# Schriften
des
# Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein.

**Bogen 6—13. Seite 81—196. Band XII Heft 1. 1901.**
(Dritte Lieferung von Heft 1.)

**Vorstand:** Geh. M.-R. Prof. Dr. **V. Hensen,** Präsident; Prof. Dr. **L. Weber,** Erster Geschäftsführer; Privatdoc. Dr. **C. Apstein,** Zweiter Geschäftsführer; Oberlehrer Dr. **Gottschaldt,** Schriftführer; Stadtrat **F. Kähler,** Schatzmeister; Lehrer **A. P. Lorenzen,** Bibliothekar; Amtsgerichtsrat **Müller,** Prof. Dr. **Biltz,** Postrat **Mörsberger,** Oberlehrer Dr. **Langemann,** Beisitzer.

## Abhandlungen.

**Inhalt:** W. Schramm: Über die Verteilung des Lichtes in der Atmosphäre. — W. Wüstnei: Beiträge zur Insektenfauna Schleswig-Holsteins. — Karrass: Der Übergang vom philosophischen zum naturwissenschaftlichen Zeitalter. — W. Schaper: Das Nordlicht am 9. September 1898. —

## Über die Verteilung des Lichtes in der Atmosphäre

von Dr. **Wilh. Schramm.**

Die ersten Messungen des gesamten diffusen Tageslichtes sowohl als der direkten Sonnenstrahlung waren photochemischer Art. Bis zum Jahre 1855 war in dieser Richtung wenig oder garnichts geleistet. Das, was bis dahin an photochemischen Messungen unternommen war, hatte nur einen geringen Wert, weil einerseits die grundlegenden Gesetze der Photochemie noch ungenügend bekannt und untersucht waren, andererseits eine Aufstellung von Einheiten für die Messungen unterlassen war. Eine Definition der zu messenden Grössen war allerdings schon ca. 100 Jahre früher von Lambert in seiner Photometrie aufgestellt, doch war es nicht gelungen, diese Grössen praktisch durch exakte Messungen auszuwerten.

Im Jahre 1855 widmeten Bunsen und Roscoe ihre reiche Arbeitskraft diesem Zwecke. Sie gingen zunächst daran, die chemischen Wirkungen des Lichtes auf Jod, Brom und Chlor zu untersuchen. Nachdem sie in dieser Weise die Gesetze der Absorption, chemischen Induction u. s. w. hinreichend bestimmt hatten, führten sie als Einheit eine Lichtquelle ein, die sich in derselben Weise überall und zu jeder Zeit herstellen lässt. Im Anschluss hieran gaben sie eine Definition der photometrischen Einheit einer punktförmigen Lichtquelle, der chemischen Helligkeit oder des

chemischen Glanzes einer Fläche und der chemischen Beleuchtung, d. h. der Lichtmenge, die von irgendwie verteilten Lichtquellen auf eine Fläche einfällt. Mit Hülfe eines Chlorknallgasphotometers wurde dann zu Heidelberg einerseits die direkte Sonnenstrahlung, andererseits die von dem diffusen Lichte des blauen Himmels ausgehende Wirkung in zahlreichen Versuchen gemessen. Diesen Resultaten konnten sie theoretische Berechnungen über die Verteilung der von der Sonne ausgehenden chemischen Energie auf die einzelnen Planeten und des hiervon auf die Erde entfallenden Teiles über die einzelnen Punkte der Erdoberfläche anschliessen. Die hierauf sich beziehenden Abhandlungen sind in Pogg. Annalen der Physik und Chemie während der Jahre 1855 bis 1859 veröffentlicht worden.

Für die Beobachtung des Tageslichtes bei wechselnder Bewölkung war das Chlorknallgasphotometer nicht anwendbar. Um hierüber Messungen möglich zu machen, nahmen Bunsen und Roscoe die Einwirkung der Beleuchtung auf photographisches Papier zu Hülfe. Dieses Princip war vor ihnen von Hunt, Jordan, Herschel und anderen angewandt worden, aber alle hatten es unterlassen, einerseits eine photographische Schicht von stets gleicher Empfindlichkeit anzuwenden, andererseits eine überall in derselben Weise herstellbare Einheit für die Messungen einzuführen. Die Arbeiten von Bunsen und Roscoe sind hier wieder grundlegend. Nachdem sie ein Normalpapier von stets gleicher Empfindlichkeit hergestellt hatten, konnten sie ihren Messungen den Satz zu Grunde legen, dass gleiche Producte aus Lichtintensität und Insolationsdauer gleichen Schwärzungen des Normalpapieres entsprächen. Es wurde von ihnen in sorgfältigen Experimenten untersucht, ob dieser Satz in den weiten Grenzen, in denen das Tageslicht schwanken kann, Gültigkeit besitzt, und ihre Resultate bestätigten die Richtigkeit dieser Annahme. Es ist in neuester Zeit nachgewiesen worden, dass dieser Satz keine allgemeine Gültigkeit hat; bei hohen Lichtintensitäten treten vielmehr bedeutende Abweichungen auf. Darauf verschafften sich die beiden Forscher einen normalen Farbenton, der aus einer Mischung von 1000 Teilen chemisch reinen Zinkoxyds und einem Teile eben solchen Lampenrusses bestand. Sie wählten diesen Ton, weil er sich in derselben Weise immer wieder herstellen lässt, eine lange andauernde Constanz besitzt und in der Nähe dieses Farbentones feine Nuancierungen in der Färbung am genauesten unterschieden werden können. Die Stärke 1 hat nun die chemische Beleuchtung, welche in einer Sekunde auf ihrem photographischen Normalpapiere ihre Normalschwärze hervorbringt.

Für die Messung kleiner Zeitintervalle, die in Bezug auf die Genauigkeit der Resultate, besonders bei hohen Lichtintensitäten, von grosser Wichtigkeit war, benutzten sie Pendelschwingungen, mit Hülfe deren sie die Zeiten der Insolation bis auf Bruchteile von Sekunden genau bestimmen konnten.

Somit war zunächst eine Charakterisierung der Intensität des diffusen Tageslichtes möglich. In Pogg. Annalen Band 117 haben Bunsen und Roscoe ihre Methode und einige Messungen nach dieser Methode beschrieben, die in Manchester 1861 und 1862 gemacht sind.

Dies Verfahren mittelst des Pendelapparates war für häufig zu wiederholende Messungen, wie solche auch für dieses klimatische Element notwendig sind, zu umständlich. Es sind im Laufe der späteren Jahre mehrere Vereinfachungen von Roscoe, Stelling, Wiesner eingeführt, die jedoch alle als Grundprincip die ursprüngliche Idee von Bunsen und Roscoe enthalten und auch dieselbe Einheit für die Messung des diffusen Tageslichtes beibehalten. Ferner ist es nicht gelungen, die Genauigkeit der urspünglichen Messungen zu überbieten, ja, zum Teil ist eine Vereinfachung auf Kosten der Genauigkeit eingeführt. Eine Zusammenstellung derselben ist von Wiesner im Anfange seiner Abhandlung [1]) über das photochemische Klima von Wien, Cairo und Buitenzorg gegeben. Daselbst ist auch eine Angabe der Originallitteratur zu finden. Beobachtungen dieser Art über das photochemische Klima sind bis jetzt an folgenden Orten aufgestellt: Heidelberg, Manchester, Kew (bei London), Para, Quintado Estero Furado (bei Lissabon), Catania, St. Petersburg, Wien, Cairo, Buitenzorg, Advent-Bai, Hammerfest, Tromsö und Trondhjem. Die Resultate der photochemischen Messungen des direkten Sonnenlichtes bis zum Jahre 1879 hat J. Pernter [2]) zusammengestellt. Eine kurze Zusammenfassung der hauptsächlichsten Resultate über das photochemische Klima giebt Wiesner am Schlusse seiner schon citierten Abhandlung.

Eine auf Messungen ganz anderer Art beruhende Auswertung des diffusen Tageslichtes ist von Herrn Prof. L. Weber [3]) 1885 in der meteorologischen Zeitschrift angegeben. Überlegungen, die das Lambertsche Fundamentalgesetz zu Grunde legen, führen zu dem Schluss, dass man die Intensität des diffusen Tageslichtes bestimmen kann, wenn es gelingt, die Beleuchtungsstärke zu messen, welche für eine in verschiedene Lagen gebrachte ebene Fläche bewirkt

[1]) Wien 1896.

[2]) Zeitschrift der östreichischen Gesellschaft für Meteorologie. Band 14.

[3]) Meteorologische Zeitschrift. 1885.

wird. Da es nun keine dem Emanationsgesetze hinreichend gehorchende Fläche giebt, ist diese Beleuchtungsstärke nicht proportional der Flächenhelligkeit irgend einer ebenen Fläche, die beleuchtet wird. Es konnte aber auf Grund ausgeführter Experimente der Satz [1]) aufgestellt werden: die Helligkeit des transparenten Lichtes einer mattgeschliffenen Milchglasplatte, welche von diffusen Lichtquellen beleuchtet wird, kann im wesentlichen als proportional der Beleuchtung angesehen werden, die von jenen diffusen Lichtquellen auf die Glasplatte einfällt. Auf diesem Satze beruhen die Intensitätsbestimmungen des diffusen Tageslichtes von Herrn Prof. L. Weber. Nimmt man nun als Einheit eine der conventionellen Lichteinheiten an, z. B. die Paraffinkerze oder die Hefnerlampe, so ergiebt sich als Einheit für die Messung der Intensität des diffusen Tageslichtes diejenige Beleuchtung, welche von einer solchen Lichtquelle in der Entfernung von einem Meter bei senkrechter Incidenz auf eine ebene Fläche einfällt, die sogenannte Meternormalkerze. Die Schwierigkeit, dass die eine Beleuchtung erzeugenden Lichtquellen andere Farben als die Normalkerze haben, wird dadurch umgangen, dass man sich auf einen bestimmten Spektralbezirk beschränkt. Beobachtet man in zwei Farben, so kann man aus der Kombination beider Resultate und mit Hülfe besonderer auf Sehschärfebestimmungen bei Tageslicht und Lampenlicht gemachten Untersuchungen einen Zahlenwert für die Äquivalenz des Tageslichtes z. B. mit dem Normallicht in Bezug auf Sehschärfe herleiten. Sind die Farben Rot und Grün, in denen man das Tageslicht mit dem Normallicht vergleicht, so muss man die Lichtintensität in Rot mit einem Faktor k, der in diesem Falle immer ein unechter Bruch ist, multiplizieren, um den Äquivalenzwert für gleiche Sehschärfe zu finden. Dieser Factor k ist eine Funktion von dem Verhältnis der Messungen in Rot und Grün und kann auf empirischem Wege durch Vorversuche ermittelt werden [2]). Der Äquivalenzwert ist allerdings von den physiologischen Eigenschaften des Auges abhängig, welches im Laboratorium die Vergleichung der Sehschärfe in beiden Farben angestellt hat. Dieses Princip ist für die Tageslichtmessungen angewandt, welche mit dem Milchglasplattenphotometer ausgeführt werden. Beobachtungen dieser Art wurden zunächst in Breslau angestellt. Seit dem Jahre 1890 wird regelmässig die mittägliche Ortshelligkeit in Kiel zur Zeit des wahren Mittags gemessen, woraus die Resultate bis zum Jahre 1895 veröffentlicht worden sind [3]).

---

[1]) l. c. p. 168. [2]) Prof. L. Weber. Die Beleuchtung, pag. 56. [3]) Diese Schriften B. X. Heft I.

Es ist als ein Nachteil der Bunsen-Roscoeschen Auswertung des diffusen Tageslichtes anzusehen, dass sie einen Normalton als Einheit für die Messung zu Grunde legt, nicht etwa die Schwärzung des photographischen Papieres, wie sie durch Beleuchtung des Tageslichtes erzeugt wird, mit der auf demselben Papier durch eine Normalflamme bewirkten Schwärzung vergleicht. Ein konstanter Farbenton ist schwer herzustellen, und seine Anwendung erfordert den Gebrauch eines ganz bestimmten Normalpapieres. Hierin liegt die grosse Schwierigkeit, allgemein vergleichbare Beobachtungswerte zu erhalten; aber nur solche haben für die Beurteilung des photochemischen Klimas der Erde einen Wert. Solange die Beobachtungen von Bunsen und Roscoe selbst oder von ihnen nahe stehenden Beobachtern auf ihre direkte Veranlassung ausgeführt wurden, machte sich dies nicht so fühlbar. Als aber Wiesner in Wien solche Messungen anstellen wollte, konnte er sich nur mit vieler Mühe die Gewissheit verschaffen, dass sein Normalton dem Bunsenschen gleich war, dessen Albedo nirgends zahlenmässig angegeben ist. Dazu kommt, dass diese Methode trotz der Vereinfachungen immerhin noch zu mühselig, zeitraubend und schwer ist, um sie an physikalischen Laboratorien täglich an einem bestimmten Termine Jahre hindurch für Beobachtungen zu verwenden. Diese Schwierigkeiten umgeht die Auswertung mittelst mattgeschliffener Milchglasplatten. Grosse Sorgfalt erfordert allerdings die Bestimmung der Transparenz der Platten. Hat man jedoch für die einzelnen zu verwendenden Platten die Durchlässigkeit gemessen, die durch exacte Messungen gefunden und in Konstanten zahlenmässig festgelegt werden kann, so lassen sich nach dieser Methode bequem Beobachtungen machen, deren regelmässige Durchführung nicht zu grosse Anforderungen an die physikalischen Laboratorien stellt. Man legt durch eine Beobachtung allerdings nur den Beleuchtungszustand eines bestimmten Augenblickes fest, während die photochemische Methode die durchschnittliche Lichtstärke angiebt, die während eines kleinen Zeitintervalles vorhanden ist; auch wird es möglich sein, durch selbst registrierende Apparate mittelst des photochemischen Verfahrens den Gang der täglichen Helligkeit aufzuzeichnen. Doch, wie bei allen übrigen meteorologischen Factoren, muss auch hier eine absolute Bestimmung, die an verschiedenen Orten Jahre hindurch regelmässig vorgenommen wird, die Grundlage bilden, auf der eine Erforschung dieses Teils der Klimatologie sich aufbaut. Und hierzu eignet sich besonders das Milchglasplattenphotometer.

---

Einer Anregung des Herrn Prof. L. Weber folgend, habe ich Messungen über die Verteilung der Beleuchtung nach den einzelnen Quadranten angestellt, in der Weise, dass ich die auf eine nach den verschiedenen Himmelsrichtungen vertikal gestellte, mattgeschliffene Milchglasplatte fallende Beleuchtung mit derjenigen Beleuchtung verglichen habe, die gleichzeitig auf eine horizontal gelegene, ebensolche Platte einfällt. Die Wichtigkeit solcher relativen photometrischen Messungen, besonders in pflanzenphysiologischer Beziehung, liegt ja auf der Hand und ist in der einschlägigen Litteratur, wie z. B. bei J. Wiesner, auch näher behandelt worden. Soweit mir bekannt ist, sind derartige Messungen des diffusen Tageslichtes nur von J. Wiesner [1]) veröffentlicht worden. Derselbe misst chemische Wirkung des Lichtes. Die Resultate sind aber die trotz der verschiedenen Methoden mit den meinigen vergleichbar, weil Bunsen und Roscoe gezeigt haben, dass die chemischen und optischen Helligkeiten bei derselben Lichtquelle einander proportional sind.

Ebenso wichtig, wie die Verteilung der Beleuchtung in Bezug auf den Lichtgenuss der Pflanzen, ist die Verteilung der Flächenhelligkeit des Himmels für die Beurteilung der Beleuchtungsgüte von Innenräumen. Die Güte der Beleuchtung eines Platzes in einem Zimmer ist einerseits von der Grösse des sichtbaren Stückes des Himmels, sodann von der Helligkeit dieses sichtbaren Teiles abhängig, wenn wir von den oftmals an den Fenstern befindlichen, Licht diffundierenden Gegenständen, wie z. B. Gardinen, und von dem durch die Wände reflectierten Lichte absehen. Mit Hülfe des von Herrn Prof. L. Weber konstruierten Raumwinkelmessers lässt sich das sichtbare Stück des Himmels bequem seiner Grösse nach messen. Welchen Unterschied es aber macht, ob dieses Stück nach Süden, Norden, Osten oder Westen liegt, darüber fehlen bis jetzt jegliche Angaben. Um nun mittlere Werte für die Verteilung der Flächenhelligkeit zu gewinnen, habe ich Beobachtungen bei vollkommen heiterem und bei ganz gleichmässig bewölktem Himmel angestellt. Aus den Resultaten dieser letzten Art von Beobachtungen und aus der Verteilung der Beleuchtung nach den einzelnen Quadranten bei beliebig bewölktem Himmel habe ich mittelst Rechnung die mittlere Verteilung der Helligkeit bei ungleichmässig bewölktem Himmel bestimmt. Aus der Kombination dieser Zahlenwerte mit denen für unbewölkten Himmel kann dann eine mittlere Isophotenkarte gewonnen werden. Über diesen Gegenstand ist bis jetzt

[1]) Wiesner. Beiträge zur Kenntnis des photochemischen Klimas im arktischen Gebiet. Wien 1898.

nur das Resultat einer Messung veröffentlicht, die Herr Prof. Weber[1]) im August 1893 anstellte, und eine Messung der Helligkeitsverteilung längs des durch die Sonne gelegten Vertikals von H. Wild[2]).

