—10°	11 17	125		
10	2	2—10°	17 22	100		
11	3	2—10°	21 13	250	167	83
12	2—3	1—10°	22 29	250	220	30
1	3—4	3	21 13	330	200	130
2	4	2	17 22	250	125	125
3	—	1	11 17	83		
3 30	—	1	7 25	50		
4	—	1	3 33	22		
			Lichtsumme	61	S_d 46	S_s 15
			20. Jan. 1906			
7^h 40	—	10	1° 20′	17		
8	—	10°	4 14	40		
9	1	10	11 59	143		
10 30	1	10	20 2	208		
11	0—1	10	22 0	208		
12	2—3	9	23 18	200	167	33
1	2	5	22 0	152		
2	3—4	3°	18 5	200	100	100
3	—	3	11 59	67		
			Lichtsumme	52		
			11. Febr. 1906			
7^h 35	4	2^{0-1} Federw.	5° 0′	55		
8	4	2^{0-1}	9 0	96		
9	4	1^1	17 12	167	110	57
10	4	4^1	23 42	265	175	90
11	4	3^1	27 55	330	160	170
12	4	4^1	29 22	460	210	250
1	3—4	7^1	27 55	330	160	170
2	3—4	7^1	23 42	215	150	65
3	2—3	6^1	17 12	167	133	34
			Lichtsumme	87	S_d 52	S_s 35

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			18. Febr. 1906.			
7^h	—	1	1° 32′	60		
8	4	1	10 51	167	133	34
9	4	0—1	19 10	240	160	80
10	4	0	25 49	390	200	190
11	4	0	30 15	500	225	275
12	4	0	31 45	600	260	340
1	4	0	30 15	450	220	230
2	4	1	25 49	410	208	202
3	2—3	3^{0-1}	19 10	260	185	75
4	—	5^{0-1}	10 51	125		
4 30	—	5^{0-1}	6 11	56		
			Lichtsumme	135	S_d 76	S_s 59
			21. März 1906			
7^h	1	10^1	10° 17′	105		
8	1—2	10^1	20 10	175		
9	1	10^1	29 11	280		
10	0—1	10^1	36 40	330		
11	0—1	10^1	41 45	380		
12	0—1	10^1	43 35	500		
1	0—1	10^1	41 45	380		
2	0—1	10^1	36 40	290		
3	0—1	10^1	29 11	190		
4	0	10^1	20 10	152		
5	—	10^1	10 17	60		
6	—	10^1	0	4		
			Lichtsumme	119		
			28. März 1906			
7^h	4	1	12° 19′	73	60	13
8	4	0—1	22 16	160	96	64
9	4	0—1	31 23	330	130	200
10	4	0—1	39 08	430	150	280
11	4	0—1	44 23	480	180	300
12	4	0—1	46 19	600	200	400
1	4	0—1	44 23	450	170	280
2	4	1	39 08	410	150	260
3	4	1	31 23	340	130	210
4	4	1	22 16	220	90	130
5	4	1	12 19	73	60	13
6	—	1	1 57	41		
			Lichtsumme	150	S_d 60	S_s 90
			12. April 1906			
6^h	4	0	6° 05′	91	76	15
7	4	0	16 27	230	130	100
8	4	0	26 33	380	180	200
9	4	0	36 03	600	230	370

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		12. April 1906				
10h	4	1⁰⁻¹	44⁰ 13′	640	240	400
11	4	1⁰⁻¹	49 57	700	250	450
12	4	1⁰⁻¹	52 10	830	260	570
1	4	1⁰⁻¹	49 57	700	260	440
2	4	1⁰⁻¹	44 13	600	200	400
3	2	5⁰⁻¹	36 03	260	260	0
4	4	3⁰⁻¹	26 33	360	160	200
5	3	3⁰⁻¹	16 27	122	96	26
6	—	5¹	6 05	40		
			Lichtsumme	231	S_d 99	S_s 132
		4. Mai 1906				
5h 40	4	0	8⁰ 08′	150	100	50
6 40	4	0	18 08	450	200	250
7	4	0	21 33	530	230	300
8	4	0	31 51	830	260	570
9	4	0	41 41	1130	300	830
10	4	1 ci im Eng.	50 29	1130	300	830
11	4	1	56 52	1220	330	890
12	4	1	59 18	1390	400	990
1	4	1	56 52	1300	370	930
2	4	1	50 29	910	350	560
3	4	1	41 41	700	300	400
4	4	1	31 51	600	210	390
5	4	1	21 33	350	140	210
5 30	4	1	16 26	260	130	130
6	4	1	11 20	220	110	110
6 05	—	1	10 30	90		
6 30	—	1	6 22	45		
7	—	1	1 24	2		
			Lichtsumme	455	S_d 145	S_s 310
		5. Mai 1906				
5h 10	—	1		61		
5 40	3—4	4⁰ Feine Streifen	8⁰ 14′	140	107	33
6	3—4	3⁰ „ „	11 34	260	130	130
7	3—4	3⁰ „ „	21 50	450	300	150
8	3—4	3⁰ „ „	32 06	700	360	340
9	4	1⁰	41 52	900	450	450
10	4	1⁰ cu im Puschl.	50 42	1130	450	680
11	4	3. „ „ u. Eng.	57 08	1130	500	630
12	3—4	5	59 35	1130	500	630
1	4	4 cu	59 08	1300	610	690
2	2—3	6 „	50 42	900	700	200
3	3	5	41 52	610	360	250
4	3—4	8⁰	32 06	450	300	150
5	3—4	6	21 50	360	230	130
6	0	9	11 34	90	90	0
			Lichtsumme	395	S_d 210	S_s 185

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		12. Mai 1906				
4^h 50	—	2^2	1° 22′	30		
5 15	—	2	5 30	45		
5 30	3	2	8 0	72	72	0
5 40	4	1	9 40	230	122	108
6	4	1	12 57	300	122	178
7	4	1	23 9	450	180	270
8	4	1^1	33 24	830	230	600
9	4	3^1	43 21	1010	300	710
10	4	3^1 cu	52 15	1130	330	800
11	3—4	4 cu nahe Sonne	58 57	830	300	530
12	3—4	8	61 30	1520	720	790
1	0	10^1	58 57	610	610	0
2	4	4^1	52 15	1130	390	740
3	4	3^1	43 21	830	300	530
4	4	3^1	33 24	760	250	510
5	4	3^1	23 9	610	170	440
6	4	7 ni	12 57	360	170	190
6 05	4	7	12 7	250	140	110
6 15	4	7	10 29	180	108	72
6 30	—	7	8 0	72		
6 40	—	9^1	6 20	45		
7 10	—	9^0	1 22	10		
			Lichtsumme	436	S_d 167	S_s 269
		14. Mai 1906				
7^h	4	0	23° 30′	500	230	270
8	4	0	33 47	760	260	500
9	4	0—1	43 47	1220	360	860
10	4	2 cu	52 38	1390	400	990
11	4	3 nahe an Sonne	59 24	1520	500	1020
12	4	3 am Horizont	62 0	1600	450	1150
1	4	2	59 24	1520	330	1190
2	1	3^2	52 38	300	300	0
3	0	9^2	43 47	150	150	0
4	0	10^2	33 47	230	230	0
5	1	7^1	23 30	230	230	0
6	3—4	3^0	13 17	130	91	39
6 30	—	2	8 20	45		
			Lichtsumme	400	S_d 150	S_s 250
		18. Mai 1906				
7^h	0	10^2 ≡ ●	24° 12′	60		
8	0	10^2 ≡	34 27	139		
9	0	10^2 ≡	44 24	300		
10	0	10^1 ≡	53 27	300		
11	1	10^1 ≡	60 18	450		
12	1	10^1 Riesel	62 59	530		

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		18. Mai 1906				
1h	1	8	60° 18′	430		
2	1	8¹	53 27	450		
3	1	9	44 24	360		
4	0	10¹	34 27	300		
5	0	10¹	24 12	150		
6	0	10¹	14 0	100		
6 30	0	10² Riesel	9 4	40		
7	—	10² „	4 8	30		
			Lichtsumme	150		
		19. Mai 1906				
7h	1	10 ✳	24° 17′	180		
8	0	10 ✳	34 36	350		
9	0	10 ✳	44 36	480		
10	0	10 ✳	53 34	550		
11	0	10 ✳	60 30	550		
12	0	10 ✳	63 13	650		
1	0	10 ✳	60 30	350		
2	0	10 ✳	53 34	340		
3	0	10 ✳	44 36	350		
4	0	10 ✳	34 36	230		
5	0	10 ✳	24 17	170		
6	0	10 ✳	14 11	75		
			Lichtsumme	178		
		28. Mai 1906				
6h 30	0	10	20° 25′	180		
7	0	10	25 30	300		
8	1	10	35 48	560		
9	1	9	45 52	720		
10	2	9	55 6	670		
11	0	9	62 8	610		
12	0	9	64 59	670		
1	0	9	62 8	670		
2	1	8	55 6	500		
3	1	7	45 52	450		
4	2	5	35 48	410		
5	4	3	25 30	600	220	380
6	4	2	15 21	360	140	220
7	0	1²	5 36	90		
			Lichtsumme	283		
		29. Mai 1906				
6h	4	1 Streifen	15° 31′	250	150	100
7	4	1	25 40	600	200	400
8	4	1	35 59	820	260	560
9	4	2	46 0	1300	300	1000

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
		29. Mai 1906.				
10^h	3—4	4^0	55° 15′	1200	410	790
11	4	4^0	62 21	1300	400	900
12	4	4^1 Zenith frei	65 9	1500	440	1060
1	4	3^1	62 21	1380	420	960
2	4	3^1	55 15	1120	320	800
3	4	5^1	46 0	1070	360	710
4	4	6^1	35 59	820	310	510
5	4	5^1	25 40	450	180	270
6	4	4^2	15 31	300	150	150
			Lichtsumme	505	S_d 205	S_s 300
		8. Juni 1906.				
6^h	4	0	16° 24′	150	90	60
7	4	0	26 31	440	110	330
8	4	0	36 54	600	160	440
9	4	0	47 0	640	180	460
10	4	0	56 18	670	200	470
11	4	0—1	63 34	1000	200	800
12	4	1	66 24	1200	200	1000
1	3—4	3^0	63 34	760	200	560
2	4	4^0	56 18	1000	180	820
3	1	7^1	47 0	320	320	0
4	2	7^1	36 54	350	350	0
5	3	9^2	26 31	390	220	170
6	0	9^2	16 24	35	35	0
7	0	9^2	6 45	30	30	0
			Lichtsumme	316	S_d 103	S_s 213
		4. Juli 1906				
7^h 30	0	10^2	31° 50′	90		
8	0	10	37 0	150		
9	0	10	47 6	200		
10	0	10 Regen	56 29	250		
11	0	10 „	63 42	200		
12	0	10 „	66 32	350		
1	0	10 „	63 42	350		
2	3	10 „	56 29	900	500	400
3	0	10	47 6	220		
4	0	10	37 0	120		
5	1	10	26 38	184		
6	1	10	16 31	92		
7	0	10	6 47	23		
			Lichtsumme	122		
		6. Juli 1906				
7^h 30	0	10 Regen	26° 30′	180	180	0
8	3	10 „	36 53	760	530	230
9	2—3	10	47 0	640	640	0

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			6. Juli 1906			
10^h	1	10 Wind	56° 18′	560	560	0
11	3	7 „	63 30	900	600	300
12	3	7 „	66 23	900	600	300
1	2	8 „	63 30	640	640	0
2	4	6	56 18	1120	450	670
3	4	5	47 0	760	300	460
4	1	8 Regen	36 53	250	250	0
5	2	7 schön	26 30	180	180	0
6			16 23			
7	—	5	6 39	40		
			Lichtsumme	293	S_d 211	S_s 82
			7. Juli 1906			
6^h 30	4	1	21° 21′	300	100	200
7	4	1	26 25	440	110	330
8	4	2	36 45	640	160	480
9	3	7°	46 53	830	530	300
10	3—4	7°	56 15	900	450	450
11	3	5¹	63 24	760	430	330
12	3	5¹	66 16	900	540	360
1	4	4	63 24	1500	420	1080
2	3—4	6	56 15	900	340	560
3	3	6	46 53	600	340	260
4	0	6	36 45	260	260	0
5	0	5	26 25	200	200	0
6	4	4	16 17	200	100	100
7	—	4	6 33	60		
			Lichtsumme	354	S_d 177	S_s 177
			8. Juli 1906			
8^h	2—3	10	36 42	500		
9	0—1	10	46 47	440		
10	2—3	10	56 6	800		
11	0	10	63 17	450		
12	2	10	66 19	900		
1	1	10	63 17	450		
2	0	10	56 6	400		
3	1	8	46 47	300		
4	2	8	36 42	450		
5	1—2	8	26 23	300		
6	0	7	16 15	140		
7	—	5	6 30	80		
			Lichtsumme	217		
			9. Juli 1906			
6^h	4	2	16° 11′	220	143	77
7	4	1	26 15	430	215	215
8	4	1	36 38	550	250	300

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			9. Juli 1906			
9^h	3—4	3	46° 12′	660	330	330
10	4	5	56 0	850	330	520
11	1	9	63 11	500	500	0
12	3—4	9	66 2	1000	500	500
1	0	10	63 11	200	200	0
2	0	10	56 0	280	280	0
3	1	10	46 12	300	300	0
4	1—2	9	36 38	280	280	0
5	0	9	26 15	165	165	0
6	0	6	16 11	117	117	0
7	—	8	6 21	61		
8	—	3	—	2		
			Lichtsumme	234	S_d 153	S_s 81
			8. Aug. 1906			
7^h	4	0	22° 0′	210	70	140
8	4	1	32 14	550	110	440
9	4	1	42 6	840	140	700
10	4	1	50 48	900	150	750
11	4	1	57 24	1100	180	920
12	4	2	59 54	1190	200	990
1	4	2	57 24	1100	190	910
2	4	2	50 48	960	160	800
3	4	2	42 6	700	120	580
4	4	2	32 14	450	90	360
5	4	2	22 0	320	75	245
6	4	1	11 44	110	55	55
			Lichtsumme	351	S_d 106	S_s 245
			12. März 1907			
8^h 15	4	1	19° 35′	300	120	180
9	4	2	26 7	500	170	330
10	4	2	33 20	600	230	370
11	3—4	3	38 18	710	300	410
12	4	3	40 3	760	330	430
1	3—4	4	38 18	710	360	350
2	3—4	7°	33 20	600	360	240
3	3—4	7°	26 7	450	260	190
4	3	5	17 22	260	180	80
5	—	3	7 40	130		
			Lichtsumme	S_g 209	S_d 102	S_s 107
			11. Mai 1907			
5^h	—	0	2° 54′	53		
5 30	—	0	7 50	100		
5 35	4	0	8 40	113	108	5
6	4	0	12 46	180	140	40

Stunde	Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
			11. Mai 1907			
7h	4	0	22° 58′	430	190	240
8	4	0	33 15	600	260	340
9	4	0	43 8	710	300	410
10	4	0	52 3	910	360	550
11	4	0	58 42	910	380	530
12	4	0	61 15	1100	470	630
1	4	1	58 42	910	380	530
2	4	1	52 3	830	310	520
3	4	2	43 8	710	290	420
4	4	3	33 15	570	260	310
5	4	2	22 58	340	200	140
6	4	1	12 46	120	90	30
6 20	4	1	9 29	72	72	0
6 30	—	1	7 50	53		
6 45	—	1	5 22	30		
7	—	1	2 54	18		
			Lichtsumme	S_g 350	S_d 154	S_s 196

Carvatschkurve 20. Juli 1905

Stunde	Ort		Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
4h 30	Corvatsch Schneefeld	2800 m	4		0° 20′	44	44	0
5	„ „	3000 m	4		5 11	88	42	46
5 30	„ „	3200 m	4		10 6	220	83	137
6	„ „	3400 m	4		15 5	370	90	280
6 30	„ Gipfel	3442 m	4		20 4	440	110	330
7 10	„ „		4		26 50	650	170	480
8	„ „		4		35 25	740	210	530
9	„ „		4		45 29	830	230	600
9 40	„ „		4		51 16	1240	250	990
11 30	Surlejweg	2600 m	4		63 0	1240	190	1050
1 15	„	2300 m	4		56 0	1390	210	1180
2 30	Roseg Talsohle	2000 m	4		49 48	1390	210	1180
5	Strasse ob Pontresina	1850 m	4		25 7	580	110	470
6 30	Strasse vor Berninahospiz	2280 m	4		10 6	440		

Diavolezzakurve 9. Aug. 1905

6h 15	Val d'Arlas S-O-hang	4	14° 6′	320	83	237
9	Diavolezzagletscher	4	41 53	740	190	550
10 30	„ alp	4	53 52	850	310	540
11	Persgletscher	4	57 6	920	310	610
12 30	Isla Persa	4	58 21	850	250	600
2 15	Morteratschgletscher	4	49 26	690	140	550
3	„	3—4	41 53	550	130	420

Stunde	Ort		Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
	Diavolezzakurve 30. Aug. 1905 mit Sonnenfinsternis							
7h	Hospizdach		4		17° 2′	320	110	210
7 30	Strasse		4		22 7	370	130	240
8	Arlas Osthang		4		27 11	580	170	410
8 30	„ S-E-hang		4		31 56	580	170	410
9	Diavolezzasee		4		36 42	650	190	460
9 30	„ S-E-grat		4		40 48	690	210	480
10	„ gletscher		4		44 53	850	—	—
10 30	„	2977 m	4		47 48	1010	280	730
11	„	„	4		50 44	1110	230	880
11 30	Persgletscher		4		51 46	1240	230	1010
12	Isla Persa		4		52 48	1110	210	900
12 30	Morteratschgletscher		4		51 46	920	190	730
1	„		Beginn der		50 44	920	—	—
1 10	„		Sonnenfinst.		49 45	740	210	530
1 40	„				46 50	370	130	240
1 50	„				45 51	250	100	150
2	„		Max. der					
2 10	„		Sonnenfinst.		43 20	200	85	115
2 17	„		3—4		42 27	200	85	115
2 30	„		3—4		40 48	185	85	100
3 20	Montebello		2		33 32	185	113	72
3 40	Berninahäuser	2050 m	4		30 22	440	113	327
4 10	„		4		25 23	310	—	—
4 40	Berninastrasse	2100 m	4		20 25	185	85	100
6 10	Hospizdach		—		5 6	42		
	Diavolezzakurve 17. Sept. 1905							
7h	Hospiz		4	1	12° 7′	185	100	85
7 30	„		4	1	17 7	280	125	155
8 30	Arlas		4	1	26 40	440	170	270
9	Diavolezzasee		4	1	31 14	610	180	430
9 30	„ grat		4	1	35 4	850	250	600
10	Diavolezza	2977 m	4	1	38 54	850	250	600
11	„	„	4	2°	44 14	850	250	600
1	Hospizdach		4	3°	44 14	790	280	510
2	Hospiz		3	5°	38 54	440	280	160
3	„		4	3° cicu	31 14	480	180	300
4	„		4	1∞	22 6	440	170	270
4 30	„		4	0	17 7	280	140	140
5	„		—	1°	12 7	100		
5 30	„		—	1° st	6 57	55		
13. Juli	9h 30 Diavolezza		4		50 57	1590	590	1000
16. Juli	9 45 Piz Languard		4		52 56	1240	230	1010
28. Aug.	10 „ „		4		45 30	650	170	480
	Morteratschkurve 17. Juli 1906							
4h 30	Morteratsch-Terrasse	3060 m	—	0	0° 26′	25		
5 30	Kleiner Grat	3400 m	4	0	10 25	250	55	195

Stunde	Ort		Sonne	Bewölkung	Sonnenhöhe	Lichtintensität gesamte	diffuse	direkte
6h 30	Piz Morteratsch	3754 m	4	0	20° 24′	420	80	340
7 15	„ „		4	0	28 4	660	110	550
8 45	Piz Tschierva	3564 m	4	0	43 19	1120	150	970
9 45	Sattel	3360 m	4	0	52 43	1280	160	1120
11	Bovalgletscherfuss	3080 m	4	1	62 5	850	140	710
12	Bovalhütte	2460 m	4	1	64 53	850	170	680
1 30	„		2	2	58 33	500	500	0
2 30	Bovalweg	2200 m	4	3	50 25	960	280	680
3 20	Morteratsch-Wirtshaus	1900 m	4	4	42 29	840	210	630
4 30	Punt Rantumas	1850 m	4	3	30 39	640	160	480
	Lagalpkurve 6. Aug. 1906							
5h 30	Hospizdach		4	0	7° 12′	160	60	100
7 30	Furcla Minor		4	0	27 33	360	95	265
10	Piz Lagalp	2962 m	4	0	51 20	840	140	700
11	„ „		4	0	57 59	1000	170	830
12	„ „		4	0	60 29	1120	180	940
1	Alp Minor	2600 m	4	0	57 59	840	140	700
2	Am Lagalp	2400 m	4	0	51 20	650	130	520
3	Hospizdach		4	0	42 33	450	100	350
4	„		4	0	32 42	400	90	310
5	„		4	0	22 24	330	75	255
6	„		4	0	12 9	165	55	110
7	„		—	0	2 15	24		
	Diavolezzakurve 11. Aug. 1906							
5h 15	Hospizdach		—	4	3° 42′	42		
6	„		4	2	11 11	270	90	180
7	Arlashang		4	4	21 26	540	180	360
8	Diavolezzasee		3	6	31 10	660	270	390
9	Diavolezzagletscher		3	7	41 29	660	330	330
10	Diavolezza	2977 m	2	9	50 11	660	660	0
11	Munt Pers	3211 m	0	10	56 36	330	330	0
12	„ „		0	10	59 0	400	400	0
1	Diavolezza	2977 m	2	9	56 36	800	800	0
1 15	„		4	4	55 0	1340	540	800
2	Persgletscher		0	10	50 11	330	330	0
3	Morteratschgletscher		1	10	41 29	660	660	0
4	„		0	9	31 10	330	330	0
	Diavolezzakurve 24. Aug. 1906							
5h 30	Hospizdach		—	0	3° 4′	48		
6	Lej Pitschen		4	0	8 12	110	65	45
7	Diavolezzasee		4	0	18 30	410	110	300
8	Diavolezza	2977 m	4	0	28 37	650	130	520
9	Isla Persa		4	0	38 19	840	140	700
10	„		4	1	46 35	900	160	740
11	„		4	3	52 37	1100	220	880
12	Gemsfreiheit	3100 m	4	4	54 53	1100	220	880
1	„	„	3—4	6	52 37	660	220	440
3	Persgletscher		0	9	38 19	110	110	0
4	„		4	7	28 37	410	160	250
5	Isla Persa		3	6	18 30	165	110	55

Zur Veranschaulichung des täglichen Ganges der Lichtintensität dienen die Figuren 7, 8 und 9. Die Kurve des 4. Mai 1906 auf Fig. 7 zeigt uns, was man einen normalen Gang nennen kann, ein Steigen und Fallen der Lichtintensität mit der Sonnenhöhe. Den ganzen Tag herrscht volle Sonne, bis 9 Uhr ist der Himmel völlig wolkenlos, von dann an liegen einige wenige kleine Cirruswölkchen über dem Engadin nahe am Horizont. Die Kurve ist eine ziemlich regelmässige, zwischen 6 und 6^{05} Uhr ist Sonnenuntergang, wodurch das direkte Licht verschwindet und das Gesamtlicht um diesen Betrag stürzt und in den Gang der diffusen Kurve einlenkt.

Auf derselben Figur sehen wir die Kurve eines wolkenlosen Wintertages. Die Intensitäten sind gegenüber den sommerlichen bedeutend geringer; immerhin vermag die Intensität des direkten Lichtes immer noch über die des diffusen zu steigen im Gegensatz zu niederern Seehöhen, wo dies nicht mehr der Fall ist. Der Piz Cambrena im SW des Hospizes bewirkt, dass die Sonne schon um $2^1/_2$ Uhr untergeht, $1^1/_2$ Stunden früher als es bei freiem Horizont der Fall wäre. Der 19. Mai 1906 zeigt uns eine Kurve bei völlig bedecktem Himmel. Es schneite den ganzen Tag ununterbrochen. Die Intensität erreicht mit 650 nicht die Hälfte derjenigen des schönen Tages, 1390, bleibt hingegen doch nicht auf der geringen Zahl des diffusen Lichtes 400 des Sonnentages. Die Wolkenschicht ist zu verschiedenen Tageszeiten sehr verschieden dick. Der Nachmittag zeigt geringere Intensitäten als der Vormittag. Ähnliches zeigt die Kurve des 9. Dez. 1905, am Vormittag gleichmässige Sonnenbedeckung, um 1 und 2 Uhr erhöht die durchscheinende Sonne die Intensität etwas. Der Sonnenuntergang um $2^1/_2$ Uhr kommt bei dieser Bewölkung gar nicht mehr zum Ausdruck. Figur 8 zeigt einen Tag mit abwechselnd Regen und schön Wetter. Grosse sprungweise Unterschiede des gesamten und direkten Lichtes machen sich bemerkbar mit den verschiedenen Sonnenbedeckungen. (Die Sonnenbedeckung ist auf der Kurve jeweilen angegeben.) Bei ziehenden Wolken wechselt das Licht von Minute zu Minute in der Weise, wie es diese Figur nur wenige Male zeigen kann, da die Messungen nur jede Stunde einmal gemacht sind. Eine kleine Wolke, die vor die Sonne tritt, vernichtet das direkte Licht, vermindert das Gesamtlicht bedeutend, aber nicht um den ganzen Betrag des direkten, da die Wolke einen Teil dieses direkten als diffuses weiter gelangen lässt. Die höchsten Intensitäten treten nach Gewittern oder Schneefall ein, die Luft ist gereinigt und klar, während nach längerem schönen Wetter die Lichtintensität durch atmosphärischen Dunst beeinträchtigt ist.