Zum Schlusse der Einleitung bemerke ich noch, dass der Zweck dieser Arbeit sein soll, zu orientieren, in möglichst gut fundierten Mittelwerten anzugeben, mit welchen Zahlengrössen man auf diesem Gebiete der atmosphärischen Optik zu rechnen hat.

---

Die Verteilung der Beleuchtung nach den einzelnen Quadranten und der Flächenhelligkeit des Himmels ändert sich vornehmlich mit dem Sonnenstande und der Bewölkung des Himmels. Da der Stand der Sonne durch Höhe und Azimuth bestimmt wird, so werden die erhaltenen Zahlenwerte nach drei variierenden Grössen zu ordnen sein. Um dieselben übersichtlicher zu machen, habe ich die Variation des Sonnenazimuthes dadurch eliminiert, dass ich die Orientierung des Instrumentes nach dem jeweiligen Sonnenstande eingerichtet habe. Unter Süden ist im Folgenden daher immer die Himmelsrichtung verstanden, in welcher die Sonne steht. Wiesner hat seinen Apparat teils in derselben Weise, teils nach den wahren Himmelsrichtungen eingestellt.

Um eine schnelle Einstellung des Instrumentes zu ermöglichen, habe ich mir zunächst eine Tabelle der Sonnenazimuthe von Kiel für wahre Sonnenzeit hergestellt. Die in der Astronomie hierfür gebräuchliche Formel lautet: $\operatorname{tg} A = \frac{\cos M \,.\, \operatorname{tg} t}{\sin (\varphi - M)}$. Darin bedeutet A das Azimuth der Sonne, $\varphi$ die geographische Breite von Kiel, M ist bestimmt durch $\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} d}{\cos t}$. Die Tabelle ist durchgerechnet für den 20. Tag eines jeden Monats von Stunde zu Stunde. Östliches Azimuth ist negativ, westliches positiv gesetzt.

Mit Hülfe dieser Tabelle habe ich mir für diejenigen Monate, in denen ich meine Beobachtungen angestellt habe, durch Interpolation die Werte der Sonnenazimuthe für jede ganze Stunde der einzelnen Tage berechnet. Da mir nun die Zeit des wahren Mittags für Kiel nach mitteleuropäischer Zeit bekannt war, konnte ich für den Termin der Beobachtung das Sonnenazimuth aus diesen Tabellen interpolieren. Dies Verfahren schien mir hinreichend genau. Sobald nämlich die Sonne sichtbar war, wurde die Einstellung des Instrumentes direkt mittelst Schattenvisierens bewerkstelligt. Für diesen

---

[1]) L. Weber. Die Beleuchtung im Handbuch d. Hygiene. B. IV. I. p. 76.

[2]) H. Wild. Photometrische Bestimmung des diffusen Tageslichtes.

## Tabelle der Sonnenazimuthe von Kiel.

| Wahre Sonnenzeit | Januar | Februar | März | April | Mai | Juni | Juli | August | September | Oktober | November | Dezember |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $5^h$ | — | — | — | — | —113° 39′ | —115° 37′ | —113° 58′ | — | — | — | — | — |
| $6^h$ | — | — | —89° 58′ | —96° 50′ | 102° 0′ | 104° 12′ | 102° 23′ | —97° 18′ | —90° 35′ | — | — | — |
| $7^h$ | — | —71° 36′ | 77° 42′ | 84° 38′ | 89° 52′ | 92° 32′ | 89° 27′ | 85° 8′ | 78° 18′ | —71° 48′ | — | — |
| $8^h$ | —54° 26′ | 59° 9′ | 64° 51′ | 71° 42′ | 77° 29′ | 79° 58′ | 77° 50′ | 72° 11′ | 65° 26′ | 59° 20′ | —54° 35′ | —52° 43′ |
| $9^h$ | 41° 56′ | 45° 53′ | 50° 53′ | 57° 15′ | 62° 54′ | 65° 33′ | 63° 14′ | 57° 44′ | 51° 25′ | 46° 2′ | 42° 3′ | 40° 31′ |
| $10^h$ | 27° 9′ | 31° 32′ | 35° 23′ | 40° 34′ | 45° 31′ | 47° 58′ | 45° 56′ | 40° 59′ | 35° 48′ | 31° 39′ | 28° 42′ | 27° 36′ |
| $11^h$ | 15° 0′ | 16° 7′ | 18° 15′ | 21° 16′ | 24° 21′ | 25° 57′ | 24° 36′ | 19° 14′ | 18° 28′ | 16° 11′ | 14° 35′ | 14° 0′ |
| $12^h$ | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° | 0° |
| $1^h$ | +15° 0′ | +16° 7′ | +18° 15′ | +21° 16′ | + 24° 21′ | + 25° 57′ | + 24° 36′ | +19° 14′ | +18° 28′ | +16° 11′ | +14° 35′ | +14° 0′ |
| $2^h$ | 27° 9′ | 31° 32′ | 35° 23′ | 40° 34′ | 45° 31′ | 47° 58′ | 40° 56′ | 40° 59′ | 35° 48′ | 31° 39′ | 28° 42′ | 27° 36′ |
| $3^h$ | 41° 56′ | 45° 53′ | 50° 53′ | 57° 15′ | 62° 54′ | 65° 33′ | 63° 14′ | 57° 44′ | 51° 25′ | 46° 2′ | 42° 3′ | 40° 31′ |
| $4^h$ | 54° 26′ | 59° 9′ | 64° 51′ | 71° 42′ | 77° 29′ | 79° 58, | 77° 50′ | 72° 11′ | 65° 26′ | 59° 20′ | 54° 35′ | 52° 43′ |
| $5^h$ | — | 71° 36′ | 77° 42′ | 84° 38′ | 89° 52′ | 92° 32′ | 89° 27′ | 85° 8′ | 78° 18′ | 71° 48′ | — | — |
| $6^h$ | — | — | 89° 58′ | 96° 50′ | 102° 0, | 104° 12′ | 102° 23′ | 97° 18′ | 90° 35′ | — | — | — |
| $7^h$ | — | — | — | — | 113° 39′ | 115° 37′ | 113° 58′ | 109° 18′ | — | — | — | — |
| $8^h$ | — | — | — | — | — | 127° 17′ | — | — | — | — | — | — |

Fall war eine genaue Einstellung notwendig, weil sonst auf die nach Westen oder Osten gerichtete Mattscheibe direktes Sonnenlicht gefallen wäre und den Wert der Beleuchtung nach dieser Seite hin hätte bedeutend modifizieren können. Wenn aber die Bewölkung so dicht war, dass der Stand der Sonne nicht zu erkennen war, zeigte sich, dass kaum ein Einfluss geringer Abweichungen von der genauen Richtung nach Ort oder Wert zu spüren war.

Um für den Platz der Beobachtungen, welcher auf dem flachen Dache des hiesigen physikalischen Institutes lag, die Himmelsrichtungen festzulegen, fixierte ich mit einem Theodoliten zur Zeit des wahren Mittags die Nordsüdrichtung. Als ich dann verschiedene Spitzen in der Stadt anpeilte, fand ich, dass die Thurmspitze eines Gebäudes W $^1/_2{}^0$ S lag. Mittelst dieser Beziehungen war mir eine Orientierung mit genügender Genauigkeit und Schnelligkeit möglich.

Um die Intensität des transparenten Lichtes der horizontal und vertikal gestellten mattgeschliffenen Milchglasplatten mit einander zu vergleichen, wurde das Prinzip der Abschwächung des Lichtes durch Polarisation mittelst Nicolscher Prismen angewandt, wie es von Herrn Prof. L. Weber in der Anordnung des Polarisationsphotometers zu Grunde gelegt ist. Dasselbe besteht aus einem Haupttubus und einem knieförmig angesetzten Nebentubus. Beide lassen sich einzeln für sich, um dieselbe horizontale Axe drehen. Die oberen Enden der Tuben sind mit Fassungen versehen, in denen man, je nach Bedarf, mattgeschliffene oder gewöhnliche Milchglasplatten anbringen kann. Im Haupttubus kann das einfallende Licht durch 2, einzeln für sich um dieselbe Axe drehbare Nicolsche Prismen in messbarer Weise geschwächt werden. Beide Lichtstrahlen werden dann durch ein Reflexions- und Lummer-Brodhunsches Prisma in der Weise vereinigt, dass in dem Apparate ein Gesichtsfeld erscheint, welches aus einem Kreise und einem diesen Kreis umgebenden concentrischen Ringe besteht. Der innere Teil desselben erhält sein Licht durch die Nicolschen Prismen, der äussere aus dem Nebentubus. Beide Tuben sind an einem Stativ befestigt, das, wie bei einem Theodoliten, drehbar und mit einem Teilkreise versehen ist. Um Lichtquellen von ungleicher Färbung mit einander zu vergleichen, befindet sich am unteren Ende des Haupttubus eine Fassung zur Aufnahme von farbigen Gläsern. Solche brauchten jedoch bei meinen Beobachtungen nicht angewandt zu werden, da beide Helligkeiten von gleichartigen Lichtquellen herrührten. Mit einem kleinen, vorgeschalteten Fernrohr kann die Genauigkeit der Ablesung vergrössert werden. Eine genauere Beschreibung des In-

strumentes findet sich in: „Beiträge zur Photometrie des Himmels“ von C. Jensen. Kiel 1898 pag. 39 f. [1])

Für die Vergleichung der Beleuchtungen wurden beide Tuben oben mit einer mattgeschliffenen Milchglasplatte verschlossen. Das vordere Nicol wurde ein für alle Mal auf 0 eingestellt. Dann wurden zunächst beide Tuben auf das Zenith gerichtet und für das zweite Nicol die Stellung aufgesucht, bei welcher der centrale und periphere Teil des Gesichtsfeldes gleiche Helligkeit zeigten, was sich mit grosser Genauigkeit bestimmen lässt. Es giebt 2 solche Stellungen des Nicols, die annähernd symmetrisch zu der Nullstellung liegen. Immer wurden beide Stellungen aufgesucht und aus ihnen das Mittel genommen. Sodann wurde der Nebentubus horizontal gestellt, nach Süden, Norden, Osten und Westen gerichtet und das zweite Nicol eingestellt. Die Komponente des durch das erste Nicol in der Ebene mit dem Azimuth $\alpha = o$ gradlinig polarisierten Lichtstrahls wird durch das zweite Nicol proportional $\frac{1}{\cos(90 - \alpha)} = \frac{1}{\sin \alpha}$ verkleinert, die Intensität des Lichtstrahles wird also bei dem Durchgange durch das zweite Nicol proportional $\frac{1}{\sin^2 \alpha}$ geschwächt. Es sei nun $J_z$ die horizontale, $J_s$ die von Süden einfallende vertikale Beleuchtung, h und H seien die Helligkeiten des centralen und peripheren Teiles des Gesichtsfeldes, $\alpha$ und $\beta$ die Ablesungen bei der Zenithstellung und der horizontalen Stellung des Nebentubus. Dann ist: $\frac{h}{\sin^2 \alpha} = k_1 J_z$.

$H = k_2 J_z$, wo $k_1$ und $k_2$ gewisse Konstanten sind, die von der Transparenz der Milchglasscheiben und von der Schwächung des Lichtes bei dem Durchgang durch die verschiedenen Prismen abhängen. Da h = H gemacht ist, ergiebt die Division beider Gleichungen: $\frac{k_1}{k_2} = \frac{1}{\sin^2 \alpha}$. Ferner erhalten wir für die Beleuchtung von Süden:

$\frac{h}{\sin^2 \beta} = k_1 J_z$

$H = k_2 J_s$. Wieder ist h = H gemacht;

$\frac{1}{\sin^2 \beta} = \frac{k_1}{k_2} \frac{J_z}{J_s}$.

$J_s = \frac{k_1}{k_2} \sin^2 \beta . J_z$. Setze ich nun für $\frac{k_1}{k_2}$ den oben gefundenen Wert und für $J_z$ den Wert 1 ein, so resultiert:

$J_s = \frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \alpha}$.

[1]) Vergl. auch diese Schriften. Bd. VIII Heft 2. S. 187—198 sowie Z. S. f. Instrumentenkunde. Bd. XI. Jan. 1891.

Dieselbe Gleichung gilt natürlich auch für die Beleuchtung von Osten, Westen und Norden. Nach dieser Formel wurden die einzelnen Beobachtungen ausgerechnet. Die Resultate sind also relative Masszahlen für Beleuchtung, welche auf eine nach den einzelnen Quadranten des Himmels vertikal gerichtete Fläche einfällt, bezogen auf die als Einheit gesetzte Beleuchtung, die gleichzeitig auf eine horizontale Fläche fällt. Um absolute Werte zu erhalten, muss man die Intensität des gesamten diffusen Tageslichtes kennen. Das hierzu nötige Material konnte ich aus den Akten der mittäglichen Tageslichtmessungen zu Kiel entnehmen.

Um die Fehlergrenzen der Beobachtungen zu ermitteln, wurden einige Vorversuche im Dunkelzimmer von mir angestellt. Statt des gewöhnlichen Nebentubus wurde ein mit einem Brennergehäuse versehener Tubus in das Polarisationsphotometer eingesetzt. In diesem brannte eine Benzinkerze, deren Höhe genau regulirt werden konnte. Das von dieser ausgehende Licht fiel auf eine in dem Seitentubus befindliche Milchglasplatte, wodurch eine möglichst konstante Lichtquelle hergestellt wurde. Der Haupttubus des Photometers war mit einer Milchglasplatte verschlossen, auf die das Licht einer sehr konstant brennenden Petroleumlampe senkrecht auffiel. Diese Petroleumlampe wurde auf einer optischen Bank verschoben, sodass ihr Abstand von der Milchglasplatte des Haupttubus genau reguliert werden konnte. Das vordere Nicol wurde auf 0 Grad eingestellt, durch Drehung des hinteren Nicols wurde gleiche Helligkeit im Gesichtsfelde des Photometers hergestellt. Da die Milchglasplatte im Nebentubus und mit ihr der periphere Teil des Gesichtsfeldes eine konstante Helligkeit behielt, so müssen die gleichen Helligkeiten des centralen Teiles einmal proportional mit $\frac{1}{\sin^2 \alpha}$ sein, wenn $\alpha$ der abgelesene Winkel ist, sodann mit $\frac{1}{r^2}$, wo unter r die Entfernung der Petroleumlampe von der am vorderen Haupttubus befindlichen Milchglasplatte verstanden ist. Als Kriterium der Genauigkeit kann also die Übereinstimmung der Proportionen dienen:

$$\frac{\sin \alpha}{r_1} : \frac{\sin \alpha_2}{r_2} : \frac{\sin \alpha_3}{r_3} : \ldots\ldots\ldots$$

Bei den Beobachtungen über die Verteilung der Beleuchtung war der Haupttubus mit einer mattgeschliffenen Milchglasplatte verschlossen. An derselben Stelle befand sich in diesen Versuchen die Milchglasplatte, auf welche das Licht der Petroleumlampe senk-

recht auffiel. In beiden Fällen war also die relative Lage der leuchtenden Fläche zu den Nicols dieselbe. Bei den später zu beschreibenden Messungen über die Flächenhelligkeit des Himmels fiel diese Milchglasplatte fort. Eine gleiche Anordnung für die Versuche im Dunkelzimmer konnte auf folgende Weise erreicht werden. Auf einen weissen Schirm fiel senkrecht das Licht der Petroleumlampe. Diese wurde wiederum auf der optischen Bank verschoben. Die Flächenhelligkeit des Punktes auf dem Schirm, den die Lichtstrahlen senkrecht trafen, wurde in dem etwas seitwärts aufgestellten Photometer mit derselben konstanten Lichtquelle verglichen. Als Kriterium dient wieder die Übereinstimmung der obigen Proportionen, nur ist unter r jetzt der Abstand der Petroleumlampe vom weissen Schirm zu verstehen. Im Folgenden teile ich zwei Beobachtungsreihen der ersten und eine der zweiten Art mit:

Setzen wir das quadratische Gesetz als vollkommen richtig voraus, so stammen diese Abweichungen daher, dass einerseits das Cosinusquadratgesetz nicht ganz genau ist, andrerseits das menschliche Auge nur bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit Helligkeitsunterschiede wahrnehmen kann. Die Ungenauigkeit des Cosinusquadratgesetzes ist sowohl eine prinzipielle, die allgemein mit der Schwächung des Lichtes durch Nicolsche Prismen verbunden ist, als auch eine jedem einzelnen Apparate eigentümliche, die von der Menge des an der Fassung der Nicolschen Prismen diffus reflektierten Lichtes herrührt. Wie jene prinzipiellen Fehler es rechnungsmässig sind, so scheinen auch die letztgenannten Fehler derartig gering zu sein, dass sie vollkommen von den unregelmässigen Schwankungen überdeckt werden, welche einer ungenauen Einstellung auf gleiche Helligkeit im Gesichtsfelde zuzuschreiben sind. Eine Gesetzmässigkeit in den Abweichungen lässt sich nicht erkennen, daher kann auch keine Korrektion an den Beobachtungswerten angebracht werden. Die Abweichungen sind auch derartig gering, dass sie auf das Endresultat der Untersuchungen keinen Einfluss ausüben können. Die Mittelwerte der logarithmischen Abweichungen betragen 0,00369, 0,00231 und 0,00175, das Hauptmittel aus diesen beträgt 0,00258. Nach der oben abgeleiteten Formel sind die Beleuchtungsstärken proportional dem Quadrate des Sinus, für die Logarithmen desselben ergiebt sich also eine mittlere Unsicherheit von 0,00516, was für die Numeri eine Ungenauigkeit von 1,2% bedeutet. Das Maximum der Abweichungen ist 0,01436, dies entspricht einer Ungenauigkeit von 3,36%. Ein solches Mass der Genauigkeit ist für den vorliegenden Fall vollkommen ausreichend,

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. | | | | | | | | | | | |
| $\alpha$ | 15,75° | 18,52 | 21,08 | 23,62 | 26,20 | 29,70 | 35,10 | 42,35 | 49,23 | 58,20 | 67,40 |
| r | 30 cm | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 65 | 75 | 85 | 95 | 105 |
| log sin $\alpha$ | 9,43367 | 9,50193 | 9,55590 | 9,60279 | 9,64494 | 9,69501 | 9,75967 | 9,82844 | 9,87929 | 9,92936 | 9,96530 |
| log r | 1,47712 | 1,54407 | 1,60206 | 1,65321 | 1,69897 | 1,74036 | 1,81291 | 1,87506 | 1,92942 | 1,97772 | 2,02119 |
| $\log\left(\frac{\sin\alpha}{r}\right)$ | 7,95655 | 7,95786 | 7,95384 | 7,94958 | 7,94597 | 7,95465 | 7,94676 | 7,95338 | 7,94987 | 7,95164 | 7,94411 |
| Abweichung vom Mittel | +0,00526 | +0,00657 | −0,00255 | −0,00171 | −0,00532 | +0,00336 | −0,00453 | +0,00209 | −0,00142 | +0,00035 | −0,00718 |
| II. | | | | | | | | | | | |
| $\alpha$ | 18,38° | 21,95 | 25,10 | 28,72 | 32,10 | 36,00 | 43,62 | 51,80 | 64,02 | — | — |
| r | 30 cm | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 65 | 75 | 85 | — | — |
| log sin $\alpha$ | 9,49874 | 9,57264 | 9,62757 | 9,68172 | 9,72524 | 9,76922 | 9,83877 | 9,89534 | 9,95373 | — | — |
| log r | 1,47712 | 1,54407 | 1,60206 | 1,65321 | 1,69897 | 1,74036 | 1,81291 | 1,87506 | 1,92942 | — | — |
| $\log\left(\frac{\sin\alpha}{r}\right)$ | 8,02162 | 8,02857 | 8,02551 | 8,02851 | 8,02627 | 8,02886 | 8,02586 | 8,02028 | 8,02431 | — | — |
| Abweichung vom Mittel | −0,00391 | +0,00304 | −0,00002 | +0,00298 | +0,00074 | +0,00333 | −0,00033 | −0,00525 | −0,00122 | — | — |
| III. | | | | | | | | | | | |
| $\alpha$ | 17,45° | 19,82 | 22,52 | 25,38 | 27,88 | 33,40 | 39,45 | 45,88 | 52,05 | 62,25 | — |
| r | 35 cm | 40 | 45 | 50 | 55 | 65 | 75 | 85 | 95 | 105 | — |
| log sin $\alpha$ | 9,47694 | 9,53028 | 9,58320 | 9,63208 | 9,66989 | 9,74265 | 9,80305 | 9,85606 | 9,89683 | 9,94694 | — |
| log r | 1,54407 | 1,60206 | 1,65321 | 1,69897 | 1,74036 | 1,81291 | 1,87506 | 1,92942 | 1,97772 | 2,02119 | — |
| $\log\left(\frac{\sin\alpha}{r}\right)$ | 7,93287 | 7,92822 | 7,92999 | 7,93311 | 7,92953 | 7,92974 | 7,92799 | 7,92664 | 7,92911 | 7,92575 | — |
| Abweichung vom Mittel | +0,00357 | −0,00108 | +0,00069 | +0,00381 | +0,00023 | +0,00044 | −0,00131 | −0,00266 | −0,00019 | −0,00355 | — |

es ist auch kaum auf einem anderen Wege eine genauere Bestimmung zu erreichen. Wiesner hat als mittleren Fehler seines Verfahrens $\pm$ 5 %, als wahrscheinlichen Fehler $\pm$ 2,7 % gefunden.

Sämtliche Beobachtungen wurden auf dem flachen Dache des physikalischen Instituts angestellt. Der Horizont ist von dem Beobachtungsort aus nach allen Richtungen hin frei; nur nach Südosten hin liegt in einer Entfernung von einigen hundert Metern ein Kirchturm und eine Anzahl von Gebäuden, die etwas höher als das Dach des Instituts sind. Der Einfluss derselben dürfte unbedeutend sein. Und selbst, wenn dies nicht ganz der Fall wäre, so würde sich der daraus entstehende Fehler bei den Endresultaten teilweise herausheben, weil wegen der wechselnden Orientierung des Instruments diese Himmelsrichtung von Südwest über Süd nach Nordost schwankte.

Bei der Angabe der Bewölkung habe ich die in der Meteorologie üblichen Zeichen und Termini gewählt. Für den Sonnenschein bedeutet:

$S_0$ : Sonne völlig bedeckt, sodass der Ort, an welchem sie sich befindet, nicht erkennbar ist;

$S_{0+}$ : Die Stelle, wo die Sonne steht, ist als heller Schein am Himmel sichtbar, Sonnenschein findet aber nicht statt;

$S_1$ : Sonnenschein findet statt, aber die Sonne ist von leichtem Dunst oder einem schwachen Wolkenschleier bedeckt;

$S_2$ : Die Sonne scheint vollkommen unbedeckt.

Die gleichzeitigen Sonnenhöhen habe ich aus einer Zeichnung entnommen, welche Herr Prof. L. Weber mir gütigst zur Verfügung stellte. Auf dieser sind die Zeiten als Abscissen, die dazu gehörigen Sonnenhöhen als Ordinaten aufgetragen, und die einzelnen Punkte durch eine ausgeglichene Kurve mit einander verbunden. Da dies für jeden Grad der Sonnendeklination durchgeführt ist, so können die Sonnenhöhen für jede Zeit abgelesen werden. Für einige Sonnenhöhen sind die direkt berechneten Werte mit den aus diesen Kurven abgelesenen Werten verglichen. Es zeigte sich, dass die Sonnenhöhen bis auf 0,2° genau abgelesen werden konnten.

Im Folgenden gebe ich eine Zusammenstellung des gefundenen Materials. Dasselbe habe ich in zwei Gruppen geordnet, je nachdem zur Zeit der Beobachtung Sonnenschein stattfand oder nicht. Letzteres habe ich in zweifelhaften Fällen damit entschieden, ob ein in der Nähe aufgestellter Sonnenscheinautograph aufzeichnete. In den beiden Gruppen sind die Werte nach steigenden Sonnenhöhen geordnet. $J_s$, $J_n$, $J_e$, $J_w$, bedeuten die Beleuchtungen nach

Süden, Norden, Osten und Westen, wobei sich die Himmelsrichtungen also mit der Sonne drehen. Unter gesamtem Vorderlicht ist $J_s + J_n + J_e + J_w$ zu verstehen, während mittleres Vorderlicht $\frac{J_s + J_n + J_e + J_w}{4}$ bedeutet. Die Gesamtbeleuchtung für die horizontale Fläche ist, wie schon einmal angeführt wurde, immer = 1 gesetzt. Dreistellige Zahlenwerte sind bei dem oben ausgerechneten mittleren Fehler von $\pm$ 1,2% hinreichend genau.

Für die Feststellung der absoluten Werte benutzte ich, wie oben erwähnt, die Resultate der regelmässig durchgeführten mittäglichen Tageslichtmessungen am hiesigen physikalischen Institute. Dieselben werden mit dem Milchglasplattenphotometer ausgeführt. Die Einheit dieser Messungen sind 1000 Meterkerzen, d. h. dasjenige diffuse Tageslicht hat die Intensität 1, welches auf eine horizontale Fläche ebensoviel Licht auffallen lässt als 1000 in 1 m Distanz aufgestellte Normalkerzen, wobei als Normallicht die Hefnerlampe gewählt ist. Ich habe nun aus den Messungen der Jahre 1898 und 1899 für die Tage, an welchem eine mittägliche Sonnenhöhe von 12°—19°, ferner von 20°—29° usw. vorhanden war, zunächst diejenigen herausgesucht, bei deren Ausführung kein Sonnenschein vorhanden gewesen ist, und aus diesen das Mittel genommen. Sodann habe ich in derselben Weise die Messungen behandelt, welche bei Sonnenschein ausgeführt sind. Damit gewinne ich einen Überblick darüber, wie die Ortshelligkeit an bewölkten und unbewölkten Tagen mit der Sonnenhöhe zunimmt, wenn ich die gewiss berechtigte Annahme mache, dass der mittlere tägliche Gang der Beleuchtung lediglich von der Sonnenhöhe abhängt, also um 12 Uhr mittags den höchsten Punkt erreicht. Ich habe die Äquivalenzwerte, welche aus den Beobachtungen in Rot und Grün gewonnen sind, genommen, weil sie für die Sehschärfe die massgebenden sind. Die den Mittelwerten in Klammern hinzugefügten Zahlen bedeuten die Anzahl der Einzelmessungen, aus denen die mitgeteilte Zahl das Mittel ist.

Um aus diesen nun die absoluten Werte des Vorderlichtes für die Sonnenhöhe von 12°—19°, 20°—29° usw. zu erhalten, sind die absoluten Werte des Oberlichtes mit den mittleren relativen Werten des Vorderlichtes für die entsprechenden Sonnenhöhen zu multiplizieren; für diese relativen Zahlen war ja der Wert des Oberlichtes = 1 gesetzt.

Es mag noch hinzugefügt werden, dass die Beobachtungen vom November 1899 bis zum Juni 1900 angestellt sind.

## Relative Intensitäten des Vorderlichtes bei bewölktem Himmel.

| Nr. | Datum | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht | Sonne Höhe | Sonne Schein | Bewölkung | Art der Bewölkung und Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 6./XII. p. | 0,637 | 0,433 | 0,481 | 0,457 | 0,502 | $0^0$ | 0 | 10 | strat. Etwas Abendrot. |
| 2. | 29./XII. p. | 0,504 | 0,408 | 0,441 | 0,446 | 0,450 | $0^0$ | 0 | $10^2$ | strat. cumulostr. $\equiv^0$. Etwas Abendrot. |
| 3. | 25./XI. a. | 1,000 | 0,481 | 0,531 | 0,637 | 0,662 | $4^0$ | 0 | $10^0$ | cirr. cirrostr. Dunst. Morgenrot. |
| 4. | 29./XI. p. | 0,342 | 0,304 | 0,304 | 0,382 | 0,333 | $4^0$ | 0 | $10^2$ | strat. bes. dunkel. |
| 5. | 12./I. p. | 0,762 | 0,446 | 0,380 | 0,414 | 0,500 | $5^0$ | 0 | $10^{2-0}$ | strat. mit wechselden nimb. In S rötliche Streifen. |
| 6. | 30./XI. p. | 0,401 | 0,335 | 0,335 | 0,378 | 0,362 | $6^0$ | 0 | $10^2$ | strat. $\equiv^0$. |
| 7. | 11./I. p. | 0,342 | 0,351 | 0,371 | 0,364 | 0,357 | $8^0$ | 0 | $10^2$ | strat. u. nimb. $\equiv^1$. |
| 8. | 28./XII. p. | 0,881 | 0,574 | 0,597 | 0,711 | 0,693 | $9^0$ | 0 | $10^2$ | strat. |
| 9. | 16./I. p. | 0,546 | 0,480 | 0,610 | 0,500 | 0,534 | $9^0$ | 0 | $10^2$ | $\equiv^2$. |
| | Mittel | 0,602 | 0,424 | 0,450 | 0,477 | 0,488 | | | | |
| 10. | 1./XII. p. | 0,472 | 0,448 | 0,378 | 0,401 | 0,425 | $11^0$ | 0 | $10^2$ | strat. $\equiv^1$ $\bullet^0$. |
| 11. | 5./II. p. | 0,353 | 0,285 | 0,355 | 0,318 | 0,328 | $11^0$ | 0 | $10^2$ | strat. cumulostr. Dunst. |
| 12. | 14./XII. p. | 0,895 | 0,552 | 0,730 | 0,895 | 0,768 | $12^0$ | 0 | $10^{2-1}$ | stratus. Schneedecke. |
| 13. | 16./XII. a. | 0,721 | 0,410 | 0,457 | 0,610 | 0,550 | $12^0$ | 0+ | $10^{2-0}$ | $\equiv^1$ Dunst der Stadt in N u. E. Schneedecke. |
| 14. | 25./XII. p. | 0,630 | 0,497 | 0,630 | 0,630 | 0,597 | $12^0$ | 0 | $10^2$ | $\equiv^2$ Schneedecke. |
| 15. | 27./XII. p. | 1,530 | 0,454 | 0,675 | 0,705 | 0,841 | $12^0$ | 0+ | $10^1$ | strat. Dunst, Schneedecke. |
| 16. | 9./I. p. | 0,366 | 0,419 | 0,410 | 0,373 | 0,392 | $12^0$ | 0 | $10^2$ | strat. $\equiv^1$. |
| 17. | 10./I. a. | 0,532 | 0,461 | 0,541 | 0,404 | 0,484 | $12^0$ | 0 | $10^2$ | strat. mit nimbi $\equiv^1$. |
| 18. | 12./I. a. | 0,374 | 0,374 | 0,396 | 0,327 | 0,368 | $13^0$ | 0 | $10^2$ | $\equiv^2$ $\bullet^0$. |
| 19. | 23./XI. p. | 0,463 | 0,463 | 0,369 | 0,291 | 0,396 | $14^0$ | 0 | $10^2$ | strat. mit fractonimbus. Dunst in W. |
| 20. | 26./XI. p. | 0,552 | 0,497 | 0,497 | 0,552 | 0,524 | $14^0$ | 0 | $10^2$ | strat. $\bar{\bullet}$ beginnt. |
| 21. | 28./XI. p. | 0,481 | 0,345 | 0,481 | 0,389 | 0,424 | $14^0$ | 0 | $10^{1-2}$ | Oben cirrocum. Darunter fractonimbi. |
| 22. | 29./XI. a. | 0,406 | 0,406 | 0,406 | 0,406 | 0,406 | $14^0$ | 0 | $10^2$ | strat. u. nimbus $\equiv^0$. |
| 23. | 30./XI. a. | 0,780 | 0,230 | 0,410 | 0,457 | 0,469 | $14^0$ | 0+ | $10^1$ | Oben cirrocumuli. Darunter nimbi. Dunst. |
| 24. | 13./I. a. | 0,414 | 0,403 | 0,505 | 0,313 | 0,409 | $14^0$ | 0 | $10^2$ | strat. mit nimbi. Dunst in W. |
| 25. | 21./I. p. | 0,764 | 0,331 | 0,400 | 0,385 | 0,470 | $15^0$ | 0+ | $10^1$ | cumulus. |
| 26. | 23./I. p. | 0,486 | 0,483 | 0,503 | 0,450 | 0,480 | $16^0$ | 0 | $10^2$ | strat. mit fractonimbus. |
| 27. | 2./II. p. | 0,592 | 0,512 | 0,584 | 0,517 | 0,551 | $18^0$ | 0 | $10^2$ | strat. |
| 28. | 3./II. p. | 0,356 | 0,431 | 0,372 | 0,407 | 0,392 | $19^0$ | 0 | $10^2$ | strat. $\equiv^0$. |
| | Mittel | 0,588 | 0,421 | 0,479 | 0,465 | 0,488 | | | | |