Einen interessanten Fall zeigt Figur 9. Am 30. Aug. 1905 fand eine partielle Sonnenfinsternis statt, die sich prachtvoll beobachten

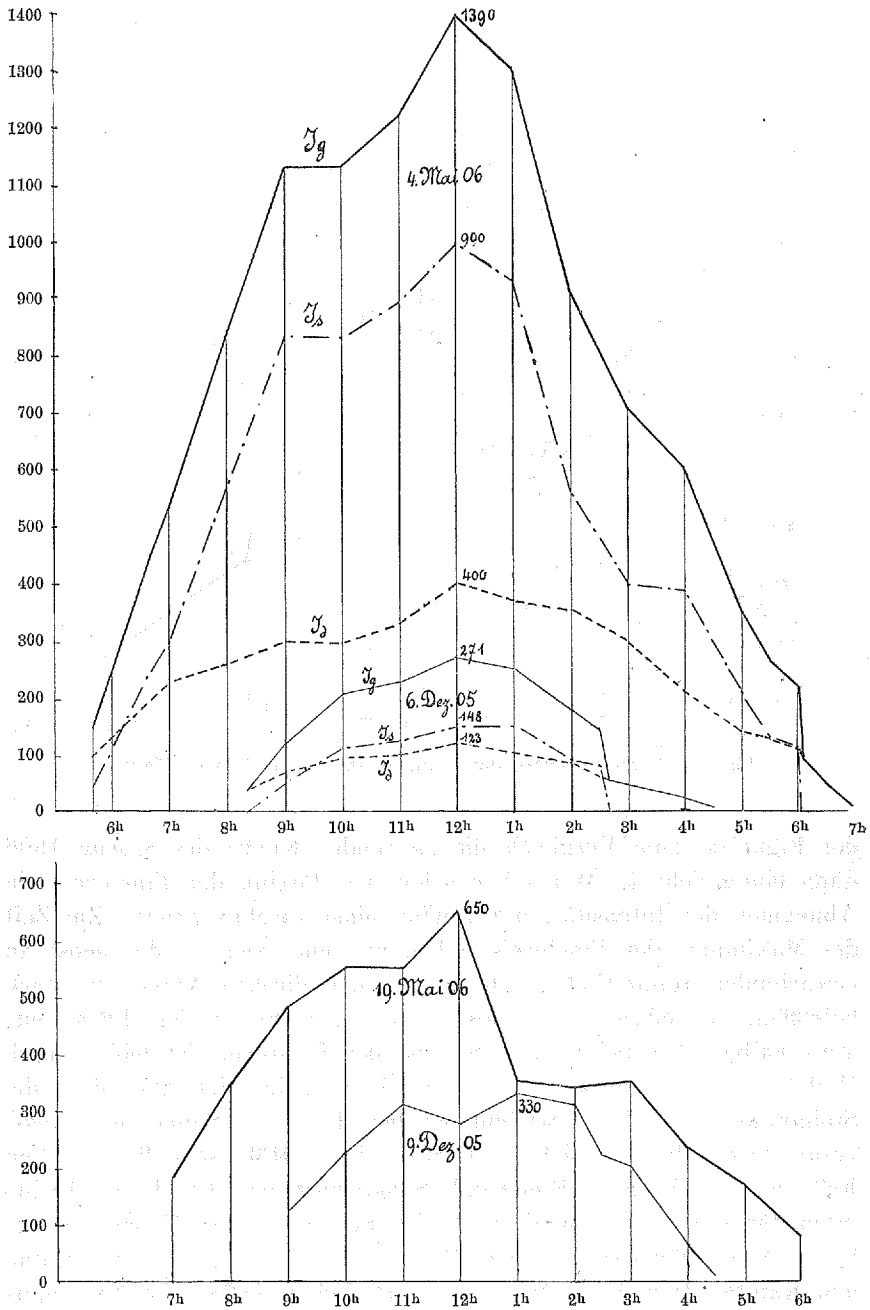

Fig. 7. Tageslichtkurven von zwei sonnigen und zwei bedeckten Tagen.

liess. Ich machte an jenem Tage eine Diavolezzatour und sind die Finsternis-Messungen auf dem Morteratschgletscher ausgeführt. Auf

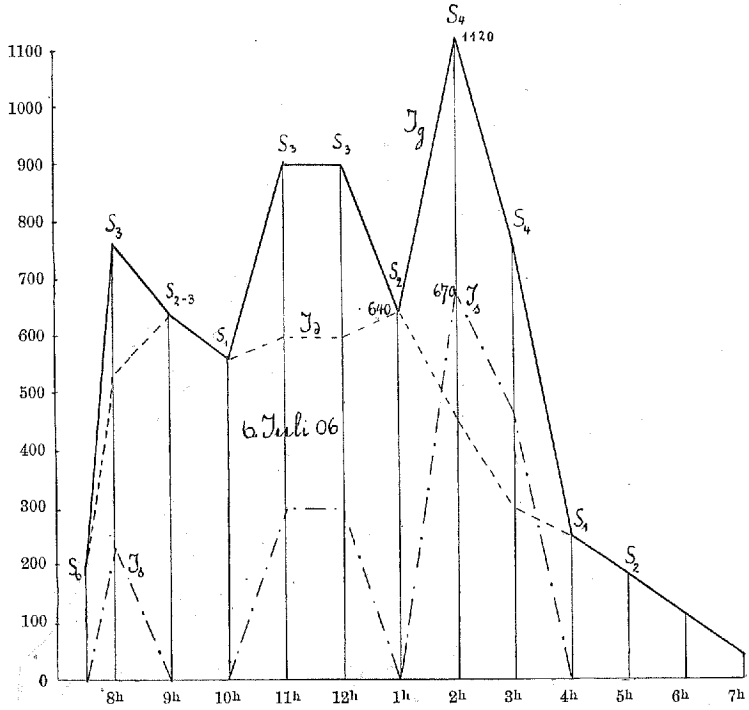

Fig. 8. Tageslichtkurve eines ungleichmässig bedeckten Tages.

der Figur ist zum Vergleich die „normale" Kurve des 8. Aug. 1906 dünn eingezeichnet. Wir sehen schon vor Beginn der Finsternis ein Abnehmen der Intensität, mit Beginn einen raschen Sturz. Zur Zeit des Maximums der Finsternis haben wir nur etwa $^1/_4$ des sonst zu erwartenden Gesamtlichtes, besonders der direkte Anteil ist stark betroffen, er reduziert sich auf etwa $^1/_7$, während das diffuse nur etwa halbiert erscheint. Der Schluss der Finsternis ist leider durch Wolken etwas verdeckt, im diffusen Licht zeigt sich aber doch die Steigerung. 3^{40} Uhr erscheint wieder die volle Sonne und lässt gesamtes und direktes Licht noch einmal in die Höhe schnellen vor dem Erlöschen des Abends. Eine totale Sonnenfinsternis, bei der die Lichtintensität sogar auf 0 sank, beobachteten Roscoe und Thorpe[1]) leider bei nicht gleichmässig schönem Wetter am 22. Dez. 1870 in Catania und Kapitän Herschel[2]) für Roscoe in Indien 1868, aber bei ganz schlechtem Wetter.

---

[1]) Roscoe 1871 S. 467.
[2]) Roscoe 1871 S. 202.

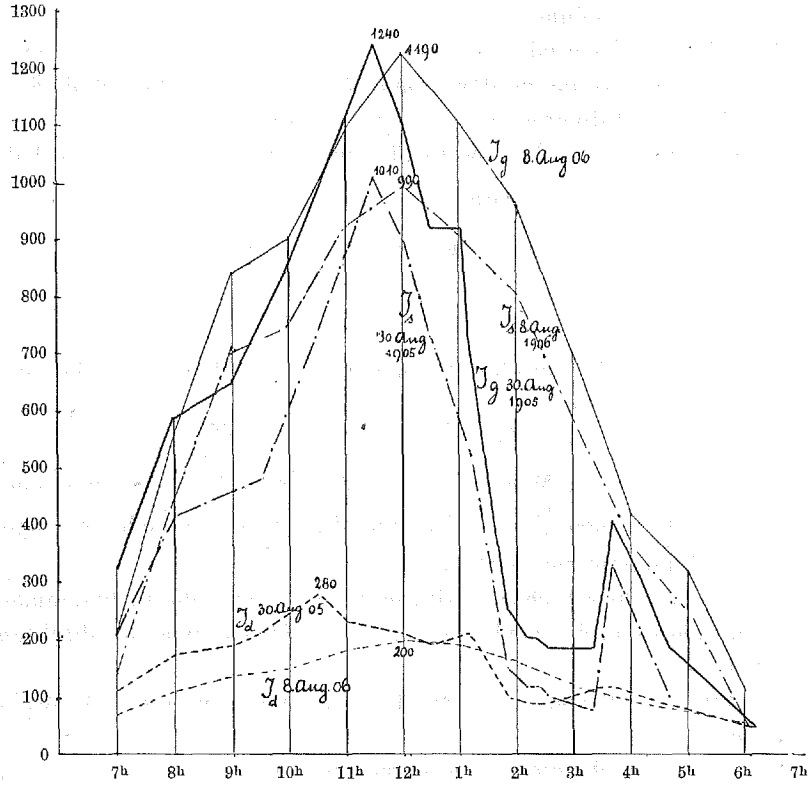

Fig. 9. Tageslichtkurven eines „normalen" sonnigen Tages und eines Tages mit Sonnenfinsternis.

6. Kapitel.

Lichtsummen.

Um ein Mass für die gesamte Quantität des Lichtes zu erhalten, die auf die Pflanzen herniederströmt, bilden wir Lichtsummen. Roscoe hat eine einfache Integrationsmethode gefunden, um aus stündlichen Lichtmessungen die Lichtsumme zu berechnen. Diese Methode wurde von Wiesner, Schwab u. a. angewendet, während neuerdings Steenstrup[1]) einen Summenapparat erfunden hat und Clements Selagraph [1]) zu diesen Zwecken auch verwendet werden könnte.

Die Roscoesche Methode besteht darin, dass man die Fläche bestimmt, welche die Tageskurve der Lichtintensität mit der Abscissenaxe, auf der die Tagesstunden abgetragen sind, bildet. Vergleicht man diese Fläche mit einem Rechteck von der Grundlinie 24 und der

[1]) S. o. unter Methoden der Lichtmessung.

Höhe der Intensitätseinheit und setzt diese Rechteckfläche = 1000, so drückt der resultierende Bruchteil von 1000 die Lichtsumme aus.

Zur Flächenbestimmung dient folgende Rechnung. Die stündlichen Intensitäten als Ordinaten y_0, y_1, y_2 ... aufgetragen bilden mit der Abscissenaxe und der Intensitätskurve Trapeze, deren Inhalt $\frac{y_0 + y_1}{2}$, $\frac{y_1 + y_2}{2}$ usw. ist, woraus für die ganze Fläche f folgt:

$$f = \frac{y_0 + y_1}{2} + \frac{y_1 + y_2}{2} + \frac{y_2 + y_3}{2} \ldots \frac{y_{n-1} + y_n}{2} =$$
$$= \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 \cdots\cdots \frac{y_n}{2}.$$

Aus obigem geht dann die Berechnung der Lichtsumme s hervor:

$$s = \frac{f}{24} = (y_1 + y_2 + y_3 + \cdots) : 24,$$

wobei $y_0 = o$, weil am Morgen früh in der Dunkelheit angenommen, also $\frac{y_0}{2} = o$, wie auch $\frac{y_n}{2} = o$ ist und die übrigen Glieder es sind, die auf die Nachtstunden entfallen.