| Nr. | Datum | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht | Sonne Höhe | Sonne Schein | Bewölkung | Art der Bewölkung und Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 29. | 4./II. p. | 0,357 | 0,358 | 0,350 | 0,362 | 0,357 | $20^0$ | 0 | $10^2$ | strat. $=^0$. |
| 30. | 6./II. p. | 0,459 | 0,376 | 0,389 | 0,404 | 0,407 | $20^0$ | 0 | $10^1$ | Oben cirrostr. Darunter cumuli. |
| 31. | 14./II. p. | 0,478 | 0,409 | 0,512 | 0,509 | 0,477 | $23^0$ | 0 | $10^{1-2}$ | In S starker Rauch. |
| 32. | 27./III. a. | 0,394 | 0,436 | 0,376 | 0,359 | 0,391 | $25^0$ | 0 | $10^2$ | Dunst. |
| 33. | 22./II. a. | 0,392 | 0,446 | 0,437 | 0,400 | 0,419 | $26^0$ | 0 | $9^{1-2}$ | strat. |
| 34. | 3./IV. a. | 0,510 | 0,349 | 0,421 | 0,405 | 0,421 | $28^0$ | 0 | $10^2$ | cumulostrat. |
| 35. | 6./III. p. | 0,541 | 0,420 | 0,395 | 0,370 | 0,432 | $29^0$ | 0+ | $10^{1-0}$ | strat. |
| 36. | 8./III. a. | 0,762 | 0,302 | 0,356 | 0,389 | 0,452 | $29^0$ | 0+ | $10^1$ | strat. $=^0$. |
| 37. | 4./IV. a. | 0,879 | 0,210 | 0,298 | 0,378 | 0,441 | $29^0$ | 0+ | $10^0$ | Leichter cirrostrat. |
| | Mittel | 0,530 | 0,367 | 0,393 | 0,397 | 0,422 | | | | |
| 38. | 9./III. p. | 0,378 | 0,410 | 0,450 | 0,400 | 0,410 | $31^0$ | 0 | $10^2$ | strat. |
| 39. | 5./IV. a. | 0,501 | 0,442 | 0,397 | 0,466 | 0,452 | $31^0$ | 0 | $10^2$ | strat. mit fractonimbi Dunst. |
| 40. | 30./V. a. | 0,462 | 0,394 | 0,462 | 0,374 | 0,423 | $31^0$ | 0 | $10^2$ | strat. u. wechselnde nimbi. |
| 41. | 10./III. a. | 0,390 | 0,349 | 0,365 | 0,446 | 0,388 | $32^0$ | 0 | $10^{1-2}$ | strat. |
| 42. | 21./III. a. | 0,443 | 0,354 | 0,421 | 0,373 | 0,398 | $36^0$ | 0 | $10^2$ | strat. Dunst. |
| 43. | 22./III. a. | 0,428 | 0,366 | 0,358 | 0,553 | 0,424 | $36^0$ | 0+ | $10^1$ | Bewölkung stark wechselnd. |
| | Mittel | 0,434 | 0,386 | 0,409 | 0,435 | 0,416 | | | | |
| 44. | 30./III. p. | 0,540 | 0,325 | 0,397 | 0,431 | 0,423 | $40^0$ | 0+ | $10^1$ | strat. Dunst. |
| 45. | 3./IV. a. | 0,412 | 0,365 | 0,305 | 0,419 | 0,375 | $40^0$ | 0 | $10^2$ | stratus mit nimbi. |
| 46. | 6./IV. a. | 0,678 | 0,303 | 0,480 | 0,301 | 0,440 | $41^0$ | 0+ | $10^2$ | stratus mit nimbi. |
| 47. | 5./IV. p. | 0,594 | 0,339 | 0,491 | 0,434 | 0,464 | $42^0$ | 0 | $10^2$ | stratus u. fractonimbus. |
| 48. | 28./IV. a. | 0,463 | 0,444 | 0,398 | 0,455 | 0,440 | $45^0$ | 0 | $10^2$ | Bewölkung stark wechselnd. |
| 49. | 30./V. a. | 0,517 | 0,346 | 0,414 | 0,441 | 0,430 | $45^0$ | 0 | $10^2$ | stratus mit wechselnden nimbi. |
| 50. | 26./IV. p. | 0,587 | 0,231 | 0,339 | 0,333 | 0,372 | $48^0$ | 0+ | $9^{2-0}$ | stark wechselnde helle cumuli. |
| 51. | 17./V. a. | 0,523 | 0,307 | 0,392 | 0,396 | 0,404 | $48^0$ | 0+ | $10^1$ | stratus. |
| 52. | 30./IV. a. | 0,594 | 0,122 | 0,299 | 0,234 | 0,312 | $49^0$ | 0+ | $8^0$ | cirrostratus und cirrocumuli. |
| | Mittel | 0,545 | 0,309 | 0,391 | 0,383 | 0,407 | | | | |

| Nr. | Datum | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht | Sonne Höhe | Sonne Schein | Bewölkung | Art der Bewölkung und Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 53. | 28./IV. a. | 0,411 | 0,418 | 0,422 | 0,378 | 0,407 | $50^0$ | 0 | $10^2$ | Dunkler cumulostratus. |
| 54. | 23./V. a. | 0,593 | 0,481 | 0,448 | 0,380 | 0,476 | $50^0$ | 0 | $10^2$ | cumulostrat. und nimbi. |
| 55. | 1./V. p. | 0,354 | 0,359 | 0,314 | 0,333 | 0,340 | $51^0$ | 0 | $10^2$ | stratus mit nimbi. |
| 56. | 31./V. a. | 0,519 | 0,311 | 0,340 | 0,410 | 0,395 | $51^0$ | 0+ | $10^1$ | stratus. |
| 57. | 5./VI. a. | 0,379 | 0,505 | 0,433 | 0,485 | 0,450 | $51^0$ | 0 | $10^{1-2}$ | stratus mit cumulus. |
| 58. | 12./V. a. | 0,287 | 0,372 | 0,372 | 0,342 | 0,343 | $52^0$ | 0 | $9^2$ | cumulus. cumulostrat nimbus. |
| 59. | 7./VI. a. | 0,404 | 0,400 | 0,389 | 0,415 | 0,402 | $52^0$ | 0 | $10^2$ | stratus mit nimbi. |
| 60. | 17./V. a. | 0,620 | 0,257 | 0,406 | 0,438 | 0,430 | $55^0$ | 0+ | $10^0$ | leichter stratus. |
| 61. | 30./V. a. | 0,385 | 0,394 | 0,490 | 0,379 | 0,414 | $55^0$ | 0 | $10^2$ | stratus mit nimbi. |
| 62. | 21./V. a. | 0,528 | 0,440 | 0,421 | 0,452 | 0,460 | $56^0$ | 0+ | $10^1$ | stratus. |
| 63. | 26./V. a. | 0,362 | 0,387 | 0,367 | 0,393 | 0,378 | $56^0$ | 0 | $10^2$ | stratus. Dunst. |
| 64. | 8./VI. a. | 0,698 | 0,335 | 0,373 | 0,217 | 0,406 | $57^0$ | 0+ | $9^2$ | cumulus. cumulostratus. stark wechselnd. |
| 65. | 5./VI. a. | 0,667 | 0,262 | 0,531 | 0,322 | 0,446 | $59^0$ | 0+ | $9^{0-2}$ | stratus. |
| 66. | 7./VI. a. | 0,440 | 0,419 | 0,450 | 0,419 | 0,432 | $59^0$ | 0 | $10^2$ | stratus. cumulostratus. nimbus. |
| | Mittel | 0,475 | 0,381 | 0,411 | 0,383 | 0,413 | | | | |

## Zusammenstellung der Mittelwerte.

| Sonnenhöhe von | Sonnenhöhe bis | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $0^0$ | $9^0$ | 0,602 | 0,424 | 0,450 | 0,477 | 0,488 |
| $10^0$ | $19^0$ | 0,588 | 0,421 | 0,479 | 0,465 | 0,488 |
| $20^0$ | $29^0$ | 0,530 | 0,367 | 0,393 | 0,397 | 0,422 |
| $30^0$ | $39^0$ | 0,434 | 0,386 | 0,409 | 0,435 | 0,416 |
| $40^0$ | $49^0$ | 0,545 | 0,309 | 0,391 | 0,381 | 0,407 |
| $50^0$ | $59^0$ | 0,475 | 0,381 | 0,411 | 0,383 | 0,413 |
| | Mittel | 0,529 | 0,381 | 0,422 | 0,423 | 0,493 |

## Relative Intensitäten des Vorderlichtes bei Sonnenschein.

| Nr. | Datum | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht | Sonne Höhe | Sonne Schein | Bewölkung | Art der Bewölkung und Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 67. | 31./XII. p. | 1,51 | 0,607 | 0,561 | 0,628 | 0,826 | $2^0$ | 1 | $1^0$ | cirrostratus in E. |
| 68. | 14./I. p. | 4,01 | 0,682 | 0,777 | 0,679 | 1,537 | $3^0$ | 2 | 0 | |
| 69. | 30./XII. p. | 2,68 | 0,392 | 0,473 | 0,320 | 0,966 | $7^0$ | 1 | $10^{2-0}$ | cirrus u. cirrocumulus. |
| | Mittel | 2,73 | 0,560 | 0,604 | 0,542 | 1,110 | | | | |
| 70. | 23./IV. p. | 3,98 | 0,250 | 0,333 | 0,258 | 1,205 | $11^0$ | 2 | 0 | |
| 71. | 7./XII. a. | 4,15 | 0,230 | 0,410 | 0,324 | 1,278 | $12^0$ | 2 | $7^2$ | cumuli, besonders in S. |
| 72. | 20./XII. a. | 3,64 | 0,346 | 0,463 | 0,463 | 1,228 | $12^0$ | 1 | $8^{0-1}$ | cirrus und cirrocumulus. |
| 73. | 21./XII. p. | 3,29 | 0,257 | 0,397 | 0,334 | 1,070 | $12^0$ | 1 | $7^0$ | cirrostratus und cirrocumulus. |
| 74. | 22./XII. p. | 4,83 | 0,263 | 0,445 | 0,347 | 1,471 | $12^0$ | 2 | $2^0$ | cirrus. |
| 75. | 25./XI. p. | 2,64 | 0,364 | 0,323 | 0,818 | 1,037 | $13^0$ | 1 | $5^{1-2}$ | cumuli in W. cirri, cirrocumuli in N. |
| 76. | 2./XII. a. | 1,41 | 0,294 | 0,419 | 0,514 | 0,659 | $13^0$ | 1 | $10^{0-2}$ | cirrostratus. cumuli in S. u. W. |
| 77. | 5./XII. p. | 3,27 | 0,185 | 0,449 | 0,278 | 1,046 | $13^0$ | 2 | $1^1$ | cumuli in E. |
| 78. | 25./II. p. | 3,40 | 0,268 | 0,346 | 0,357 | 1,093 | $13^0$ | 2 | 0 | |
| 79. | 7./II. p. | 3,46 | 0,226 | 0,272 | 0,278 | 1,059 | $15^0$ | 2 | 0 | |
| | Mittel | 3,407 | 0,268 | 0,386 | 0,397 | 1,115 | | | | |
| 80. | 8./II. p. | 2,55 | 0,245 | 0,453 | 0,402 | 0,912 | $21^0$ | 2 | 0 | |
| 81. | 23./IV. p. | 2,50 | 0,182 | 0,173 | 0,147 | 0,750 | $21^0$ | 2 | 0 | |
| 82. | 13./II. p. | 1,85 | 0,232 | 0,359 | 0,422 | 0,716 | $22^0$ | 1 | $10^0$ | cirrostratus. |
| 83. | 28./II. a. | 0,910 | 0,522 | 0,639 | 0,522 | 0,648 | $27^0$ | 1 | $9^{2-0}$ | cumuli. |
| 84. | 30./III. a. | 1,05 | 0,235 | 0,332 | 0,384 | 0,500 | $28^0$ | 1 | $10^0$ | leichter stratus. Dunst. |
| 85. | 23./IV. p. | 2,02 | 0,131 | 0,149 | 0,107 | 0,602 | $29^0$ | 2 | 0 | |
| | Mittel | 1,81 | 0,258 | 0,351 | 0,331 | 0,688 | | | | |

| Nr. | Datum | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht | Sonne Höhe | Sonne Schein | Bewölkung | Art der Bewölkung und Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 86. | 7./III. p. | 1,83 | 0,122 | 0,176 | 0,171 | 0,575 | $30^0$ | 2 | $4^2$ | cumuli am Horizont. |
| 87. | 14./III. a. | 1,64 | 0,098 | 0,162 | 0,155 | 0,514 | $30^0$ | 2 | 0 | |
| 88. | 11./III. a. | 1,58 | 0,136 | 0,212 | 0,216 | 0,536 | $32^0$ | 2 | 0 | |
| 89. | 26./III. a. | 1,03 | 0,257 | 0,255 | 0,472 | 0,504 | $33^0$ | 1 | $10^{2-0}$ | Bewölkung stark wechselnd. |
| 90. | 31./III. a. | 1,52 | 0,107 | 0,162 | 0,156 | 0,486 | $34^0$ | 2 | 1 | cumuli in SW. |
| 91. | 24./IV. a. | 1,50 | 0,110 | 0,142 | 0,158 | 0,478 | $34^0$ | 2 | 0 | |
| 92. | 27./III. p. | 0,881 | 0,338 | 0,391 | 0,371 | 0,495 | $39^0$ | 1 | 10 | cumuli und nimbi. Dunst. |
| 93. | 28./III. p. | 0,719 | 0,115 | 0,243 | 0,233 | 0,328 | $39^0$ | 1 | 9 | stratus und cumulostratus. |
| 94. | 29./III. p. | 1,31 | 0,101 | 0,192 | 0,207 | 0,452 | $39^0$ | 1 | 10 | cumuli und nimbi wechselnd. |
| 95. | 23./IV. p. | 1,24 | 0,090 | 0,101 | 0,089 | 0,380 | $39^0$ | 2 | 0 | |
| | Mittel | 1,32 | 0,147 | 0,204 | 0,223 | 0,475 | | | | |
| 96. | 4./IV. p. | 0,961 | 0,225 | 0,366 | 0,296 | 0,462 | $41^0$ | 1 | $10^0$ | cirrostratus. |
| 97. | 20./IV. a. | 1,13 | 0,121 | 0,176 | 0,199 | 0,406 | $41^0$ | 1 | $10^0$ | cirrostratus. |
| 98. | 6./IV. a. | 0,974 | 0,183 | 0,254 | 0,245 | 0,414 | $43^0$ | 1 | $10^0$ | cirrostratus. |
| 99. | 21./IV. a. | 1,05 | 0,099 | 0,194 | 0,198 | 0,385 | $44^0$ | 2 | 0 | |
| 100. | 21./IV. a. | 0,984 | 0,094 | 0,121 | 0,151 | 0,338 | $45^0$ | 2 | 0 | |
| 101. | 3./V. a. | 0,993 | 0,080 | 0,129 | 0,113 | 0,329 | $46^0$ | 2 | 0 | |
| 102. | 11./V. a. | 0,910 | 0,141 | 0,271 | 0,277 | 0,400 | $46^0$ | 1 | $9^{0-1}$ | cumuli und cirrocumuli. |
| 103. | 22./IV. a. | 0,877 | 0,074 | 0,104 | 0,120 | 0,294 | $47^0$ | 2 | 0 | |
| 104. | 22./IV. p. | 1,01 | 0,098 | 0,104 | 0,133 | 0,336 | $47^0$ | 2 | 1 | cirrostratus. |
| 105. | 16./V. a. | 0,986 | 0,096 | 0,154 | 0,263 | 0,375 | $47^0$ | 1 | $4^1$ | cumuli. |
| 106. | 10./V. a. | 0,953 | 0,110 | 0,132 | 0,112 | 0,327 | $48^0$ | 2 | 0 | |
| 107. | 24./IV. a. | 0,987 | 0,095 | 0,097 | 0,132 | 0,328 | $49^0$ | 2 | 0 | |
| | Mittel | 0,976 | 0,118 | 0,175 | 0,195 | 0,366 | | | | |