Wie die einzelnen Lichtintensitäten zerfallen auch die Lichtsummen des Gesamtlichtes in die beiden Anteile des diffusen und des direkten Sonnenlichtes.

Die folgende Tabelle gibt die Lichtsummen von einer Auswahl von Tagen.

S_g = Lichtsumme des Gesamtlichtes
S_d = „ „ diffusen Lichtes
S_s = „ „ direkten Sonnenlichtes.

Tabelle der Lichtsummen.

	Tagesmittel S	Tagesmittel B	Max. Sonnenhöhe	S_g	S_d	S_s	Sonnenscheindauer
22. Aug. 1905	3,3		55° 33′	360	112	248	9,80 Stdn.
1. Sept. „	3,5	3,0	52 4	226	63	163	8,65 „
2. „ „	3,3	3,1	51 44	227	97	127	6,55 „
16. „ „	1,8	7,5	46 30	176	136	40	2,60 „
19. „ „	0,4	8,2	45 18	102	102	0	0,40 „
24. „ „	0,0	10,0	43 30	63	63	0	0,00 „
26. „ „	0,8	8,1	42 37	92	92	0	0,00 „
7. Okt. „	3,1	2,6	38 23	151	71	80	7,65 „
8. „ „	3,4	6,2	37 59	128	88	40	2,90 „
18. „ „	3,8	2,6	34 17	116	68	48	6,80 „
15. Nov. „	3,3	3,0	25 29	93	64	29	4,55 „
25. „ „	4,0	0,0	23 0	76	38	38	6,50 „
3. Dez. „	3,9	0,0	21 31	63	31	32	5,70 „
5. „ „	4,0	0,0	21 14	72	33	39	6,00 „
6. „ „	4,0	0,0	21 6	60	29	31	6,00 „

	Tagesmittel S	Tagesmittel B	Max. Sonnenhöhe	S_g	S_d	S_s	Sonnenscheindauer
8. Dez. 1905	3,7	1,3	20° 52′	68	34	34	5,95 Stdn.
9. „ „	0,6	7,5	20 46	77	77	0	1,25 „
10. Jan. 1906	3,4	2,3	21 30	110	53	57	5,25 „
11. „ „	2,0	5,8	21 37	68	62	6	1,35 „
12. „ „	2,6	5,7	21 47	81	64	17	2,25 „
15. „ „	4,0	0,0	22 18	95	39	56	6,40 „
16. „ „	3,1	5,0	22 29	61	46	15	2,90 „
20. „ „	1,7	7,7	23 18	52	46	6	1,40 „
11. Febr. „	3,8	4,0	29 22	87	52	35	6,70 „
18. „ „	3,9	0,7	31 46	135	76	59	7,60 „
21. März „	0,6	10,0	43 35	119	119	0	0,00 „
28. „ „	4,0	0,7	46 20	150	60	90	10,45 „
12. April „	3,8	1,3	52 10	231	99	132	10,30 „
4. Mai „	4,0	0,7	59 18	455	145	310	12,90 „
5. „ „	3,3	4,4	59 35	395	210	185	9,40 „
12. „ „	3,7	4,3	61 29	436	167	269	10,80 „
14. „ „	2,8	3,4	62 1	400	150	250	8,70 „
18. „ „	0,4	9,3	62 59	150	150	0	1,00 „
19. „ „	0,0	10,0	63 13	178	178	0	0,00 „
28. „ „	1,1	7,2	64 59	283	258	25	5,10 „
29. „ „	4,0	3,3	65 9	505	205	300	11,60 „
8. Juni „	3,0	3,5	66 24	316	103	213	1,90 „
4. Juli „	0,4	10,0	66 32	122	122	0	4,70 „
6. „ „	2,3	8,0	66 23	293	211	82	0,00 „
7. „ „	3,0	4,5	66 16	354	177	177	9,20 „
8. „ „	1,2	8,8	66 10	217	217	0	1,70 „
9. „ „	2,0	6,3	66 2	234	153	81	5,50 „
8. Aug. „	4,0	1,4	59 54	351	106	245	12,90 „
12. März „	3,4	3,7	40 3	209	102	107	
11. Mai „	4,0	0,7	61 15	350	154	196	

Der höchste gefundene Wert ist 505 (29. Mai 06), der niederste 52 (20. Jan. 06); sie verhalten sich wie 1 : 9,7, rund 1 : 10. In Wien betrugen die Extreme 419 (17. Juni 1894) und 6,2 (17. Nov. 1894); ihr Verhältnis ist wie 1 : 68. Die Lichtverhältnisse des alpinen Standorts sind also viel gleichmässigere als die der Grosstadt in der Niederung und beruht dies hauptsächlich darauf, dass das Berninahospiz die sehr dunkeln Wintertage überhaupt nicht kennt, da es höher liegt als ein grosser Teil der verdunkelnden gewaltigen Nebelmassen.

Die folgende Tabelle bietet einen Vergleich der mittleren Tages-Lichtsummen der einzelnen Monate für Wien, Kremsmünster und Berninahospiz, wobei ich noch die Anteile des diffusen und direkten Lichtes berechnet habe. Die Zahlen stammen aus verschiedenen Jahren, sind also nicht absolut direkt vergleichbar: Für Wien diente Juni—Dez. 1893, Jan.—Mai 1894, für Kremsmünster das Jahr 1897, für Berninahospiz Okt.—Dez. 1905, Jan.—Mai 1906, April—Sept. 1907.

Lichtsummen.

	Wien	Kremsmünster	Berninahospiz		
	S_g	S_g	S_g	S_d	S_s
Jan.	15	33	63	47	16
Febr.	40	54	76	60	16
März	62	91	129	82	47
April	145	174	212	162	50
Mai	171	180	285	178	107
Juni	217	341	247	153	94
Juli	274	303	302	160	142
Aug.	253	269	323	159	164
Sept.	151	199	197	119	78
Okt.	60	75	108	70	38
Nov.	26	43	54	51	3
Dez.	16	28	53	37	16
Jahr	119	149	171	107	64
Jan.—Juni	108	145	169	114	55
Juli—Dez.	130	153	173	100	73

Die Verhältnisse vom geringsten zum höchsten Monatsmittel sind für

Wien	15 : 274 = 1 : 18
Kremsmünster	28 : 341 = 1 : 12
Berninahospiz	53 : 323 = 1 : 6

Das oben gesagte von den dunkeln Wintertagen bestätigt sich aufs neue; das Hügelgebiet von Kremsmünster hält die Mitte zwischen dem tiefen nebligen Donautal und der Passhöhe. Das Lichtsummen-Maximum liegt in Wien im Juli, ebenso in Kew[1]) (England) und Fécamp[2]) (Frankr.), in Kremsmünster im Juni, ebenso in St. Petersburg[3]), auf Bernina im August. Doch ist dies jedenfalls nicht jedes Jahr gleich, der ganze August 1907 war prachtvoll, während der ganze Juni und die erste Hälfte Juli schlecht Wetter vorherrschte. Der lichtärmste Monat des Hospizes ist noch entschiedener als in Kremsmünster und Kew der Dezember, indem der Dez. 1905 die niederste Lichtsumme liefert, trotzdem es ein hervorragend schöner Monat war, wie aus dem sehr starken Anteil des direkten Lichtes trotz der niedern Sonnenstände zu ersehen ist. Wien und Fécamp zeigen das Minimum im Januar. Die Lichtsummen des Berninahospizes sind durchweg bedeutend höher als die von Wien und mit geringen Ausnahmen, die wohl der Verschiedenheit der Beobachtungsjahre zuzuschreiben sind, höher als die von Kremsmünster. Am

[1]) Vgl. Anm. S. 211.
[2]) „ „ „ 211.
[3]) „ „ „ 212.

stärksten kommt dies in den Wintermonaten zum Ausdruck. Betrachten wir die Monate Dezember, Januar und Februar, so erhalten wir als Tagesmittel:

Wien	24
Kremsmünster	38
Berninahospiz	64

oder, wenn wir statt des Mittels die Summe der drei Monate nehmen,

Wien	2081
Kremsmünster	3403
Berninahospiz	5724

Besonders hervorzuheben ist der grosse Anteil von direktem Sonnenlicht, im Mittel 16 oder die Summe von 1440. Für die andern beiden Stationen werden diese Faktoren leider nicht angegeben, doch dürfte für Wien die Lichtsumme des direkten Lichts in diesen dunkeln Wintermonaten sich nicht viel über Null erheben und auch der Betrag für Kremsmünster ein ziemlich geringer sein. Auf diesem hohen Betrag von 5724 Gesamtlichtsumme und besonders auf den 1440 Lichtsumme des direkten Lichts dieser Wintermonate dürfte die Berühmtheit der alpinen Winterkurorte und -Sportplätze beruhen.

In den Lichtsummen des diffusen Lichtes haben wir das Lichtklima des Schattenstandortes zu sehen.

Wiesner stellt für Wien folgende vier Summensätze auf:

1. In Wien weist die Periode Januar-Juni eine geringere Lichtsumme auf als die Periode Juli-Dezember.

2. Die erste Hälfte unserer Vegetationsperiode März—Juni erhält eine geringere Lichtsumme als die zweite Hälfte Juli—Oktober.

3. Die beiden Frühlingsmonate März und April weisen eine etwas geringere Lichtsumme auf wie die beiden Herbstmonate September und Oktober.

4. Die Periode Mai—Juni ist lichtärmer als die Periode Juli—August.

Alle vier Sätze sind auch für Kremsmünster gültig und für Kew in England, wo Baker[1]) in Roscoes Auftrag 1866 solche Bestimmungen machte. Für das Berninahospiz sind hingegen nur die Sätze 1,2 und 4 gültig, während September—Oktober mehr Licht aufweisen als März—April; dasselbe gilt, wenn auch nicht so ausgesprochen, für Fécamp in Frankreich, wo Marchand[2]) 1869—72 mit seinem Photantitypimeter Messungen anstellte.

---

[1]) Vgl. Anm. S. 210.
[2]) „ „ „ 210.

Die Bedeutung des direkten Lichtes für die Vegetation.

Wiesner hat gezeigt, dass für die Vegetation der Ebene das diffuse Licht weitaus die grösste Rolle spielt. Ganz anders verhält es sich in der Höhe des Berninahospizes. Den bedeutenden Anteil des direkten Lichtes bei den mittäglichen Beobachtungen haben wir gesehen, doch kommt für die Pflanze viel mehr die Lichtsumme in Betracht, bei welcher die niedern Morgen- und Abendsonnenstände mit eingerechnet sind. Aus der Lichtsummen-Tabelle sehen wir, dass die Lichtsummen des direkten Lichtes über das doppelte derjenigen des diffusen betragen können (siehe die Beispiele 145 : 310, 106 : 245, 112 : 248 usw.). Im Winter sind die Summen bei Sonnenschein einander ziemlich gleich (38 : 38, 33 : 39, 34 : 34, 29 : 31 usw.).

Unter schönem Wetter ist verstanden, dass das Mittel des Sonnenscheins 3—4 sei (der 14. Mai mit dem Mittel 2,8, aber den Lichtsummen 400 : 150 : 250 gehört auch zu den schönen Tagen, da einen grossen Teil des Tages S_4 geherrscht hat und erst ein Gewitter am Nachmittag das Mittel heruntergedrückt hat).

Nun hat das Berninahospiz im Jahr ca. 54 % schön Wetter, in der Vegetationsperiode Juni—September sogar 64 %, in welchen der Anteil des direkten Lichtes grösser ist als der des diffusen.

Doch nicht nur für die schönen Sommertage gilt dies. In den Hauptmonaten der alpinen Vegetationsperiode Juli und August ist die Lichtsumme des direkten fast gleich der des diffusen und kann sie sogar übertreffen wie im August 1907 159 : 164, also die Summe 4929 : 5084.

Alle diese Messungen gelten für ebene Standorte. Die grossen Unterschiede, welche die Exposition bedingt, werden im Kapitel Vorderlicht-Intensitäten zur Besprechung kommen.

Die Alpenpflanzen stehen also unter ganz andern lichtklimatischen Bedingungen als die Pflanzen der Ebene und der Arktis. Da die arktischen und die Alpenpflanzen in so manchen Beziehungen unter ähnlichen Verhältnissen leben, muss der grosse Unterschied in lichtklimatischer Beziehung für die vergleichende Physiologie der arktischen und alpinen Pflanzen von besonderem Interesse werden. Hiezu fehlen noch länger fortgesetzte Messungen in der Arktis, da wir deren Lichtklima bis jetzt nur aus Wiesners einmonatlichen Nordlandsreise kennen.

7. Kapitel.

Einfluss der Sonnenhöhe und der Sonnenbedeckung.

Mit steigender Sonnenhöhe steigt auch die Lichtintensität. Bei solarem Klima, d. h. wenn keine Atmosphäre vorhanden wäre, würde jeder Sonnenhöhe eine bestimmte Lichtintensität entsprechen. Auf eine gegebene Fläche fallen am meisten parallele Strahlen, wenn sie

senkrecht darauf fallen, je schiefer sie einfallen, um so weniger treffen sie die gegebene Fläche. Beim terrestren Klima hingegen sind die Beziehungen von Lichtintensität und Sonnenhöhe nicht so einfach, da andere Faktoren beeinflussend mitwirken.

Hervorragend ist der Einfluss, den die Sonnenbedeckung hat. Je weniger von Wolken oder Dunst bedeckt die Sonne ist, um so intensiver das Gesamtlicht.

Mittel der Lichtintensitäten bei verschiedenen Sonnenhöhen bei 2320 m auf dem Dach des Berninahospizes.

	Sonnen-höhen	Zahl der Messungen	Mittel J_g	Mittel J_d	Mittel J_s	Mittel $J_d : J_s$	abs. Maximum und Minimum J_g Min	J_g Max	J_d Min	J_d Max	J_s Min	J_s Max
S_4	4—10°	16	106	73	33	100 : 45	0	230	0	122	0	108
	10—20	52	227	110	107	100 : 97	73	450	50	200	13	263
	20—30	78	328	134	194	100 : 145	145	610	57	260	64	440
	30—40	54	537	199	338	100 : 170	280	830	90	310	155	600
	40—50	53	751	258	493	100 : 191	450	1300	120	500	280	1000
	50—60	57	1101	379	722	100 : 191	670	1660	150	650	470	1190
	60—67	47	1323	435	888	100 : 204	900	1800	200	600	520	1330
S_3	7—10°	2	88	88	0	100 : 0	72	104	72	104		
	10—20	6	146	107	39	100 : 36	111	190	88	125	11	80
	20—30	12	276	165	111	100 : 67	153	440	61	250	60	190
	30—40	11	397	275	122	100 : 44	222	760	139	530	60	230
	40—50	5	678	372	306	100 : 82	500	850	280	530	220	500
	50—60	9	828	469	359	100 : 77	650	990	340	630	170	460
	60—67	18	843	477	366	100 : 77	630	1060	370	600	180	630
S_2	6—10°	1	104				104	104				
	10—20	4	251				178	310				
	20—30	16	254				123	430				
	30—40	6	350				260	450				
	40—50	2	525				410	640				
	50—60	12	607				420	750				
	60—67	9	706				370	900				
S_1	0—10°	0										
	10—20	6	177				92	250				
	20—30	16	231				140	310				
	30—40	11	347				250	560				
	40—50	14	444				300	720				
	50—60	9	537				300	700				
	60—67	16	529				330	830				
S_0	5—10°	6	60				23	125				
	10—20	15	119				18	310				
	20—30	39	196				60	410				
	30—40	23	227				69	500				
	40—50	25	308				100	500				
	50—60	21	497				250	700				
	60—67	38	421				85	700				

Auf der Tabelle habe ich die Messungen bei verschiedenen Sonnenhöhen zusammengestellt: dabei je 10° zusammengefasst und das Mittel genommen aus den Messungen, die in dieses Intervall fallen, und zwar getrennt für die fünf gewöhnlich unterschiedenen Grade der Sonnenbedeckung. Es sind zu dieser Tabelle sowohl die täglichen Mittagsbeobachtungen benutzt worden als auch die stündlichen Werte bei ganztägigen Beobachtungen. Unter 20° Sonnenhöhe sind natürlich keine Mittagsbeobachtungen, da die mittägliche Sonnenhöhe sich auf dem Berninahospiz zwischen 20° 6′ und 67° 3′ bewegt in den zur Beobachtung verwandten Jahren.

Neben den Durchschnittszahlen des gesamten, des diffusen und des direkten Lichtes sind auch die Maxima und Minima jeder Lichtart und das Durchschnittsverhältnis von diffusem zu direktem Licht angegeben. Betrachten wir die Zahlen bei S_4, also bei vollem Sonnenschein, die den regelmässigsten Gang aufweisen, weil voller Sonnenschein einen bestimmten Punkt der Sonnenbedeckung angibt, während die andern angenommenen Bedeckungswerte Intervalle darstellen, die durch ihre Variationsbreite einen verwischenden Einfluss auf die Zahlen ausüben.

Bei S_4 zeigen alle drei Kolonnen der Durchschnittswerte durchweg Steigerung mit steigender Sonnenhöhe; jedoch entspricht nicht das Maximum bei einer Sonnenhöhengruppe dem Minimum der nächsthöheren. Dies ist eigentlich selbstverständlich, dies könnte nur bei dem schon erwähnten solaren Klima der Fall sein, während beim terrestren jede Sonnenhöhe ihre bestimmte Variationsbreite von Lichtintensitätswerten hat, so dass z. B. das Maximum von 19° 59′ bis 450 hinaufgeht, das Minimum von 20° 0′ auf 145 hinunter.

Betrachten wir das Verhältnis des diffusen zum direkten Licht, so sehen wir, dass das Maximum des direkten bei Messungen unter 10° Sonnenhöhe mit 108 fast an das Maximum des diffusen heranreicht. Bis zu 6° Sonnenhöhe ist das direkte Licht meist = 0[1]), während Wiesner in Wien bis 19° keinen Einfluss des direkten misst.

Durchschnittlich erreicht das direkte Licht auf dem Hospiz denselben Wert wie das diffuse schon bei 16°, in Wien erst bei 57°, in Kremsmünster bei 35° nach Roscoe, in Heidelberg bei 42°, in Lissabon bei 51°, in St. Petersburg bei 50°, ausnahmsweise (s. 2. Sept. 05) auf Hospiz schon bei 8° 33′, in Wien bei 33°. Unter niederen Sonnenhöhen mit beobachteter gleicher Intensität von diffusem und direktem Licht sind noch zu nennen: bei 11° 6′ (15. Jan. 06); 11° 20, (4. Mai 06); 11° 44′ (8. Aug. 06).

[1]) Eine Ausnahme an dem absolut klaren Tage des 5. Dez. 05, wo es bei 4° 52′ schon 29 ist.

Das direkte Licht erreicht durchschnittlich den doppelten Wert des diffusen bei 60—61°; bei einzelnen Beobachtungen aber schon ganz bedeutend früher, so bei 16° 12′ (2. Sept. 05); 16° 30′ (3. Dez. 05); 19° 0′ (22. Aug. 06); 20° 33′ (2. Jan. 06); 21° 21′ (7. Juli 06); 22° 0′ (8. Aug. 06); 23° 9′ (12. Mai 06). In Wien und Kremsmünster tritt dieser Fall überhaupt nur vereinzelt auf. In Wien scheint das direkte Licht überhaupt nicht über den doppelten Wert hinauszugehen, in Kremsmünster erreicht es den dreifachen, auf dem Berninahospiz geht es noch bedeutend weiter, wie folgende Zahlen zeigen.

$J_s = 3\ J_d$

22° 0′ (8. Aug. 06); 26° 6′ (2. Sept. 05);
26° 25′ (7. Juli 06); 36° 7′ (1. Sept. 05).

$J_s = 4\ J_d$

32° 14′ (8. Aug. 06); 53° 49′ (27. Aug. 06);
60° 44′ (5. Aug. 06); 66° 59′ (27. Juni 06).

$J_s = 5\ J_d$

42° 6′ (8. Aug. 06); 66° 24′ (8. Juni 06).

Ähnlich hohe Werte hat Wiesner[1]) in hohen Seehöhen gefunden, so $J_s = 3{,}9\ J_d$ in Old Faithful U. S. A. bei 51° 47′ Sonnenhöhe und 2245 m ü. M. am 4. Sept. 04; $J_s = 4{,}5\ J_d$ in Norris U. S. A. 2212 m ü. M. bei 53° 11′ Sonnenhöhe am 1. Sept. 04. Bemerkenswerte Zahlen habe ich noch auf höheren Gipfeln gefunden: das dreifache auf Piz Corvatsch 3442 m bei 20° 4′ am 20. Juli 05; das fünffache auf Piz Morteratsch 3754 m bei 28° 4′ Sonnenhöhe am 17. Juli 06 und auf Piz Lagalb 2962 m bei 60° 29′ am 6. Aug. 06 und noch höher, der sechseinhalbfache Wert, 180 : 970 auf Piz Tschierva 3564 m bei 43° 19′ Sonnenhöhe am 17. Juli 06. Im Sattel zwischen Piz Morteratsch und Piz Tschierva ist sogar der siebenfache Wert eingetreten, da jedoch der Horizont nicht frei ist, sondern vom Piz Morteratsch ein Teil diffuses Licht aufgehalten wird, kann dies Verhältnis nicht in Betracht gezogen werden[2]).

Gehen wir zur Tabelle zurück und betrachten die Verhältnisse bei S_3[3]). Sowohl gesamtes als direktes Licht sind bedeutend schwächer, das diffuse hingegen ist nicht nur relativ, sondern auch absolut höher. Unter 10° Sonnenhöhe ist kein direktes Licht zu beobachten und auf den gleichen Wert mit dem diffusen bringt es der Durch-

---

[1]) S. Wiesner 1905.

[2]) In Wiesners Lichtgenuss 1907 ist ein Apparat und eine Methode beschrieben, wie auch in Tälern das ganze diffuse Licht gefunden werden kann.

[3]) Intensitäten bei S_{3-4}, S_{2-3} usw. sind nicht mitberechnet.

schnitt auch bei den höchsten Sonnenständen nicht. Bei S_2 ist direktes Licht nicht mehr wahrzunehmen, das gesamte ist weiter gesunken und ist identisch mit dem weiter gestiegenen diffusen, das mit 900 hier seinen absoluten Höhepunkt erreicht.

Von S_2 fällt die Intensität zu S_1 und zu S_0. Die Minima bei S_0 zeigen keinen steten Gang mit der Sonnenhöhe. Das kommt daher, dass die Variationsbreite von S_0 eine sehr bedeutende ist. Es ist S_0, wenn man keinen Schein am Himmel mehr wahrnimmt, wo die Sonne steht, doch auch die doppelte und mehrfache Wolkenschicht gehört zu S_0. Ein dicker Nebel kann bei hohem Sonnenstand erstaunlich niedere Lichtintensitäten hervorrufen, z. B.: 85 bei 67° 3′ am 23. Juni 07; 165 bei 66° 10′ am 8. Juli 07, 165 bei 61° 0′ am 4. Aug. 06.

Monatsmittel der mittäglichen Lichtintensitäten bei verschiedener Sonnenbedeckung.

	S_0	S_1	S_2	S_3			S_4		
	n	n	n	n			n			
Jan.	6 250	0 —	6 266	8 244	169	76	14 303	131	172
Febr.	7 242	1 320	4 345	1 340	195	145	11 402	179	223
März	4 312	5 500	2 355	2 500	275	225	17 553	201	352
April	9 545	12 618	8 646	8 825	472	353	16 885	361	524
Mai	18 546	5 632	2 630	5 790	496	294	23 1234	447	787
Juni	8 318	5 522	1 750	6 885	422	463	10 1241	375	866
Juli	8 316	2 400	4 658	8 850	491	359	15 1391	497	894
Aug.	8 308	5 486	3 610	4 850	402	448	19 1259	394	865
Sept.	6 282	1 500	3 468	3 703	400	303	15 854	330	524
Okt.	2 243	6 308	1 360	5 398	252	147	12 507	200	307
Nov.	14 203	5 228	2 296	1 330	223	107	8 282	127	172
Dez.	1 272	2 258	6 190	2 237	127	110	15 246	104	142

Auf der Tabelle der Monatsmittel der Mittagsintensitäten bei den verschiedenen Sonnenbedeckungen ist im allgemeinen dasselbe zu ersehen wie schon beschrieben. Hingegen treten die Unregelmässigkeiten bei S_0 und teilweise auch bei S_1—S_3 stärker hervor. Dies ist hauptsächlich der Variationsbreite der angenommenen Bezeichnung für die Grade der Sonnenbedeckung zuzuschreiben. Ferner kommt natürlich sehr stark in Betracht, dass einzelne Kategorien selten vorkommen, das Mittel also kein ausgeglichenes ist. Um den Wert der Mittelzahl erscheinen zu lassen, habe ich jeweilen die Zahl der Beobachtungen angegeben, aus denen sie gebildet ist. Bei S_4 — auf Berninahospiz überhaupt am häufigsten vertreten — sind keine bedeutenden Unregelmässigkeiten. Es dürfte vielleicht auffallen, dass der Juni mit 1241 hinter Juli und sogar August zurückbleibt, trotz-

dem letzterer schon bedeutend geringere Sonnenhöhen aufweist. Dies scheint mir nun darin zu liegen, dass in 1907, denen fast alle Messungen dieser Monate entstammen, der Juni sehr schlecht, der August sehr schön war und dies auch bei S_4 einen bedeutenden Einfluss auf die Klarheit der Atmosphäre und dadurch auf die Lichtintensität ausübt.