| Nr. | Datum | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht | Sonne Höhe | Sonne Schein | Bewölkung | Art der Bewölkung und Bemerkungen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 108. | 2./V. p. | 0,833 | 0,082 | 0,085 | 0,100 | 0,275 | $50^0$ | 2 | 0 | |
| 109. | 2./VI. p. | 0,856 | 0,080 | 0,116 | 0,098 | 0,288 | $50^0$ | 2 | 1 | cirrostratus in S. |
| 110. | 3./V. p. | 0,869 | 0,091 | 0,143 | 0,156 | 0,315 | $51^0$ | 2 | 0 | |
| 111. | 4./V. p. | 0,765 | 0,088 | 0,139 | 0,144 | 0,284 | $51^0$ | 1 | $10^0$ | cirrostratus. |
| 112. | 7./V. a. | 0,852 | 0,084 | 0,106 | 0,114 | 0,289 | $51^0$ | 2 | 0 | |
| 113. | 7./V. p. | 0,823 | 0,079 | 0,111 | 0,119 | 0,283 | $53^0$ | 2 | 0 | |
| 114. | 21./V. a. | 0,773 | 0,140 | 0,238 | 0,241 | 0,348 | $53^0$ | 1 | $9^1$ | cumulostratus. |
| 115. | 1./VI. a. | 0,738 | 0,086 | 0,123 | 0,132 | 0,270 | $53^0$ | 2 | $5^0$ | cirrocumulus. |
| 116. | 11./VI. a. | 0,762 | 0,076 | 0,103 | 0,102 | 0,261 | $53^0$ | 2 | 0 | |
| 117. | 10./V. a. | 0,784 | 0,079 | 0,111 | 0,107 | 0,270 | $54^0$ | 2 | 0 | |
| 118. | 11./V. a. | 0,708 | 0,175 | 0,406 | 0,237 | 0,382 | $54^0$ | 1 | 9 | cumulostratus in W. und N. cirrocumulus in E. |
| 119. | 16./V. a. | 0,621 | 0,071 | 0,111 | 0,107 | 0,228 | $55^0$ | 2 | 0 | |
| 120. | 22./V. a. | 0,627 | 0,110 | 0,160 | 0,156 | 0,263 | $56^0$ | 1 | $10^0$ | cirrostratus. |
| 121. | 2./VI. p. | 0,676 | 0,078 | 0,087 | 0,100 | 0,235 | $58^0$ | 2 | 0 | |
| 122. | 12./VI. a. | 0,640 | 0,067 | 0,089 | 0,095 | 0,223 | $58^0$ | 2 | 0 | |
| 123. | 11./VI. a. | 0,665 | 0,070 | 0,090 | 0,094 | 0,230 | $59^0$ | 2 | 0 | |
| | Mittel | 0,749 | 0,091 | 0,139 | 0,131 | 0,277 | | | | |

## Zusammenstellung der Mittelwerte.

| Sonnenhöhe von | Sonnenhöhe bis | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $0^0$ | $9^0$ | 2,73 | 0,560 | 0,604 | 0,542 | 1,110 |
| $10^0$ | $19^0$ | 3,41 | 0,268 | 0,386 | 0,397 | 1,115 |
| $20^0$ | $29^0$ | 1,81 | 0,258 | 0,351 | 0,331 | 0,688 |
| $30^0$ | $39^0$ | 1,32 | 0,147 | 0,204 | 0,223 | 0,475 |
| $40^0$ | $49^0$ | 0,976 | 0,118 | 0,175 | 0,195 | 0,366 |
| $50^0$ | $59^0$ | 0,749 | 0,091 | 0,139 | 0,131 | 0,277 |
| | Mittel | 1,835 | 0,240 | 0,310 | 0,303 | 0,671 |

## Absolute Werte.

Ortshelligkeit oder Oberlicht bei trübem Wetter.

| Sonnenhöhe von | Sonnenhöhe bis | Mittelwert der Tageshelligkeit (in 1000 Meterkerzen) |
|---|---|---|
| 12° | 19° | 5,62 (84) |
| 20° | 29° | 12,03 (53) |
| 30° | 39° | 11,21 (33) |
| 40° | 49° | 16,01 (13) |
| 50° | 59° | 20,24 (44) |

Ortshelligkeit oder Oberlicht bei heiterem Wetter.

| Sonnenhöhe von | Sonnenhöhe bis | Mittelwert der Tageshelligkeit (in 1000 Meterkerzen) |
|---|---|---|
| 12° | 19° | 15,81 (46) |
| 20° | 29° | 26,87 (31) |
| 30° | 39° | 38,96 (32) |
| 40° | 49° | 43,96 (47) |
| 50° | 59° | 48,15 (108) |

Absolute Mittelwerte des Vorderlichts bei trübem Wetter (in 1000 Meterkerzen).

| Sonnenhöhe von | Sonnenhöhe bis | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10° | 19° | 3,27 | 2,37 | 2,69 | 2,61 | 2,74 |
| 20° | 29° | 6,38 | 4,42 | 4,73 | 4,78 | 5,08 |
| 30° | 39° | 4,87 | 4,33 | 4,59 | 4,88 | 4,66 |
| 40° | 49° | 8,73 | 4,95 | 6,26 | 6,13 | 6,52 |
| 50° | 59° | 9,61 | 7,71 | 8,32 | 7,75 | 8,36 |
| | Mittel | 6,57 | 4,76 | 5,32 | 5,23 | 5,47 |

Absolute Mittelwerte des Vorderlichts bei Sonnenschein (in 1000 Meterkerzen).

| Sonnenhöhe von | Sonnenhöhe bis | $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ | Mittleres Vorderlicht |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 10° | 19° | 58,86 | 5,33 | 6,10 | 6,28 | 17,83 |
| 20° | 29° | 48,64 | 6,93 | 9,43 | 8,89 | 18,47 |
| 30° | 39° | 51,31 | 5,73 | 7,95 | 8,69 | 18,42 |
| 40° | 49° | 42,90 | 5,19 | 7,69 | 8,57 | 16,09 |
| 50° | 59° | 36,09 | 4,38 | 6,69 | 6,31 | 13,36 |
| | Mittel | 46,56 | 5,51 | 7,57 | 7,75 | 16,84 |

Die absoluten Werte der Tageshelligkeit wachsen sowohl bei trübem Wetter als auch bei Sonnenschein mit steigender Sonne, wie es ja natürlich ist. Dieses Ansteigen findet jedoch nicht in ganz gleichartiger Weise statt, der Grad des Ansteigens wird bei Sonnenschein für höhere Sonnenstände geringer. Hier wächst für eine Sonnenhöhe von 12° bis 39° die Tageshelligkeit von 15,81 bis auf 38,96, also um das 2 1/2 fache, von da an bis zu einer Sonnenhöhe von 59° steigt sie nur noch bis auf 48,15. Wenn jedoch kein direktes Sonnenlicht auf die Erde gelangt, so macht sich diese Abschwächung des Anwachsens nicht so sehr bemerkbar. Der Grund hierfür liegt darin, dass das diffuse in der Ortshelligkeit gemessene Licht zum grössten Teile von den in der Nähe der Sonnenscheibe gelegenen Himmelsstellen und von der Sonne selbst herrührt. Da nun die Beleuchtungsstärke der ebenen Fläche proportional dem Cosinus des Incidenzwinkels ist, so wächst der grösste Teil der Beleuchtungsstärke der horizontalen Fläche proportional dem Sinus der Sonnenhöhe. Das mehr gleichmässige Ansteigen des diffusen Tageslichtes bei bewölktem Himmel wird dadurch bedingt, dass die Wolkendecke gewissermassen wie eine transparente Schicht von gleichmässiger Emanation wirkt, die gesamte Wolkendecke wird gleichmässig heller, das von der Sonne ausgehende Licht wird mehr über den ganzen Himmel diffundiert. In diesem Verhalten des diffusen Tageslichtes zeigt sich also eine den Unterschied der Beleuchtung nach den verschiedenen Quadranten ausgleichende Wirkung der Bewölkung.

Die mittägliche Helligkeit im Dezember verhält sich zu der im Juni und Juli an trüben Tagen wie 1 : 3,6, an heiteren Tagen dagegen wie 1 : 3,0. Bei trübem Wetter nimmt also im Mittel die Ortshelligkeit mit steigender Sonne vom Morgen bis zum Mittag etwas stärker zu als bei Sonnenschein.

Merkwürdig erscheint es, dass bei den absoluten Werten der Tageshelligkeiten an bewölkten Tagen für 30° bis 39° Sonnenhöhe ein etwas kleinerer Wert resultiert als für Sonnenhöhen von 20° bis zu 29°. Die Zeit dieser Messungen fällt in den März und in den September. Es deutet darauf hin, dass für eine dieser Perioden oder für beide eine besonders dichte Bewölkung vorhanden gewesen ist. Die Menge der Bewölkung kann man hinreichend genau abschätzen, sie ist ja eines der meteorologischen Elemente, die auf den einzelnen Stationen regelmässig mit beobachtet werden. Aber die Intensität der Wolkendecke lässt sich schwer durch den blossen Anblick des Himmelsgewölbes bestimmen. Von der

Depression des Tageslichtes sind aber Schlüsse auf die Mächtigkeit der Wolkenschicht zulässig. Aus der oben angeführten Thatsache darf man aber kaum allgemein schliessen, dass im März oder September eine vorhandene Wolkendecke in unseren Breiten durchschnittlich stärker als in den übrigen Teilen des Jahres ist, dies kann im Jahre 1898 und 1899 Zufall gewesen sein. Für die Festlegung eines so variabelen klimatischen Elements ist eine lange Reihe von Beobachtungsjahren erforderlich.

Das Tageslicht verteilt sich natürlich auf die einzelnen Quadranten des Himmels in der Weise, dass im Mittel die nach der Sonnenseite hin liegende Vertikalfläche am meisten, die nach Norden hin liegende am wenigsten Licht erhält, dagegen die anderen beiden Vertikalflächen ein mittleres Verhalten zeigen. Dabei schwanken aber für die einzelnen Beobachtungen die relativen Beträge in weiten Grenzen. Die grössten relativen Schwankungen zeigen sich bei niedrigen Sonnenständen. Die absoluten Beträge derselben sind hier aber nicht grösser als bei höher stehender Sonne, weil in letztem Falle die Intensität des gesamten Tageslichtes den 3- bis 4-fachen Wert hat. Bei Sonnenschein ist das Vorderlicht nach Süden immer am stärksten, aber selbst bei vollkommen blauem Himmel ist die Verteilung nach Ost und West nur in seltenen Fällen ganz symmetrisch. Man könnte der Orientierung des Instrumentes die Schuld hierfür zuschreiben. Dasselbe wurde beim Anfang jeder Beobachtungsreihe genau orientiert. Zwischen der Ablesung nach Osten und der nach Westen verfloss nun immerhin ein Zeitraum von 5 — 10 Minuten. Während dessen war die Sonne ein Stück weiter gegangen, und die Einstellung des Instrumentes war nicht mehr ganz genau. Würde dies auf die Resultate einen Einfluss ausüben, so müsste der relative Wert des Vorderlichtes nach Westen im Mittel etwas grösser sein. Das ist aber nicht der Fall, er beträgt 0,303, während für Ost 0,310 gefunden ist. Auch Wiesner hebt jene Thatsache hervor[1]). Es ist selbstverständlich, dass bei teilweise oder ganz bewölktem Himmel diese Verteilung unsymmetrisch wird. Helle cumuli besonders, Morgen- und Abendrot bewirken ein Steigen, dunkler nimbus und cumulostratus ein Sinken der relativen Intensität. Befinden sich dunkle Wolken im Süden, dagegen hellere Partien im Norden, so kann eine derartig unregelmässige Verteilung eintreten, dass nach Norden hin das Vorderlicht die grösste, nach Süden hin die kleinste Intensität zeigt. Ebenfalls

---

[1]) l. c. p. 15.

kann Rauch und Dunst, der nach einer Himmelsrichtung hin besonders stark lagert, die Intensität der Beleuchtung von dieser Seite herabziehen, wie es besonders beobachtet ist, wenn der Dunst der Stadt von dem Winde nach einer Seite hin getrieben wurde und dort besonders dicht lagerte.

Ist der ganze Himmel ziemlich gleichmässig bewölkt, so sind die relativen Intensitäten des Vorderlichtes um so kleiner, je dunkler die Wolkendecke ist. Da an solchen Tagen kein Einfluss der Sonne zu spüren ist, so sollte man annehmen, dass das mittlere Vorderlicht die Intensität 0,5 habe. Dies ist jedoch nicht der Fall, der Betrag schwankt zwischen 0,3 und 0,4. Es deutet diese Thatsache darauf hin, dass die unteren Flächen des Himmels, die dem Horizonte benachbart liegen und wegen der senkrechten Incidenz des von ihnen ausgehenden Lichtes am meisten zu der Beleuchtungsstärke der vertikalen, mattgeschliffenen Milchglasplatten beitragen, eine geringere Helligkeit haben müssen als die zenithalen Teile der Wolkendecke. Diese Vermutung hat sich in den später beschriebenen Messungen über die Verteilung der Helligkeit bestätigt.

Für die Intensität des Vorderlichtes ist es auch nicht gleichgültig, welche Färbung die Erdoberfläche zeigt. Besonders deutlich tritt dies bei den Beobachtungen zu Tage, welche in einer Zeit angestellt sind, wo Schnee den Erdboden bedeckte. In solchen Fällen nimmt das Vorderlicht einen höheren Betrag an.

Eine etwas regelmässigere Verteilung zeigen schon die Mittelwerte für die einzelnen Sonnenhöhen von $10^0$ zu $10^0$. Aus diesen Tabellen geht hervor, dass die relative Intensität des Vorderlichtes nach allen vier Quadraten mit steigender Sonne abnimmt, das Oberlicht also an relativer Intensität wächst. Für bewölkten Himmel ist diese Abnahme nicht sehr bedeutend, stärker tritt sie bei Sonnenschein hervor. Hier fällt die relative Intensität des südlichen Vorderlichtes von 3,41 bis auf 0,749. In fast demselben Masse nimmt das Vorderlicht nach Ost und West ab, stärker jedoch noch die Beleuchtung von Norden her. Sie erreicht bei $50^0$ bis $59^0$ Sonnenhöhe im Mittel nicht einmal den zehnten Teil des Oberlichtes. Es liegt in demselben Sinne, wenn Wiesner[1]) sagt: für das arktische Gebiet wirken alle Umstände zusammen, um das Tageslicht zu relativer Gleichmässigkeit zu zwingen. Lang andauernde Himmels- und Sonnenbedeckung und niedrige Sonnenstände üben einen solchen Einfluss aus. Trübes Wetter wirkt dahin, dass das Vorderlicht nach allen Seiten

---

[1]) l. c. pag. 27.

hin gleichmässiger wird. Sonnenschein bei niedrigen Sonnenständen bewirkt für das nördliche und südliche Vorderlicht allerdings denselben Kontrast wie bei hohen Sonnenständen, sie verhalten sich ungefähr wie 1 : 10. Aber die relativen Intensitäten derselben sind bei niedriger Sonnenhöhe grösser, das mittlere Vorderlicht nimmt dann einen Betrag an, der dem Oberlichte gleichkommt, ja dasselbe übertreffen kann.

Den grössten Wert hat das südliche Vorderlicht bei einer Sonnenhöhe von 3° bis 4°, weil bei noch geringerer Sonnenhöhe eine zu starke Schwächung des Lichtes beim Durchgang durch die niedrigen Schichten der Atmosphäre stattfindet. Gleichheit mit dem Oberlicht tritt bei ungestörtem Sonnenschein und blauem Himmel für ca. 45° Sonnenhöhe ein. Da die Sonne mit dem sie umgebenden Teil für die Stellung der Milchglasplatten in diesem Falle symmetrisch liegt, die eine aber das diffuse Licht des ganzen, die andere des halben Himmels erhält, so kann nur Gleichheit der Beleuchtung eintreten, wenn am Horizonte bei unbewölktem Himmel hellere Flächen vorhanden sind und das vom nördlichen blauen Himmel diffundierte Licht nur gering ist.

Die absoluten Werte für das Vorderlicht bei trübem Wetter nehmen mit steigender Sonne zu, das gesamte diffuse Tageslicht wächst in höherem Masse, als die relativen Intensitäten der seitlichen Beleuchtung fallen. Diese Zunahme ist nach allen vier Quadranten fast dieselbe. Bei Sonnenschein dagegen nehmen die absoluten Beträge des Vorderlichtes nach allen Quadranten hin ab, am stärksten nach Süden und Norden, schwächer nach Osten und Westen. Eine Abnahme des südlichen Vorderlichtes mit steigender Sonne an heiteren Tagen ist dadurch bedingt, dass die direkten Sonnenstrahlen dann unter einem grösseren Winkel zur Normalen einfallen. Merkwürdig ist dagegen die Abnahme der absoluten Werte für die von Osten, Westen und Norden einfallende Beleuchtung. Die gegenüber liegenden Teile des blauen Himmels müssen mit steigender Sonne dunkler werden. Das dies der Fall ist, werden die Helligkeitsmessungen zeigen.

Die Verteilung der Beleuchtung erhält sich somit bei Sonnenschein ganz anders wie bei trübem Wetter. Daher ist es notwendig, wenn man beide Werte zu einem Mittel vereinigen will, hierbei die Sonnenscheindauer zu berücksichtigen. Zu diesem Zwecke habe ich aus den zehnjährigen Aufzeichnungen eines selbstregistrierenden Sonnenscheinautographen des hiesigen physikalischen Institutes den Procentsatz der registrierten Sonnenscheindauer von der mög-

lichen Sonnenscheindauer berechnet. Ich fand für die einzelnen Monate folgende Werte:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Januar: | 16,79 % | Juli: | 44,38 % |
| Februar: | 27,45 % | August: | 48,72 % |
| März: | 29,60 % | September: | 44,29 % |
| April: | 40,98 % | Oktober: | 28,18 % |
| Mai: | 54,28 % | November: | 18,24 % |
| Juni: | 49,50 % | Dezember: | 13,71 % |

Die mittlere Sonnenscheindauer für Kiel beträgt also 34,74 oder abgerundet 35 % der möglichen Sonnenscheindauer. Ist nun $J'_s$ der Mittelwert des südlichen Vorderlichtes bei trübem Wetter, $J''_s$ derselbe bei Sonnenschein, so ist der Mittelwert beider:

$J_s = \frac{65\ J'_s + 35\ J''_s}{100}$. Nach dieser Formel sind folgende Werte für die relativen Intensitäten des Vorderlichtes gefunden.

| $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ |
|---|---|---|---|
| 0,985 | 0,342 | 0,383 | 0,381 |

Selbst das Vorderlicht nach Süden erreicht also im Mittel nicht den Betrag des Oberlichtes, die nach Norden, Osten und Westen liegenden Flächen erhalten nur reichlich 1/3 soviel Licht als die Horizontalfläche. Dabei sind die Flächen nach Osten und Westen nur wenig günstiger gestellt als die Flächen nach Norden.

Für das Lichtklima der Erde kann man aus allen Thatsachen den Satz folgern: Je niedriger die geographische Breite eines Ortes ist, in desto stärkerem Masse überwiegt die auf horizontale Flächen einfallende Beleuchtung die Beleuchtung der vertikalen Flächen.

---

Wie ich schon in der Einleitung dieser Arbeit erwähnt habe, sind neben den relativen Messungen über die Beleuchtung auch solche über die Verteilung der Flächenhelligkeit des Himmels von mir vorgenommen worden. Die Flächenhelligkeit ist eine ganz andere Grössenart als die Beleuchtung, es ist die von der Flächeneinheit eines hellen Körpers ausgesandte Lichtmenge. Unter Beleuchtung ist dagegen diejenige Lichtmenge zu verstehen, welche von irgendwie verteilten Lichtquellen auf die Flächeneinheit des beleuchteten Körpers geworfen wird. Diejenige Fläche hat die Helligkeit 1, von der die Flächeneinheit ebensoviel Licht in normaler

Richtung aussendet wie das Normallicht. Eine secundäre Definition der Einheit für Flächenhelligkeit ist von Herrn Prof. L. Weber in folgender Weise vorgeschlagen: Diejenige Fläche hat die Helligkeit 1, welche gleich hell ist mit einem weissen Carton von der Albedo 1, der von der Lichteinheit in senkrechter Incidenz aus der Entfernung von 1 m beleuchtet wird. Diese beiden Einheiten verhalten sich zu einander wie $\pi$ 10000 : 1.

Die Messungen wurden mit demselben Apparate angestellt. Zu dem Zwecke wurden die Milchglasplatten entfernt. Bei dem Haupttubus fiel das Licht direkt auf das vordere Nicolsche Prisma. Auf dem Nebentubus wurden zwei Licht abschwächende Rauchglasplatten angebracht, um die Schwächung des Lichtes durch die Nicolschen Prismen zu compensieren. Da das vom Himmel ausgesandte Licht teilweise polarisiert ist, wurden zwei senkrecht auf einander stehende Componenten desselben gemessen. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass man das vordere Nicol einmal auf $0^0$ und einmal auf $90^0$ stellt. Die Summe beider Componenten ergiebt die gesamte vom Himmel ausgesandte Lichtmenge.

Bei den Beobachtungen wurden nun zunächst beide Tuben auf das Zenith gerichtet, das vordere Nicol auf $0^0$ und $90^0$ gestellt und durch Drehung des zweiten Nicols gleiche Helligkeit im Gesichtsfelde des Photometers herbeigeführt. Dann wurde der Haupttubus auf gewisse Punkte des Himmels gerichtet, und wieder bei beiden Stellungen des vorderen Nicols das hintere Nicol auf gleiche Helligkeit eingestellt. Steht das vordere Nicol auf $0^0$, so ist die Intensität der gemessenen Lichtmenge proportional mit $\frac{1}{\sin^2\beta}$, im anderen Falle dagegen proportional mit $\frac{1}{\cos^2\beta}$, wenn $\beta$ die Ablesung des hinteren Nicols bedeutet. Setzt man die Helligkeit des Zeniths nach den beiden Componenten $= Z_1$ und $Z_2$, diejenige eines anderen Punktes am Himmel $= F_1$ und $F_2$, so erhält man für die Ausrechnung nach gleichen Überlegungen, wie sie oben ausgeführt worden sind:

1) $F_1 = Z_1 \frac{\sin^2\alpha_1}{\sin^2\beta_1}$

2) $F_2 = Z_2 \frac{\cos^2\alpha_2}{\cos^2\beta_2}$, wobei $\alpha_1$ und $\alpha_2$ die Ablesungen bei Zenithstellung beider Tuben sind, $\beta_1$ und $\beta_2$ die Ablesungen, wenn der Haupttubus auf eine andere Stelle des Himmels gerichtet ist. Das Verhältnis der Winkelfunktionen ist in diesen Formeln reciprok zu dem der früheren Formel, weil jetzt der Haupttubus gedreht

und der Nebentubus in derselben Stellung gelassen wurde. Setzt man nun $Z_1$ und $Z_2 = 1$, so ergiebt $F_1 + F_2$ einen relativen Wert für die Helligkeit des Punktes am Himmel, bezogen auf die $= 2$ gesetzte Helligkeit im Zenith. Diese relativen Helligkeitswerte habe ich dann noch durch 2 dividiert, um die gesamte Helligkeit das Zeniths immer $= 1$ setzen zu können.

Diese Messungen waren nur bei einem Zustande des Himmels möglich, der eine gewisse Constanz der Zenithhelligkeit für die Dauer der Beobachtung verbürgte. Dies ist einerseits der Fall bei absolut klarem, blauen Himmel, anderseits bei unveränderlicher Bewölkung des gesamten Himmels. Eine derartige Bewölkung ist selten, sie kommt meistens nur an trüben Wintertagen vor oder vor dem Herannahen einer barometrischen Depression, wobei sich das Himmelsgewölbe manchmal mit einer langsam dichter und dunkler werdenden Stratusschicht überzieht. Es ist mir daher nicht möglich gewesen, mehr als drei Beobachtungen der letzten Art beizubringen. Ich habe die Messungen nur für die eine Hälfte des Himmels, vom Sonnenvertikal teils nach Ost, teils nach West herum durchgeführt, in der Voraussetzung, dass eine symmetrische Verteilung der Helligkeit vom Sonnenvertikal aus vorhanden war. Durch vorherige Beobachtung der Beleuchtung überzeugte ich mich jedes Mal davon, dass für diese keine bedeutenden Unterschiede in Bezug auf Ost und West existierten. Daraus liess sich bei einer Verteilung der Helligkeit, die dem blossen Auge gleichmässig erschien, schliessen, dass auch für die Verteilung der Helligkeit keine bedeutenden Störungen in der Symmetrie vorhanden waren. Das Azimuth der Punkte rechnet vom Sonnenvertikal an. Als Sonnenhöhe ist die mittlere Höhe der Sonne während der Zeit der Beobachtungen angegeben. Die Änderungen des Sonnenazimuthes wurden dadurch berücksichtigt, dass von Zeit zu Zeit das Instrument nach den Himmelsrichtungen neu orientiert wurde.

Im Folgenden habe ich in einer Tabelle die Resultate der Beobachtungen, die Mittelwerte bei zusammenliegenden Sonnenhöhen, schliesslich das Gesamtmittel mitgeteilt. Für die Punkte des südlichen Sonnenvertikals musste eine Angabe der Mittelwerte unterbleiben, weil die Helligkeitsvergleichung des einen oder des anderen Punktes zeitweilig wegen allzu grosser Nähe der Sonne nicht durchzuführen war.

## Beobachtungen bei blauem Himmel.

| Nr. | Datum | Lage des beobachteten Punktes: Höhe | Azimuth 0° | 45° | 90° | 135° | 180° | Sonnenhöhe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 14./I. p. | 5° | — | 19,0 | 9,05 | 9,98 | 11,4 | |
| | | 30° | 9,58 | 8,55 | 5,57 | 4,80 | 5,32 | 5° |
| | | 60° | 2,62 | — | 2,40 | — | 1,53 | |
| 2. | 31. XII. p. | 5° | — | 12,6 | 4,02 | 6,38 | 8,53 | |
| | | 30° | 11,0 | 6,63 | 1,77 | 3,45 | 5,35 | 7° |
| | | 60° | 4,19 | — | 1,01 | — | 3,26 | |
| 3. | 7./II. p. | 5° | — | 19,6 | 10,9 | 6,99 | 7,61 | |
| | | 30° | 21,1 | 9,22 | 5,61 | 4,63 | 3,58 | 11° |
| | | 60° | 3,13 | — | 3,09 | — | 1,23 | |
| 4. | 10./II. p. | 5° | 10,7 | 4,47 | 1,65 | 1,27 | 1,22 | |
| | | 30° | — | 4.70 | 1,43 | 0,939 | 0,942 | 32° |
| | | 60° | 3,46 | — | 1,24 | — | 0,573 | |
| 5. | 14. III. a. | 5° | 17,3 | 6,46 | 4,23 | 4,46 | 4,01 | |
| | | 30° | — | 4,07 | 1,34 | 1,17 | 1,17 | 32° |
| | | 60° | 2,98 | — | 1,33 | — | 0,580 | |
| 6. | 21./IV. a. | 5° | 5,43 | 2,98 | 1,78 | 1,29 | 1,37 | |
| | | 30° | 6,80 | 2,46 | 0,950 | 0,689 | 0,571 | 44° |
| | | 60° | 8,20 | — | 0,962 | — | 0,514 | |
| 7. | 22./IV. p. | 5° | 3,02 | 2,08 | 1,61 | 1,24 | 1,40 | |
| | | 30° | 4,53 | 2,33 | 0,940 | 0,776 | 0,634 | 47° |
| | | 60° | — | — | 0,884 | — | 0,493 | |
| 8. | 11./VI. a. | 5° | 2,36 | 1,44 | 0,885 | 0,756 | 0,827 | |
| | | 30° | 2,75 | 1,44 | 0,686 | 0,436 | 0,456 | 56° |
| | | 60° | — | — | 0,773 | — | 0,394 | |
| 9. | 11./VI. a. | 5° | 2,04 | 1,34 | 0,847 | 0,768 | 0,828 | |
| | | 30° | 2,64 | 1,36 | 0,623 | 0,445 | 0,422 | 58° |
| | | 60° | — | — | 0,764 | — | 0,430 | |

## Mittelwerte von Beobachtungen bei zusammenliegenden Sonnenhöhen.

| Nr. | Datum | Lage des Punktes: Höhe | Azimuth 0° | 45° | 90° | 135° | 180° | Sonnenhöhe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | 5° | — | 17,1 | 7,99 | 7,78 | 9,18 | |
| | | 30° | 13,9 | 8,13 | 4,32 | 4,29 | 4,75 | 7,7° |
| | | 60° | 3,31 | — | 2,17 | — | 2,01 | |
| — | — | 5° | 14,0 | 5,46 | 2,94 | 2,86 | 2,67 | |
| | | 30° | — | 4,38 | 1,38 | 1,05 | 1,06 | 32° |
| | | 60° | 3,22 | — | 1,28 | — | 0,58 | |
| — | — | 5° | 4,22 | 2,53 | 1,70 | 1,26 | 1,38 | |
| | | 30° | 5,66 | 2,40 | 0,945 | 0,732 | 0,602 | 45;5° |
| | | 60° | — | — | 0,923 | — | 0,503 | |
| — | — | 5° | 2,20 | 1,39 | 0,866 | 0,762 | 0,828 | |
| | | 30° | 2,70 | 1,40 | 0,654 | 0,440 | 0,439 | 57° |
| | | 60° | — | — | 0,824 | — | 0,308 | |

Hauptmittel der Beobachtungen bei blauem Himmel.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | 5° | — | 6,62 | 3,37 | 3,17 | 3,50 | |
| | | 30° | — | 4,08 | 1,82 | 1,63 | 1,71 | 35,5° |
| | | 60° | — | — | 1,30 | — | 0,850 | |

## Beobachtungen bei gleichmässig bewölktem Himmel.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | 28./XII. p | 5° | 0.414 | 0,409 | 0,445 | 0,454 | 0,441 | |
| | | 30° | 0,853 | 0,978 | 0,779 | 0,695 | 0,670 | 11° |
| | | 60° | 1,05 | — | 0,969 | — | 0,801 | |
| 2. | 9./I. p. | 5° | 0,336 | 0,343 | 0,333 | 0,356 | 0,338 | |
| | | 30° | 0,719 | 0,738 | 0,738 | 0,747 | 0,700 | 13° |
| | | 60° | 0,920 | — | 0,918 | — | 0,928 | |
| 3. | 20./VI. p. | 5° | 0,542 | 0,522 | 0,429 | 0,392 | 0,360 | |
| | | 30° | 1,08 | 0,995 | 0,821 | 0,730 | 0,656 | 58° |
| | | 60° | — | — | 0,938 | — | 0,638 | |

Gesamtmittel d. Beobachtungen bei gleichmässig bewölktem Himmel.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | 5° | 0,458 | 0,449 | 0,409 | 0,398 | 0,375 | |
| | | 30° | 0,933 | 0,926 | 0,790 | 0,726 | 0,670 | 35° |
| | | 60° | — | — | 0,941 | — | 0,767 | |

In einer Dissertation vom Jahre 1898[1]) sind aus einer grösseren Anzahl von Beobachtungen absolute Werte für die Flächenhelligkeit des Zeniths von Kiel bei blauem Himmel in 1000 der secundären Einheiten für Flächenhelligkeit angegeben. Diese zeigen ein Anwachsen der Helligkeit, das ziemlich proportional mit ansteigenden Sonnenhöhen geht, abgesehen von Sonnenhöhen zwischen 30° und 37°. Bei einer Sonnenhöhe von 8° ist, in Rot gemessen, ein Wert von 3,88, in Grün von 18,94 angegeben, für 50° Sonnenhöhe sind die entsprechenden Werte 28,17 und 115,11.