Einfluss der Himmelsbedeckung.

Solange die Sonne am Himmel sichtbar ist, hat die Himmelsbedeckung nur geringen Einfluss auf die gesamte Lichtintensität. Dies haben Stelling in St. Petersburg, Wiesner in Wien, Schwab in Kremsmünster gefunden, und ich kann es für das Berninahospiz bestätigen. Hingegen „wenn die Sonne am Himmel nicht mehr sichtbar ist, tritt je nach dem Grade der Himmelsbedeckung bei gleichbleibendem Sonnenstande eine deutliche, oft starke Herabdrückung der chemischen Lichtintensität ein", schreibt Wiesner. Ich halte dafür, dass es auch hier nicht die Himmelsbedeckung an und für sich ist, sondern wie immer die Sonnenbedeckung. Allerdings ist bei S_0 die Himmelsbedeckung meist B_{10}, sodass Beispiele für den Einfluss der Bewölkung für diesen Fall selten sind. Wiesner führt zwei an: ein $S_0 B_9$ 214 gegenüber 5 $S_0 B_{10}$ von 149—286; ein $S_0 B_6$ 333 gegenüber 4 $S_0 B_{10}$ 200—357. Bei beiden Beispielen zeigt die geringere Himmelsbedeckung nicht eine grössere Lichtintensität als die Bedeckung B_{10}, sondern eine mittlere, die in die Variationsbreite des S_0 hineinpasst ohne Berücksichtigung der Himmelsbedeckung.

Anders verhält es sich beim diffusen Licht. Dieses wird nach meinen Beobachtungen erhöht durch Anwesenheit von Wolken. Es ist dies auch begreiflich, da die meist weissen Wolken (schwarze Regenwolken sind auszunehmen) mehr Licht reflektieren als der wolkenlose blaue Himmel. Das direkte Sonnenlicht erleidet keine Veränderung. Dies würde nun erfordern, dass bei bewölktem Himmel die gesamte Intensität grösser wäre als bei unbewölktem, da die diffuse wächst und die direkte gleichbleibt. Schwab hat dies auch in geringem Masse wahrnehmen können. Dass Wiesner und ich dies nicht bestätigen können, sehe ich in folgendem: Wenn Tendenz zu Wolkenbildung vorhanden ist, so ist die Durchsichtigkeit der Atmosphäre geringer als im gegenteiligen Fall; dadurch wird die Intensität des direkten Lichtes heruntergedrückt, was die Steigerung des diffusen Lichtes kompensieren, ja übertreffen kann. Häufig habe ich folgenden Gang beobachtet. Nach Schneefall oder Gewitter war die Luft sehr klar, die Lichtintensität hoch. Die folgenden Tage waren noch wolkenlos oder zeigten nur am Horizont

kleine Wolkenpartien, die Klarheit und damit die Lichtintensität nahmen aber ab, dann erschienen immer mehr Wolken. In dieser Reihenfolge, die ich häufig beobachtete, finden wir also sinkende Gesamtintensität, sinkende des direkten Lichtes und relativ, öfters auch absolut, steigende des diffusen.

8. Kapitel.

Vorderlicht.

Die Verhältnisse des Vorderlichtes sind in pflanzenphysiologischer Beziehung sehr wichtig, da der Einfluss der Exposition hier zur Geltung kommt.

Die Bestimmungen des Vorderlichtes wurden so vorgenommen, dass der Apparat senkrecht gegen die einzelnen Himmelsrichtungen gehalten wurde, während für das Oberlicht der Apparat immer horizontal liegt. Die Zahlen gelten also für einen extremen Standort wie senkrechte Felsen und für Pflanzen, die am Fuss von Felsblöcken wachsen.

In den Tabellen bedeutet N, E, S, W das gesamte Vorderlicht aus der betreffenden Himmelsrichtung, E_d, S_d, W_d das diffuse Vorderlicht, V das mittlere gesamte Vorderlicht, V_d das mittlere diffuse Vorderlicht, O Oberlicht, O_d diffuses Oberlicht.

Vorderlicht-Intensitäten.

	S	B	h	N	E	S	W	Mittl. V	O	V:O =100:	N:S =100:
					10. Jan. 1906						
8^h 30	2	4	6° 35′	96	125	139	79	110	104	95	145
9	2	6°	10 24	113	156	156	113	134	208	154	138
10	4	2	16 25	178	310	490	156	283	450	159	275
11	3–4	1	20 14	125	250	490	178	261	480	184	392
12	3–4	2	21 30	125	208	490	208	258	450	174	392
1	4	1	20 14	156	208	440	310	278	450	162	282
2	3–4	1	16 25	156	178	370	310	253	370	146	237
2 30	-	2	13 25	125	125	125	125	125	139	111	100
			Lichtsumme	45	65	112	62	71	110	155	249
					11. Jan. 1906						
8^h 30	3–4	1	6° 40′	70	178	156	70	118	156	132	223
10	3	3	16 31	83	139	310	104	159	178	112	373
11	2	7°	20 20	187	208	310	250	239	310	130	166
12	2	10^0	21 37	208	250	420	250	282	420	149	202
1	1	10^{0-1}	20 20	208	208	208	208	208	220	106	100
2	0	10^1	16 31	156	156	156	156	156	208	133	100
			Lichtsumme	38	47	65	43	48	62	129	171

	S	B	h	N	E	S	W	Mittl. V	O	V:O =100:	N:S =100:
					12. Jan. 1906						
9h	3–4	1	10° 39′	104	250	250	104	177	250	141	240
10	2	2–10°	16 12	208	250	310	208	244	310	127	149
11	2–3	2–10°	20 30	208	250	420	250	282	380	135	202
12	2–3	2–10°	21 47	196	250	370	250	266	340	128	189
1	2–3	10°	20 30	208	250	310	250	255	310	122	149
			Lichtsumme	38	52	69	44	51	66	130	181
					13. Jan. 1906						
12h	4	1	21° 57′	139	178	420	178	229	420	183	302
					15. Jan. 1906						
9h	4	0	11° 6′	83	250	250	83	166	200	120	301
10	4	0	17 8	100	200	380	111	198	380	192	380
11	4	0	21 2	143	167	420	143	218	420	192	294
12	4	0	22 18	125	167	420	167	220	420	191	344
1	4	0	21 2	111	125	360	250	211	380	180	324
2	4	0	17 8	100	125	330	280	209	280	134	330
3	–	0	11 6	100	100	100	100	100	100	100	100
			Lichtsumme	32	47	94	47	55	91	166	294
					16. Jan. 1906						
9h	2	0–10	11° 17′	83	143	143	83	113	125	111	172
					4. Mai 1906						
6h 40	4	0	18° 8′	181	450	200	152	246	450	183	110
7	4	0	21 33	200	600	360	200	340	530	156	180
8	4	0	31 51	360	910	600	260	532	830	156	167
9	4	0	41 41	300	910	910	300	605	1130	187	303
10	4	1	50 29	227	600	910	227	491	1130	230	401
11	4	1	56 52	360	760	1010	227	590	1220	207	280
12	4	1	59 18	450	500	1130	450	632	1390	220	251
1	4	1	56 52	500	600	1130	500	682	1300	191	226
2	4	1	50 29	300	300	600	700	475	910	191	200
3	4	1	41 41	227	260	600	650	434	700	161	264
4	4	1	31 51	227	260	360	700	387	600	155	158
5	4	1	21 33	200	200	260	650	328	350	107	130
5 30	4	1	16 26	181	167	181	450	245	260	106	100
6	4	1	11 20	167	150	167	360	211	220	104	100
6 05	–	1	10 30	91	73	82	100	87	90	103	90
6 30	–	1	6 22	45	45	45	47	45	45	100	100
			Lichtsumme	154	271	343	224	248	455	183	223

	S	B	h	N	E E_d	S S_d	W W_d	V V_d	O O_d	V:O = $V^d:O_d$ =	N:S = $N:S_d$ =
					5. Mai 1906						
6h	3–4	3	11° 34′	130	360 130	130	130	187 130	260 130	100:139 100:100	100:100
7	3–4	4	21 50	227	600 300	260	227	328 253	450 300	137 118	114
8	3–4	2	32 6	360	910 455	530 360	300	525 369	700 360	133 98	147 100:100
9	4	1	41 52	360	910 455	910 455	360	635 407	900 450	142 110	253 126
10	4	2	50 42	410	910 455	1010 480	430	690 444	1130 450	164 101	246 117
11	4	3	57 8	450	830 455	1010 600	500	698 501	1130 500	162 100	224 133
12	2–3	5	59 35	530	530	700 530	530	572 530	1130 500	197 94	132 100
1	4	4	57 8	500	500	1010 700	910 600	730 575	1300 610	178 106	202 140
2	2–3	6	50 42	600	600	760 600	910 600	718 600	900 700	125 116	126 100
3	3	5	41 52	300	300	450 300	450 300	375 300	610 360	163 120	150 100
4	3–4	8	32 6	300	300	360	530 360	372 330	450 300	121 91	120
5	3–4	6	21 50	180	167	180	410 180	234 177	360 230	154 130	100
6	0	9	11 34	73	73	73	73	73 73	90 90	123 123	100
		Lichtsumme		185	291 197	308 205	240 191	256 195	395 210	154 107	166 111
					7. Mai 1906						
12h	1	8	60° 10′	700	700	700	700	700	830	119	100
					12. Mai 1906						
6h	4	1	12° 57′	130	450 ...	130	91	200	300 122	150 ...	100
7	4	1	23 9	180	760 227	180	167	322 188	450 180	140 96	100
8	4	1	33 24	227	910 260	450 260	200	447 237	830 230	183 97	198 114
9	4	3	43 21	260	1010 300	1010 300	260	635 280	1010 300	159 107	388 115
10	4	3	52 15	290	830 300	1010 400	290	605 320	1130 330	187 103	348 137
11	1	4	58 57	360	450	600 600	450	465 465	830 S_{3-4} 300	178 ...	167 167
12	3–4	8	61 30						1520 720		
1	0	10	58 57	450	450	450 450	450 450	450 450	610 610	135 135	100 100
2	4	4	52 15	400	450	760 450	830 450	610 438	1130 390	185 89	190 112
3	4	3	43 21	360	360	760 360	760 450	560 382	830 300	148 79	211 100
4	4	3	33 24	260	260	260 260	830 300	402 270	760 250	189 93	100 100

	S	B	h	N	E E_d	S S_d	W W_d	V V_d	O O_d	V:O = $V_d : O_d$ =	N:S = $N : S_d$ =
					12. Mai 1906						
5^h	4	3	23° 9′	167	167	180	760 227	318 185	610 170	100:191 100:92	100:108
6	4	7	12 57	152	113	152	360 152	194 142	360 170	185 120	100
	Lichtsumme			ca. 151	277 163	298 180	246 164	243 164	436 167	179 102	197 100:119
					8. Juni 1906						
7^h	4	0	26° 31′	400	500 130	122	100	280 188	440 110	157 59	30 ...
9	4	0	47 0	152	720 260	570 200	167	402 195	640 180	159 92	375 131
11	4	0–1	63 34	167	910 180	910 180	167	538 173	1000 200	186 116	545 108
12	4	1	66 24	167	180	650 180	200	300 182	1200 200	400 110	389 108
1	3-4	3	63 34	180	180	910 227	670 227	485 203	760 200	156 98	505 126
3	1	7	47 0	260	260	260	260	260 260	320 320	123 123	100
					7. Juli 1906						
8^h	4	2	36° 45′	113 [1]	830	270	152 [1]	341	640	188	239
9	3	7	46 53	227	600	450	227	376	830	221	198
10	3–4	7	56 15	300	910	910	300	605	900	149	303
11	1	5	63 24	227	300	300	260	272	760 S_3	279	132
12	3	5	66 16	227	300	360	360	312	900	288	158
1	3	4	63 24	260	300	700	600	465	1500	322	269
2	4	6	56 15	180	227	600	600	402	900	224	333
3	3-4	6	46 53	152	167	260	600	295	600	203	171
4	3	6	36 45	122	122	180	227	163	260	159	147
5	0	5	26 25	70 [2]	80 [2]	90	113	88	200	227	128
	Lichtsumme 8—5^h			78	160	172	143	138	312	226	220

Verfolgen wir den Gang des Vorderlichtes an der Figur 10 [3]), die den 15. Jan. 06, einen vollständig wolkenlosen Tag darstellt. Trotz der niedern Sonnenhöhe von 22° erreichte das direkte Licht den doppelten Wert des diffusen. Das südliche Vorderlicht hat eine Tageskurve wie das Oberlicht und ist bei niederm Sonnenstand teils gleich stark wie das Oberlicht, teils auch stärker, wie in der Tabelle des 10. und 12. Januar zu sehen ist. Nord zeigt natürlicherweise die niedersten Intensitäten, sie reichen nicht einmal an das diffuse

[1]) In N blauer Himmel, in W weisse Wolken.