Die Verteilung der Helligkeit am blauen Himmel hat eine grössere Regelmässigkeit, als man der Natur der Sache nach erwarten sollte. Bei den absoluten Werten ist dies keineswegs der Fall. Der klare Himmel zeigt manchmal ein tiefdunkles Blau, manchmal eine hellere, mehr nach dem Weiss hinliegende Färbung, je nach dem Grade der Reinheit der Atmosphäre. Und so erscheint es uns bald heller, bald dunkler. Für die Verteilung der Helligkeit, für die relativen Intensitäten derselben liegt aber eine gewisse Gesetzmässigkeit vor. Daher ist diese Zahl von Beobachtungen genügend, um die Verteilung der Helligkeit am blauen Himmel bis zu der Bestimmtheit festzulegen, die für den Zweck dieser Untersuchungen hinreichend ist. Meine Absicht war nämlich in letzter Linie angeben zu können, um wieviel heller ein bestimmtes Stück des Himmels im Durchschnitt anzusetzen ist als ein anderes. Diese Frage kann hauptsächlich deswegen nur angenähert beantwortet werden, weil die direkten Messungen einer momentan vorhandenen Verteilung der Helligkeit auf solche Himmelsbeschaffenheit beschränkt sind, die wenigstens für die Dauer von etwa 30′ als konstant zu betrachten sind. Bei wechselnder und an der Sonne vorbeigehender Bewölkung ändert sich aber die Helligkeitsverteilung von Augenblick zu Augenblick.

An klaren Tagen ist bei niedrigen Sonnenständen das Zenith am dunkelsten, die anderen Punkte des Himmels zeigen eine mehr als 1 betragende relative Intensität der Helligkeit. Die hellsten Punkte befinden sich immer in der Umgebung der Sonne, also, wenn diese niedrig steht, am südlichen Horizont. Von dieser hellsten Fläche kommt man zu kleineren relativen Intensitäten, sobald man auf Horizontalkreisen nach Ost oder West herumgeht, bis man in der Nähe des Ost- und Westpunktes zu einem Minimum gelangt. Von dieser Stelle an findet in der Nähe des Horizontes

---

[1]) Beiträge zur Photometrie des Himmels von Dr. Ch. Jensen. Kiel 1898.

wieder eine deutliche Zunahme der Helligkeit statt, auf höher gelegenen Horizontalkreisen dagegen bleibt dieselbe annähernd konstant. Geht man bei niedrig stehender Sonne auf Vertikalen vom Horizont nach dem Zenith, so gelangt man überall zu dunkleren Flächen. Diese Abnahme der Helligkeit hat den grössten Betrag auf der südlichen Seite, den geringsten auf der östlichen und westlichen Seite des Himmels.

Bei diesen niedrigen Sonnenständen betrug z. B. die relative Intensität eines Punktes 19,0, an einem andern Tage trotz wenig veränderter Sonnenhöhe nur 12,6. In nahezu demselben Verhältnis stehen die Intensitäten der übrigen, dem Horizonte benachbarten Stellen, während nach dem Zenith hin ein allmähliches Ausgleichen zu denselben Werten stattfindet. Der Grund hierfür wird in Folgendem zu finden sein. Bei der ersten Beobachtung war ein besonders klarer, tiefblauer Himmel vorhanden. Diese dunkelblaue Färbung des Himmels zeigt sich dann besonders in den zenithalen Teilen, ein geringer Helligkeitswert des Zeniths bedingt aber grosse relative Intensitäten für den Horizont.

Sind Sonnenhöhen von ungefähr 30° vorhanden, so ist das Zenith nicht mehr der dunkelste Punkt von den beobachteten Stellen. Die Fläche geringster Helligkeit, deren Zentrum bei den vorigen Beobachtungen ungefähr im Zenith lag, hat sich angenähert um so viel weiter nach dem nördlichen Horizonte verschoben, als die Sonne höher gekommen ist. Der Punkt, dessen Höhe 60°, dessen Azimuth 180° beträgt, zeigt jetzt die geringste Helligkeit. Von ihm aus ist nach allen Seiten hin eine Zunahme der Helligkeit zu finden, die grösste nach der Sonne zu, eine geringere auf den anderen grössten Kreisen, die durch ihn gelegt werden. Geht man wiederum auf Horizontalkreisen vom Sonnenvertikal nach Norden herum, so tritt schnelle Abnahme der Helligkeit bis zum Ost- und Westpunkt ein, von da aus bleiben bis zu 30° Höhe die Helligkeitswerte dieselben, auf höheren Horizontalkreisen wird es aber weiterhin dunkler.

Die absoluten Werte der Zenithhelligkeit sind jetzt ungefähr dreimal so gross geworden. Daraus folgt, dass die absoluten Werte der Punkte am Horizonte annähernd dieselben geblieben sind, nur im Norden ist eine geringe Abnahme eingetreten. In 30° Höhe haben die nach Süden hin liegenden Punkte grössere absolute Werte erlangt, die nach Norden hin kleinere, während die mittleren Punkte unveränderte Werte zeigen. In 60° Höhe geht aber die absolute Zunahme der Helligkeit bis an den Ost-Westvertikal, im Norden dagegen ist auch jetzt Abnahme eingetreten.

Wenn die Sonne höher steigt, so verschiebt sich die Fläche geringster Helligkeit ein wenig weiter nach dem nördlichen Horizonte zu, von den zur Messung herangezogenen Punkten bleibt derjenige der dunkelste, welcher ein Azimuth von 180° und eine Höhe von 60° hat. Sämtliche Punkte der nördlichen Himmelshälfte zeigen eine geringere Intensität als das Zenith, die der südlichen dagegen eine grössere Intensität. Auf den Horizontalkreisen findet eine Abnahme der Helligkeit bis zu einem Azimuth von 135° statt, von da an bleiben die Werte, jetzt auch am Horizonte, konstant. Die absoluten Werte zeigen ein ähnliches Verhalten wie bei mittleren Sonnenhöhen.

Diese Thatsachen lassen sich derart beschreiben, dass die Helligkeit eines Punktes am Himmel einerseits durch seinen Abstand vom Horizonte, andrerseits durch seinen Abstand von der Stelle, wo uns die Sonne erscheint, bestimmt wird, und zwar in der Weise, dass mit wachsendem Abstand vom Horizonte und mit wachsendem Abstand von der Sonne die Intensitäten der Flächenhelligkeit abnehmen. Denn Abnahme der Helligkeit findet im allgemeinen statt, wenn man auf Horizontalkreisen sich von der Sonne und auf Vertikalkreisen vom Horizonte entfernt. Unregelmässigkeiten treten hierin deswegen ein, weil die um die Sonne als Centrum gezogenen Kreise nicht symmetrisch zu diesen Kreisscharen liegen.

Hinsichtlich der Flächenhelligkeit des blauen Himmels sei noch erwähnt, dass Wild auf dem durch die Sonne gelegten Vertikal eine Verteilung derselben nach ähnlichen Gesetzen fand. Abnahme der Intensität bis zu einem Punkte, der 80° von der Sonne entfernt liegt, und rasche Zunahme von da aus nach der Sonne hin. Auch Wild bemerkt, dass dieser dunkelste Punkt bei hohen Sonnenständen näher nach der Sonne zu liegt, sich also nicht in gleichem Masse nach dem nördlichen Horizonte hin verschiebt, wie die Sonne sich dem Zenith nähert.

Eine noch regelmässigere Verteilung der Flächenhelligkeit tritt bei unveränderlich bewölktem Himmel ein. Das störende Element bei unbewölktem Himmel war die Unsymmetrie der concentrisch um die Sonne gezogenen Kugelkreise in Bezug auf die Horizontal- und Vertikalkreise. Je stärker nun aber die Bewölkung ist, desto mehr wird der Einfluss der Sonne geschwächt, desto regelmässiger muss also die Verteilung der Helligkeit am Himmel werden; hierbei ist natürlich immer eine Bewölkung

vorausgesetzt, bei der man kein Ziehen einzelner Wolken wahrnehmen kann, keine Abwechslung von helleren und dunkleren Flächen, die auf wechselnde Dichte der Schicht zurückzuführen sind, sondern eine gleichmässig über den ganzen Himmel ausgebreitete Wolkenschicht, möge sie nun leichter Cirrostratus oder reiner, dunklerer Stratus sein. Ein bewölkter Himmel von dieser Beschaffenheit zeigt nun aber eine entgegengesetzte Verteilung wie der blaue Himmel, vom Horizont nach dem Zenith hin tritt eine Zunahme der Helligkeit ein. Am Horizont sind die relativen Intensitäten ungefähr 0,4, wenn die Intensität im Zenith = 1 gesetzt ist. Es kann eine so dichte Bewölkung eintreten, dass die Sonne sich in keiner Weise durch grössere Helligkeit der Wolkendecke verrät. Bei Beobachtung Nr. 2 ist dies der Fall. Dieselbe wurde bei einer Bewölkung angestellt, die durch mittelstarken Nebel auf der Erde verstärkt wurde. Bei ihr sind auf den Horizontalkreisen fast völlig gleiche Helligkeiten vorhanden. Bei Beobachtung Nr. 1 war die Wolkendicke anscheinend nicht ganz so stark; hier ist, geringer auf niedrigeren, stärker auf höheren Horizontalkreisen, eine Abnahme der Helligkeit nach Norden hin wahrzunehmen. Die hellste Fläche muss jetzt diejenige Region des Zeniths sein, welche nach der Sonne zu liegt. Auf dem Sonnenvertikal in 60° Höhe wurde daher die grösste Helligkeit gefunden. Die dritte Beobachtung wurde bei einem gleichmässigen Stratus angestellt, durch den hindurch die Sonne als runde Scheibe sichtbar war, doch war direkter Sonnenschein nicht vorhanden. Wiederum ist der Horizont am dunkelsten, die zenithale Region nach der Seite hin, wo die Sonne steht, am hellsten. Nach Norden hin findet auf den Horizontalkreisen eine Abnahme der Helligkeit statt, die jetzt auch auf den nahe am Horizonte liegenden Kreisen deutlich wahrnehmbar ist.

Bei wechselnder Bewölkung des Himmels treten an demselben bald hellere, bald dunklere Flächen auf, die sich ohne Gesetzmässigkeit ändern. Daher kann durch Messungen die mittlere Verteilung der Helligkeit bei bewölktem Himmel schwer festgelegt werden. Man wird nun annehmen können, dass im Durchschnitt auch bei wechselnder Bewölkung am Horizont die dunkleren Partieen, im Zenith dagegen die hellsten Teile des Himmels liegen. Einem wahrscheinlichen mittleren Zustande wird man dann nahe kommen, wenn man sich die Unregelmässigkeiten der Helligkeit so ausgeglichen denkt, dass eine vom Horizont nach dem Zenith allmählich heller werdende Fläche entsteht, welche auf eine ihr zugewandte, vertikal gestellte Fläche dieselbe Beleuchtung wirft

wie der unregelmässig bewölkte Himmel und auf welcher die Helligkeit so verteilt ist, wie bei einem gleichmässig bewölkten Himmel.

Gleichzeitig mit den drei Messungen über die Verteilung der Helligkeit am bewölkten Himmel habe ich die Verteilung der Beleuchtung nach den vier Quadranten gemessen. Ich fand als Mittel dieser drei Beobachtungen folgende relative Intensitäten:

| $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ |
|---|---|---|---|
| 0,592 | 0,417 | 0,443 | 0,470 |

Bei bewölktem Himmel ist nun die mittlere Verteilung, wie oben angegeben ist, folgende:

| $J_s$ | $J_n$ | $J_e$ | $J_w$ |
|---|---|---|---|
| 0,529 | 0,381 | 0,422 | 0,423 |

Hat man zwei gleichgrosse Flächen, an denen die Verteilung der Helligkeit die gleiche ist, die aber auf ein Flächenstück F, das ihnen gegenüber in derselben Lage aufgestellt wird, verschiedene Beleuchtungen werfen, so müssen die Helligkeitswerte der einzelnen Punkte beider Flächen in demselben Verhältnisse stehen, wie die Beleuchtungen der gleichen Flächenstücke. Um dies zu beweisen, teile ich die leuchtenden Flächen in eine gleiche Anzahl von Teilen $df_1, df_2, \ldots\ldots df_n$, die auf beiden Flächen gleiche Grösse haben. Die Helligkeit der einzelnen Teile der leuchtenden Flächen sei $H_1, H_2, \ldots\ldots H_n$, beziehungsweise $H'_1, H'_2, \ldots\ldots H'_n$. Die Beleuchtungsstärke, welche diese einzelnen Teile auf F bewirken, sei $J_1, J_2 \ldots\ldots J_n$, beziehungsweise $J_1, J'_2, \ldots\ldots J'_n$. Da nun die Emanationswinkel und Incidenzwinkel der von diesen Flächen auf die Fläche F fallenden Lichtmengen für die entsprechenden Teile beider leuchtenden Flächen gleich sind, ebenso die Entfernungen der einzelnen Flächenelemente von der beleuchteten Fläche F, so folgen aus dem Lambertschen Fundamentalsatze folgende Proportionen:

$$\frac{J_1}{J'_1} = \frac{H_1}{H'_1}$$

$$\ldots\ldots\ldots$$

$$\frac{J_n}{J'_n} = \frac{H_n}{H'_n}$$

Nach der Voraussetzung ist die Verteilung der Helligkeit auf beiden Flächen dieselbe, es gilt also die fortlaufende Proportion:

$$\frac{H_1}{H'_1} = \frac{H_2}{H'_2} \cdots\cdots = \frac{H_n}{H'_n}$$

Mithin wird auch gelten:

$$\frac{J_1}{J'_1} = \frac{J_2}{J'_2} = \cdots\cdots \frac{J_n}{J'_n} \quad \text{oder:}$$

$$\frac{J_1 + J_2 + \cdots\cdots J_n}{J'_1 + J' + \cdots\cdots J'_n} = \frac{J_1}{J'_1} = \frac{H_1}{H'_1}$$

Damit ist der obige Satz bewiesen, denn $J_1 + J_2 + \cdots\cdots J_n$ ist die gesamte von der leuchtenden Fläche auf F fallende Beleuchtung, mithin haben wir:

$$\frac{H_1}{H'_1} = \frac{J}{J'}$$

Mit Hülfe dieser Betrachtung kann ich nun die mittleren relativen Intensitäten der Helligkeit für bewölkten Himmel genauer angeben. Die gefundenen Helligkeitswerte sind mit dem Verhältnis $\frac{J}{J'}$ zu multiplizieren, wo J die Beleuchtung der vertikalen Platte ist, wie sie im Mittel bei sämtlichen Beobachtungen ohne Sonnenschein gefunden ist, J′ dagegen, wie sie bei den drei Helligkeitsbeobachtungen vorhanden war. Die Punkte, welche nach Südwest, Nordwest u. s. w. liegen, entsenden Licht nach zwei Vertikalflächen; ich habe sie nach beiden Verhältnissen korrigiert und aus beiden Korrektionen das Mittel genommen. Damit finde ich folgende mittlere Verteilung der Helligkeit des bewölkten Himmels, bei der das Mittel von Ost und West ausgeglichen ist.

| Höhe | Lage des beobachteten Punktes Azimuth | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 5° | 0,410 | 0,382 | 0,369 | 0,343 |
| 30° | 0,840 | 0,738 | 0,670 | 0,612 |
| 60° | — | 0,879 | — | 0,701 |

Die Azimuthe der Punkte am Himmel, für welche im Voraufgehenden relative Helligkeitswerte angegeben sind, rechnen vom Sonnenvertikal an. Um aus diesen Resultaten mittlere tägliche oder jährliche Helligkeitswerte für einen nach den wahren Himmelsrichtungen orientierten, festen Punkt zu gewinnen, müssen die mit

dem Sonnenstand variierenden Himmelsrichtungen auf die wirklichen Himmelsrichtungen reduziert werden. Es lag hierbei die Frage nahe, ob es möglich und ratsam sein würde, zuvor von den relativen Helligkeitswerten auf die absoluten Werte überzugehen. Dazu würden Helligkeitswerte des Zeniths für bestimmte Sonnenhöhen notwendig sein. Für unbewölkten Himmel sind solche in der schon oben angeführten Dissertation von Dr. C. Jensen angegeben. Aus den Akten der Lichtmessungen des hiesigen physikalischen Instituts würde es möglich sein, für gewisse Intervalle der Sonnenhöhen das durchschnittliche Verhältnis der Zenithhelligkeiten des bewölkten und unbewölkten Himmels festzustellen, und damit wären dann auch die Helligkeitswerte des Zeniths für bewölkten Himmel bekannt. Nun zeigen aber die in der oben angeführten Dissertation angegebenen Zahlen eine Unregelmässigkeit des Anwachsen der Zenithhelligkeit; es findet sich zwischen 30° und 40° Sonnenhöhe ein auffallender Knick in der Kurve, welcher das Ansteigen der Flächenhelligkeit des Zeniths mit steigender Sonne darstellt. Aus diesem Grunde habe ich geglaubt, bei den Interpolationen eine grössere Annäherung zu erzielen, wenn ich bei den relativen Werten bleibe. Für die Beurteilung der Beleuchtungsgüte zweier Räume, deren Fenster nach verschiedenen Himmelsrichtungen orientiert sind, kommt es ja auch nur darauf an, zu wissen, um wieviel die gegenüberliegende Himmelsfläche in dem einen Fall heller als in dem anderen Falle ist.