[2]) In N schwarze Wolken, in E weisse Wolken.

[3]) Die Kurven sind mit den Morsealphabetzeichen gegeben: N = – ·, E = – – –, S = · · ·, W = – – ·

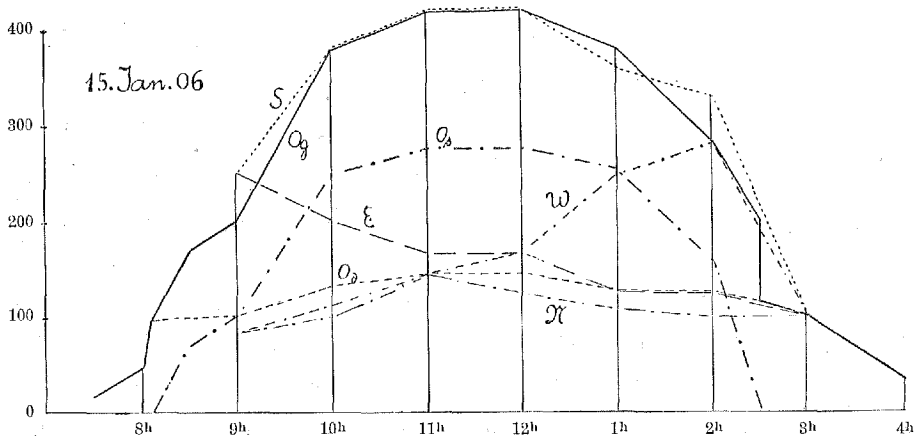

Fig. 10. Tageskurven des Oberlichtes O und des Vorderlichtes der vier Himmelsrichtungen N, E, S, W eines Wintertages.

Oberlicht heran, Ost und West sind dazwischenliegend, Ost naturgemäss morgens stark und von ca. 9 Uhr an immer abnehmend, West bis in den Nachmittag steigend.

Bei hohen Sonnenständen erreicht das Südlicht nicht mehr das Oberlicht.

Bewölkung und besonders Sonnenbedeckung wirken in hohem Masse ausgleichend.

Bei S_{0-1} und B_{8-10} ist kein Unterschied der Himmelsrichtungen mehr wahrzunehmen (siehe Tabelle 11. Januar und 7. Mai), das Oberlicht ist aber immer noch höher.

Selbst das diffuse Licht (Fig. 11 unten) ist etwas stärker in der Himmelsrichtung, wo die Sonne steht, das hat auch Wiesner [1]) schon gefunden. Im allgemeinen ist im Winter das Oberlicht fast gleich bis doppelt so stark als das mittlere Vorderlicht, im Sommer $1^1/_2$—3 mal [2]) so stark.

Den enormen Unterschied von Nord- und Südlage zeigt die Kolonne des Verhältnisses N : S (ausgerechnet auf N = 100). In unsern Breiten wird das nördliche Vorderlicht nie höher als das südliche, dieses aber kann mehr als den 5fachen Wert von jenem betragen (8. Juni 11 Uhr 100 : 545).

Das diffuse Licht zeigt nicht so grosse Unterschiede, Süd ist immerhin 1,00—1,67 mal stärker.

Vergleichen wir die für die Pflanzen besonders in Betracht fallenden Lichtsummen. Während der Vegetationsperiode ist die

[1]) Über das Vorderlicht siehe Wiesner II, 1898, S. 13; 1907, S. 47; Schwab S. 64.
[2]) In der Arktis nach Wiesner nur 1,54—2,17 mal so stark.

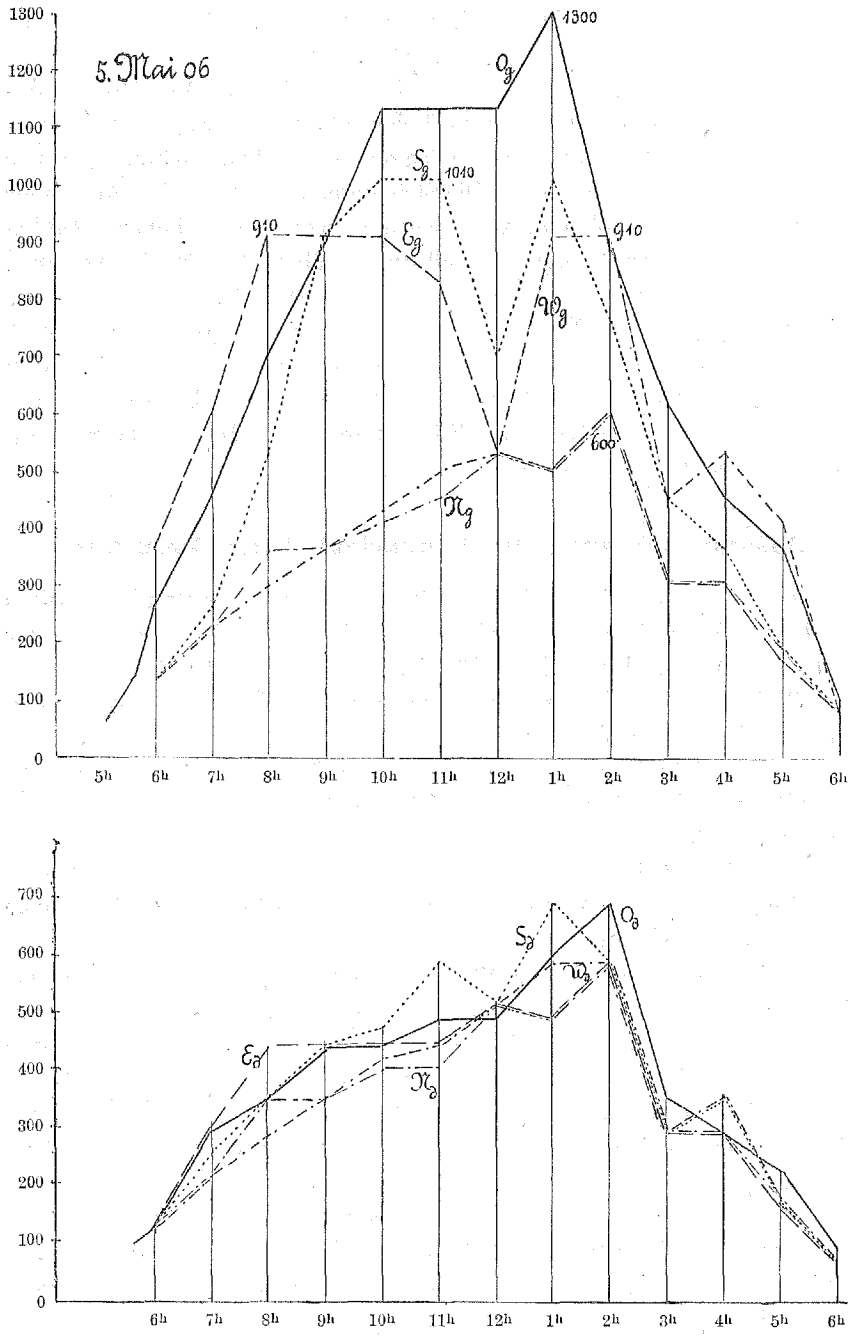

Fig. 11. Tageskurven des gesamten und des diffusen Lichtes vom Oberlicht O und dem Vorderlicht der vier Himmelsrichtungen N, E, S, W eines Tages von hohem Sonnenstand.

Lichtsumme des Oberlichtes weitaus die höchste, 1,54—2,26 mal so hoch als die des mittleren Vorderlichtes, von den Vorderlichtsummen ist Süd die höchste, Nord die niedrigste, Ost und West liegen dazwischen, fast immer Ost etwas höher als West, was wohl davon herrühren mag, dass an schönen Tagen nachmittags häufig sich der Grad der Klarheit vermindert. Die Südsumme ist 1,66—2,23 mal grösser als Nord, mehr Beobachtungen würden wohl noch höhere Zahlen liefern. Im Winter steigt die Südsumme über die Oberlichtsumme.

Die Südexposition weist also ganz bedeutend mehr Licht auf als die Nordexposition, in der Höhe noch viel mehr als in der Ebene und bedingt dies neben andern Faktoren den meist ganz verschiedenen Charakter der Vegetation in Nord- und Südlagen und den Unterschied der Höhengrenzen der Gewächse.

Zusammenfassung der hauptsächlichsten Resultate.

1. Die höchste beobachtete Mittagsintensität des Berninahospizes ist 1800 (Wien 1500), die geringste 85 (Wien 7); das Verhältnis der niedersten zur höchsten Intensität ist 1 : 21 (Wien 1 : 214).

2. Das Gesamtlicht mit Berücksichtigung aller Tage ist in den Alpen höher als in der Ebene.

3. Bei Berücksichtigung der sonnigen Tage ist das Gesamtlicht der Höhenstation etwas höher als das der Ebene, das direkte Licht bedeutend höher, das diffuse eher etwas niedriger.

4. Bei Berücksichtigung aller Tage sogar kann auf Berninahospiz das Monatsmittel der Mittagsbeobachtungen des direkten Lichtes über das des diffusen steigen.

5. Im Jahresmittel der Mittagsbeobachtungen verhält sich das diffuse zum direkten wie 4 : 3, in der Vegetationsperiode sind sie gleich.

6. Nach reinigenden Niederschlägen sind die Intensitäten höher als im Laufe länger andauernden schönen Wetters.

7. Bei der partiellen Sonnenfinsternis des 30. Aug. 1905 reduzierte sich das Gesamtlicht auf $^1/_4$ des sonst zu erwartenden, das diffuse auf $^1/_2$, das direkte auf $^1/_7$.

8. Die höchste gefundene Lichtsumme ist 505 (Wien 419); die niederste 52 (Wien 6); das Verhältnis der niedersten zur höchsten 1 : 10 (Wien 1 : 68). Die intensiv dunkeln Tage der Ebene sind oben nicht vorhanden.

9. Die Lichtsummen des alpinen sind höher als die des Ebenenstandorts, besonders stark im Winter, worauf die Berühmtheit der Alpensportplätze beruht.

10. Die Lichtsummen des diffusen Lichtes verhalten sich zu denen des direkten im Jahresdurchschnitt etwa wie 5 : 3, in der Vegetationsperiode wie 5 : 4.

11. In ausnahmsweis schönen Monaten kann die Lichtsumme des direkten Lichtes sogar im Monatsmittel über die des diffusen steigen.

12. In der Lichtsumme des Gesamtlichtes haben wir das Lichtklima des horizontalen sonnigen Standortes zu sehen, in der des diffusen das des Schattenstandortes.

13. An einzelnen Tagen kann die Lichtsumme des direkten Lichtes über den doppelten Wert des diffusen steigen.

14. Die Intensität steigt mit der Sonnenhöhe. Das direkte Licht ist nicht messbar bis 6° (Wien 19°); es erreicht durchschnittlich denselben Wert wie das diffuse bei 16° (Wien 57°), ausnahmsweise bei 11° (Wien 33°); den doppelten Wert durchschnittlich bei 60° (Wien nicht mehr), vereinzelt von 16° an (Wien hie und da); den dreifachen vereinzelt von 22° an (Wien überhaupt nicht, Kremsmünster selten); den vierfachen von 32° an; den fünffachen einmal bei 42°, einmal bei 66° (nach Wiesner den $4^1/_2$ fachen in Norris U. S. A. 2212 m ü. M. bei 53°); den $6^1/_2$ fachen auf Piz Tschierva 3564 m bei 43°.

15. Das gesamte und das direkte Licht sinken mit zunehmender Sonnenbedeckung, das diffuse steigt von S_4 bis S_2 und sinkt von dort an (absolutes beobachtetes Maximum von J_d bei S_2 900).

16. Himmelsbedeckung als solche hat durch vermehrte Reflexion einen lichtintensitätserhöhenden Einfluss, der aber durch begleitende Trübungserscheinungen meist mehr als aufgehoben wird.

17. Mit steigender Sonnenhöhe nimmt das Vorderlicht im Vergleiche zum Oberlicht ab, bei niederm Sonnenstand kann das südliche Vorderlicht stärker sein als Oberlicht.

18. Das stärkste nicht nur gesamte, sondern auch diffuse Licht zeigt das Vorderlicht der Himmelsrichtung, wo die Sonne steht.

19. Bewölkung und Sonnenbedeckung wirken ausgleichend auf die verschiedenseitigen Vorderlichte; bei S_{0-1} und B_{8-10} ist kein Unterschied der Intensität der verschiedenen Himmelsrichtungen mehr wahrzunehmen.

20. Oberlicht ist gleich bis dreimal so stark als das mittlere Vorderlicht; südliches bis $5^1/_2$ mal so stark als nördliches Vorderlicht

21. Die Lichtsummen von Oberlicht sind $1^1/_2$ bis $2^1/_4$ mal so gross als die von mittlerem Vorderlicht, ebenso die südliche Vorderlichtsumme $1^1/_2$ bis $2^1/_4$ mal so gross als die nördliche, was für die Pflanzen der Südlagen ganz andere Bedingungen schafft als für die der Nordlagen.

Literaturverzeichnis.

Baxendell, s. Roscoe & Baxendell.

Brennard, W., Photochemic observation of the Sun & Sky. Proceed. of the Royal Soc. of London, Vol. 49 (1891) S. 4—7.

Bunsen & Roscoe, Photochemische Untersuchungen.
I. Pogg. Ann. Bd. 96 (1855) S. 373—394.
II. Massbestimmungen der chemischen Wirkungen des Lichtes. Pogg. Ann. Bd. 100 (1857) S. 43—88.
III. Erscheinungen der photochemischen Induktion. Pogg. Ann. Bd. 100 (1857) S. 481—516.
IV. Optische und chemische Extinktion der Strahlen. Pogg. Ann. Bd. 101 (1857) S. 235—263.
V. Die Sonne. Pogg. Ann. Bd. 108 (1859) S. 193—273.
VI. Meteorologische Lichtmessungen. Pogg. Ann. Bd. 117 (1862) S. 529—562.
— Photochemical researches.
I. Measurement of the chemical action of light. Phil. Trans. 1857, S. 355—380.
II. Phenomena of photochemical induction. Phil. Trans. 1857, S. 381—402.
III. Optical and chemical extinction of the chemical rays. Phil. Trans. 1857, S. 601—620.
IV. The Sun. Phil. Trans. 1859, S. 879—926.
V. On the direct measurement of the chemical action of sunlight. Phil. Trans. 1863, S. 139—160.

Clements, F. E., Research methods in Ecology. Lincoln, Ne. The University Publishing Co. 1905 (Über Licht S. 48—64).

Draper, J. W., Description of the Tithonometer, an instrument for measuring the chemical force of the Indigo-tithonic rays. Philos. Mag. Bd. XXIII 3. Serie (1843) S. 401—415.

Engelmann, Assimilations- und Absorptionskurve. Bot. Ztg. 1883, 1884.

Elster & Geitel, Über die Absorption des ultravioletten Sonnenlichtes in der Erdatmosphäre, Sitzungsber. d. k. Akad. der Wissensch. in Wien. Bd. 101 (1892) S. 835—856.

Hartig, Th., Photometrisches. Allg. Forst- und Jagdztg. Jan. 1877. (abgedruckt in Wiesner 1907 S. 276—279).

Hesselman, H., Zur Kenntnis des Pflanzenlebens der schwedischen Laubwiesen.

Kissling, Beiträge zur Kenntnis des Einflusses der chemischen Lichtintensität auf die Vegetation. Halle 1895.

Kreusler, W., Eine Methode für fortlaufende Messungen des Tageslichtes und über deren Anwendbarkeit für pflanzenphysiologische Untersuchungen, Ldw. Jahrbücher Bd. 2 (1878).

Linsbauer, L., Photometrische Untersuchungen über Beleuchtungsverhältnisse im Wasser. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien. Bd. 114 (1905).

Marchand, Etude sur la force chimique contenue dans la lumière du soleil. Paris, Gauthier-Villars.

Pernter, J. M., Die Methoden der Messung der chemischen Intensität des Lichtes. Zeitschr. d. österr. Ges. für Meteorol. Bd. 14 (1879) S. 254—263.
— Die Resultate der bisherigen photochemischen Messungen des Sonnenlichtes. Zeitschr. d. österr. Ges. für Meteorol. Bd. 14 (1879) S. 401—426.

Radau, Les radiations chimiques du soleil. Paris 1877.

Roscoe, H. E., On the measurement of the chemical action of light. Roy. Inst. Proc. II. (1854–58) S. 223—225.

— On the measurement of the chemical action of the solar rays. Roy. Inst. Proc. III. (1858—62) S. 210—217.

— On the measurement of the chemical brightness of varions portions of the sun's disk. Roy. Soc. Proc. XII. (1862—63) S. 648—650.

— Bestimmung der chemischen Helligkeit an verschiedenen Teilen der Sonnenscheibe. Pogg. Ann. Bd. 120 (1863) S. 331.

Roscoe, H. E., On a method of meteorological registration of the chemical action of total daylight. Phil. Trans. Vol. 155 (1865) S. 605—632.

— Einfaches Instrument zu meteorologischen Lichtmessungen in allgemein vergleichbarem Masse. Pogg. Ann. Bd. 124 (1865) S. 353—390.

Roscoe & Baxendell, Über die relativen chemischen Intensitäten des direkten und zerstreuten Sonnenlichtes. Pogg. Ann. Bd. 128 (1866) S. 291—298.

— Note on relative chemical intensities of direct sunlight and diffuse daylight at different altitudes of the sun. 1866, Roy. Soc. Proc. XV. (1867) S. 20—24.

Roscoe, H. E., Über die chemische Intensität des gesamten Tageslichtes zu Kew und Parà. Pogg. Ann. Bd. 132 (1867) S. 404—425.

— On the chemical intensity of total daylight at Kew and Parà 1865, 66 und 67. Phil. Trans. Vol. 157 (1867) S. 555—569.

Roscoe & Thorpe, On the relation between the sun's altitude and the intensity of total daylight in a cloudless sky. Phil. Trans. Vol. 160 (1870) S. 309—316

— Über die Beziehungen zwischen der Sonnenhöhe und der chemischen Intensität des Gesamttageslichtes bei unbewölktem Himmel. Pogg. Ann. Erg. Bd. 5 (1871) S. 177—192.

— On the measurement of the chemical intensity of total daylight made at Catania during the total eclipse of Dec. 22nd 1870. Phil. Trans. Vol. 161 (1871) S. 467—476.

Roscoe, H. E., On measurements of the chemical intensity of total daylight, made during the recent total eclipse of the sun by captain J. Herschel (1868). Manchester, Lit. Phil. Soc. Mem. IV. (1871) S. 202—206.

— On a self-recording method of measuring the intensity of the chemical action of total daylight. Roy. Soc. Proc. XXII (1873—74) S. 158—159.

— Über ein selbstregistrierendes Instrument zu meteorologischen Lichtmessungen in allgemein vergleichbarem Masse. Pogg. Ann. Bd. 151 (1874) S. 268—285.

Rübel, E., Über Lichtmessungen, Vortrag. Deuxième Congrès des Jardins Alpins tenu à Pont-de-Nant (Vaud) le 6 août 1906, S. 26—34.

Schramm, W., Über die Verteilung des Lichtes in der Atmosphäre, Dissertation Kiel 1901.

Schröter, C., Lichtwirkung in: Pflanzenleben der Alpen. Zürich 1908, S. 636—647.

Schwab, P. F., Über das photochemische Klima von Kremsmünster, Denkschr. d. k. Akad. d. Wissensch., math.-nat. Cl. Bd. 74 (1904).

Stahl, E., Laubfarbe und Himmelslicht. Nat. wiss. Wochenschr. Bd. V. Nr. 19 (1906).

Stebler & Volkart, Beiträge zur Kenntnis der Matten und Weiden der Schweiz, XV. Der Einfluss der Beschattung auf den Rasen. Landw. Jahrb. d. Schweiz 1905.

Steenstrup, K. J. V., Om Bestemmelsen af Lysstyrken og Lysmaengden. De la détermination de l'intensité et de la quantité de la lumière. Meddelelser om Gronland. Kopenhagen 1902 S. 1—11; franz. Résumé S. 243—245.

Stelling, Ed., Photochemische Beobachtungen der Intensität des gesamten Tageslichtes in St. Petersburg. Repertor. f. Meteorol. hsgeg. v. d. k. Akad. d. Wissensch. T. VI. Nr. 6 (1878) Petersburg.

Thorpe, s. Roscoe & Thorpe.
Timirjazeff, The cosmical function of the green plant. Roy. Soc. Proc. Vol. 72 (1903).
Vallot, Ann. de l'observ. meteor., phys. et glaciaire du Mont Blanc T. III. S. 81—96.
Vogel's chemisches Photometer. Pogg. Ann. Bd. 134 S. 146.
Weber, L., Resultate der Tageslichtmessungen in Kiel 1890—92, 1892—95, 1898—1904. Schriften d. naturwiss. Vereins f. Schleswig-Holstein Bd. 10 (1893) S. 77—94; Bd. 11 S. 48; Bd. 13 (1905) S. 97—114.
— Intensitätsmessungen des diffusen Tageslichtes. Meteor. Zeitschr. 1885 S. 163—172; 219—224; 451—455.
v. Weinzierl, Th., Alpine Futterbauversuche. Sep. Abd. aus: Zeitschr. f. d. landwirtschftl. Versuchswesen in Österreich 1902 S. 219—225.
Wiener, Ch., Über die Stärke der Bestrahlung der Erde durch die Sonne in ihren verschiedenen Breiten und Jahreszeiten 1876.
— Über die Helligkeit des klaren Himmels und die Beleuchtung durch Sonne, Himmel und Rückstrahlung. Abh. d. kais. Leop. Carol. Deutschen Akad. d. Naturforscher Bd. 73 (1900).
Wiesner, J., Photometrische Untersuchungen auf pflanzenphysiologischem Gebiete.
I. Orientierende Versuche über den Einfluss der sog. chemischen Lichtintensität auf den Gestaltungsprozess der Pflanzenorgane. Sitzungsber. d. Wiener Akad. d. Wissenschaften Bd. 102 (1893).
II. Untersuchungen über den Lichtgenuss der Pflanzen mit Rücksicht auf die Vegetation von Wien, Kairo und Buitenzorg. Ebenda Bd. 104 (1895).
III. Untersuchungen über den Lichtgenuss der Pflanzen im arktischen Gebiete. Ebenda Bd. 109 (1900).
IV. Über den Einfluss des Sonnen- und des diffusen Tageslichtes auf die Laubentwicklung sommergrüner Holzgewächse. Ebenda Bd. 113 (1904).
V. Untersuchungen über den Lichtgenuss der Pflanzen im Yellowstonegebiet und in andern Gegenden Nordamerikas. Ebenda Bd. 114 (1905).
— Untersuchungen über das photochemische Klima.
I. Unters. ü. d. ph. Kl. von Wien, Kairo und Buitenzorg, unter Mitwirkung von W. Figdor, F. Krasser und L. Linsbauer. Denkschriften der k. Akad. der Wissensch. in Wien Bd. 44 (1896).
II. Beiträge zur Kenntnis d. ph. Kl. im arktischen Gebiet. Ebenda Bd. 67 (1898).
III. Beiträge zur Kenntnis d. ph. Kl. d. Yellowstone-Gebietes und einiger anderer Gegenden Nordamerikas, unter Mitwirkung von L. v. Portheim. Ebenda Bd. 80 (1906).
— Der Lichtgenuss der Pflanzen. Leipzig, Engelmann, 1907.