Für die weiteren Rechnungen habe ich nun die auf pag. 111 für unbewölkten Himmel und auf pag. 117 für bewölkten Himmel angegebenen Helligkeitswerte verwandt. Zunächst habe ich hieraus die Helligkeitswerte der Punkte bei unbewölktem Himmel am 20. Tage jedes Monats für 12 Uhr wahrer Sonnenzeit interpoliert. Am 20. Dezember hat die Sonne um 12 Uhr eine Höhe von 12°; das Azimuth ist natürlich 0 Grad, also fallen die nach der Sonne orientierten Himmelsrichtungen mit den wirklichen Himmelsrichtungen zusammen. Aus den oben angegebenen Helligkeitswerten für 8° und 32° Sonnenhöhe, (die Sonnenhöhen und Sonnenazimuthe sind im Folgenden immer auf ganze Grade abgerundet), finde ich durch Interpolation folgende relative Helligkeitswerte für 12° Sonnenhöhe:

| Höhe | Orientierung des Punktes Himmelsrichtung | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | S | SW u. SE | W u. E | NW u. NE | N |
| 5° | — | 15,2 | 7,15 | 6,96 | 8,09 |
| 30° | — | 7,51 | 3,83 | 3,75 | 4,13 |
| 60° | 3,29 | — | 2,02 | — | 1,77 |

In derselben Weise habe ich nun die Helligkeitswerte dieser Punkte am 20. jedes Monats zur Zeit des wahren Mittags bei unbewölktem Himmel interpoliert. Diese sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

| Datum | Höhe | Lage des beobachteten Punktes Himmelsrichtung S | SE u. SW | E u. W | NE u. NW | N |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20. Januar | 5° | — | 13,22 | 6,31 | 6,12 | 6,99 |
| | 30° | — | 6,89 | 3,34 | 3,21 | 3,52 |
| | 60° | 3,28 | — | 1,87 | — | 1,53 |
| 20. Februar | 5° | — | 9,34 | 4,62 | 4,50 | 4,81 |
| | 30° | — | 5,62 | 2,36 | 2,13 | 2,29 |
| | 60° | 3,25 | — | 1,58 | — | 1,06 |
| 20. März | 5° | 11,20 | 4,62 | 2,58 | 2,40 | 2,26 |
| | 30° | — | 3,82 | 1,26 | 0,960 | 0,930 |
| | 60° | — | — | 1,18 | — | 0,558 |
| 20. April | 5° | 4,04 | 2,43 | 1,62 | 1,22 | 1,33 |
| | 30° | 5,39 | 2,31 | 0,919 | 0,705 | 0,587 |
| | 60° | — | — | 0,914 | — | 0,485 |
| 20. Mai | 5° | 2,38 | 1,49 | 0,942 | 0,807 | 0,878 |
| | 30° | 2,99 | 1,49 | 0,680 | 0,467 | 0,454 |
| | 60° | — | — | 0,833 | — | 0,326 |
| 20. Juni | 5° | 1,84 | 1,19 | 0,714 | 0,672 | 0,728 |
| | 30° | 2,16 | 1,22 | 0,602 | 0,386 | 0,409 |
| | 60° | — | — | 0,806 | — | 0,272 |
| 20. Juli | 5° | 2,20 | 1,39 | 0,866 | 0,762 | 0,828 |
| | 30° | 2,70 | 1,40 | 0,654 | 0,440 | 0,439 |
| | 60° | — | — | 0,824 | — | 0,308 |
| 20. August | 5° | 3,68 | 2,23 | 1,47 | 1,12 | 1,23 |
| | 30° | 4,85 | 2,13 | 0,867 | 0,651 | 0,557 |
| | 60° | — | — | 0,896 | — | 0,449 |
| 20. September | 5° | 10,43 | 4,42 | 2,51 | 2,25 | 2,19 |
| | 30° | — | 3,66 | 1,22 | 0,939 | 0,899 |
| | 60° | — | — | 1,16 | — | 0,557 |
| 20. Oktober | 5° | — | 8,37 | 4,20 | 3,09 | 4,26 |
| | 30° | — | 5,32 | 2,14 | 1,86 | 1,98 |
| | 60° | 3,24 | — | 1,50 | — | 0,940 |
| 20. November | 5° | — | 13,2 | 6,31 | 6,12 | 6,99 |
| | 30° | — | 6,89 | 3,34 | 3,21 | 3,52 |
| | 60° | 3,28 | — | 1,87 | — | 1,53 |
| 20. Dezember | 5° | — | 15,2 | 7,15 | 6,96 | 8,09 |
| | 30° | — | 7,51 | 3,83 | 3,75 | 4,13 |
| | 60° | 3,29 | — | 2,20 | — | 1,77 |
| Jahresmittel. | | | | | | |
| | 5° | — | 6,43 | 3,27 | 3,00 | 3,38 |
| | 30° | — | 4,02 | 1,77 | 1,56 | 1,64 |
| | 60° | — | — | 1,29 | — | 0,815 |

Die gleiche Rechnung für den gleichmässig bewölkten Himmel durchzuführen, war mir nicht möglich, weil das nötige Beobachtungsmaterial fehlte. Dies wird auch kaum nötig sein, da die oben angegebenen Beobachtungen zur Genüge zeigen, dass keine bedeutenden Veränderungen in der Verteilung der Beleuchtung eintreten, wenn die Sonne höher kommt. Infolge dessen können wir annehmen, dass der obige Mittelwert dem für 12 Uhr Mittags geltenden Jahresmittel der Verteilung der Flächenhelligkeit bei gleichmässig bewölktem Himmel nahe kommt. Das Jahresmittel der Bewölkung für Kiel beträgt 6,96 oder rund 7, d. h. unter 10 Tagen sind im Durchschnitt 7 Tage ganz bewölkt und 3 Tage vollkommen heiter. Ist $h_1$ die Helligkeit eines Punktes bei Bewölkung, $h_2$ dieselbe bei klarem Himmel, so ist die mittlere Helligkeit dieses Punktes $\frac{7\,h_1 + 3\,h_2}{10}$. Hiernach sind folgende Helligkeitswerte berechnet. Die Zahlen geben also relative Durchschnittswerte für die mittlere Helligkeit gewisser Punkte an, Werte, die sich auf die = 1 gesetzte gleichzeitig vorhandene Zenithhelligkeit beziehen.

| Höhe | Himmelsrichtung der Punkte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | SE u. NW | E u. W | NE u. NW | N |
| 5° | 2,22 | 1,24 | 1,16 | 1,25 |
| 30° | 1,79 | 1,05 | 0,937 | 0,920 |
| 60° | — | 1,00 | — | 0,735 |

In gleicher Weise habe ich die relativen Helligkeitswerte für 9 Uhr Morgens wahrer Sonnenzeit berechnet. Am 20. Dezember ist um 9 Uhr eine Sonnenhöhe von 3° vorhanden. Durch Extrapolieren finde ich für diese Sonnenhöhe aus den Beobachtungsresultaten folgende Werte der Helligkeit bei unbewölktem Himmel:

| Höhe | Lage des Punktes. Azimuth (vom Sonnenvertikal aus) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 5° | — | 19,5 | 9,04 | 8,80 | 10,55 |
| 30° | — | 8,91 | 4,93 | 4,97 | 5,52 |
| 60° | 3,33 | — | 2,36 | — | 2,31 |

Diese Werte gelten für Punkte, die nach dem Sonnenvertikal orientiert sind. Das Azimuth der Sonne beträgt zu dieser Zeit —40°, ich komme also zu den wirklichen Himmelsrichtungen, wenn ich aus diesen Helligkeitswerten die Helligkeit der Punkte mit einem Azimuth von 40°, 85°, 130°, 175°, —50°, —95° und —140° interpoliere, wobei östliches Azimuth negativ gesetzt ist. Die Interpolation für negative Azimuthe ist möglich, weil die obigen Azimuthwerte wegen der Symmetrie der Helligkeitsverteilung in Bezug auf den Sonnenvertikal auch negativ genommen werden können. In dieser Weise finde ich nun folgende Helligkeitswerte der nach den wahren Himmelsrichtungen orientierten Punkte für 9 Uhr Morgens am 20. Dezember bei unbewölktem Himmel:

| | Lage des Punktes | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Höhe | S | SW | W | NW | N | NE | E |
| 5° | 20,7 | 10,20 | 8,83 | 10,36 | 8,99 | 9,01 | 18,3 |
| 30° | 9,34 | 5,37 | 4,97 | 5,46 | 5,03 | 4,97 | 8,47 |
| 60° | 2,90 | 2,47 | 2,34 | 2,32 | 2,33 | 2,35 | 2,79 |

In derselben Weise habe ich die relativen Helligkeitswerte, die für den 20. Tag der übrigen Monate um 9 Uhr Morgens gelten, berechnet. Aus allen habe ich das Mittel genommen.

| | Lage des Punktes | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Höhe | S | SW | W | NW | N | NE | E |
| 5° | 10,1 | 5,25 | 4,69 | 5,14 | 4,80 | 5,21 | 10,4 |
| 30° | 5,33 | 2,67 | 2,42 | 2,61 | 2,49 | 2,97 | 5,82 |
| 60° | 2,06 | 1,64 | 1,39 | 1,27 | 1,47 | 1,72 | 2,18 |

Bei Berechnung derselben Werte für gleichmässig bewölkten Himmel sind die Änderungen der Sonnenhöhe wieder nicht berücksichtigt. Die Mittelwerte hierfür sind:

| | Lage der Punkte | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Höhe | S | SW | W | NW | N | NE | E |
| 5° | 0,406 | 0,380 | 0,366 | 0,346 | 0,371 | 0,386 | 0,414 |
| 30° | 0,826 | 0,729 | 0,662 | 0,620 | 0,679 | 0,752 | 0,854 |
| 60° | 0,956 | 0,866 | 0,778 | 0,714 | 0,802 | 0,892 | 0,980 |

Beide Wertesysteme sind wiederum nach dem Verhältnis der mittleren jährlichen Bewölkung von Kiel zu einem Gesamtmittel vereinigt.

| | Lage der Punkte | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Höhe | S | SW | W | NW | N | NE | E |
| 5° | 3,31 | 1,84 | 1,66 | 1,78 | 1,70 | 1,83 | 3,41 |
| 30° | 2,18 | 1,31 | 1,19 | 1,22 | 1,22 | 1,42 | 2,34 |
| 60° | 1,29 | 1,10 | 0,952 | 0,887 | 1,08 | 1,14 | 1,34 |

Mit Hülfe dieser Werte sind von mir 2 Himmelskarten gezeichnet worden, auf denen die Linien gleicher Helligkeit für 9 Uhr Morgens und 12 Uhr Mittags dargestellt sind. Die erste Karte passt auch für Nachmittags 3 Uhr, wenn man Ost und West mit einander vertauscht. Die geringste Helligkeit zeigt immer der Punkt, welcher auf dem nördlichen Teil des Sonnenvertikals in einer Höhe von 60° liegt. Die Zunahme der Helligkeit, welche von hier aus nach allen Richtungen hin stattfindet, ist stärker nach der südlichen und nördlichen Seite hin, schwächer dagegen nach Osten und Westen. Die Linien gleicher Helligkeit stellen sich gewissermassen als eine Schar deformierter Kreise dar, die durch einen Druck von der Seite her, wo die Sonne steht, deformiert sind. Es ist die um die Sonne herum sich verbreitende Helligkeit, welche die Linien zurückdrängt.

---

Im letzten Abschnitt der Arbeit soll darauf hingewiesen werden, wie diese Resultate zu der Beurteilung der Beleuchtungsgüte von Innenräumen verwertet werden können. In alle solche Räume, wo an jeder Stelle gearbeitet werden soll, wie es in Fabriken, Schulen u. s. w. der Fall ist, muss soviel Licht einfallen, dass selbst die vom Fenster entferntesten Plätze eine genügende Beleuchtung haben. Die zu diesem Zwecke gegebenen Vorschriften gingen zunächst dahin, ein bestimmtes Verhältnis zwischen Glasfläche und Bodenfläche festzulegen. Eine durch Einführung des Raumwinkelmessers gemachte Vervollkommnung der Vorschriften war es, dass man später die Grösse des Stückes berücksichtigte, welches man vom freien Himmel sehen kann, und auch den Einfluss des Elevationswinkels der Lichtstrahlen hervorhob. Beides wird in Betracht gezogen bei dem reduzierten Raumwinkel, welcher von Herrn Prof. L. Weber und H. Cohn eingeführt wurde.

Für die Beurteilung der Beleuchtungsgüte eines Innenraumes ist die Aufgabe zu lösen, die für eine Fläche f bewirkte Beleuchtungsstärke zu messen, wenn eine leuchtende Fläche F mit der Helligkeit H im Abstande R gegeben ist und die Verbindungslinie von f mit F den Winkel $90^0$ mit F, den Winkel $\alpha$ mit f bildet. Es sei zunächst angenommen, dass F hinreichend klein sei. Dann ist diese Beleuchtungsstärke nach der Lambertschen Formel: $h = H \frac{F}{R^2} \sin \alpha$. $\frac{F}{R^2}$ ist der Raumwinkel, unter welchem die Fläche F in der Entfernung R gesehen wird. Er wird gemessen nach Quadratgraden. Ein solcher ist ein conusförmiger Raum, dessen Spitze in f liegt, und der aus F ein Quadrat ausschneidet, dessen Seiten einen Bogengrad des mit R um f geschlagenen Kreises betragen. Enthält die Fläche F $\Omega$ solcher Quadrate, so wird $\frac{F}{R^2} = \Omega \left(\frac{2\pi}{360}\right)^2$, mithin $h = H \Omega \sin \alpha \left(\frac{2\pi}{360}\right)^2$. Für $\Omega \sin \alpha$ wurde nun die Bezeichnung reduzierter Raumwinkel eingeführt. Bezeichnet man diesen durch $\psi$, so ist $h = H \psi \left(\frac{2\pi}{360}\right)^2$.

Für die Bestimmung von h ist also eine zwiefache Messung nötig. Erstens muss H gemessen werden, in unserem Falle die Helligkeit eines Stückes der Himmelsfläche, zweitens $\psi$. Diesen Raumwinkel kann man bequem mittelst des von Herrn Professor L. Weber[1]) konstruierten Raumwinkelmessers bestimmen. Für grössere Fensterflächen, wo F also nicht mehr hinreichend klein ist, muss man für die einzelnen Teile des Fensters $\psi$ messen, die Addition derselben ergiebt dann den gesamten reduzierten Raumwinkel. Zweitens muss man H kennen, eine Grösse, die von Augenblick zu Augenblick sich ändert und daher nur in Durchschnittswerten angegeben werden kann. Dafür waren bis jetzt keine Daten vorhanden; man musste sich darauf beschränken, ein geschätztes Mindestmaass für den reduzierten Raumwinkel festzusetzen. Mit Hülfe der durch diese Arbeit gewonnenen Isophotenkarten kann diese Forderung spezialisiert werden, da direkt aus der Zeichnung entnommen werden kann, um wieviel heller zu den Zeiten 9, 12, 3 Uhr ein gewisses Flächenstück des Himmels im Durchschnitt anzusetzen ist als ein nach irgend einer anderen Himmelsrichtung hin orientiertes Stück.

---

[1]) L. Weber, Beleuchtung p. 65.

Prof. Dr. Mehmke[1]) zeigt in einer Abhandlung, die in der Zeitschrift für Mathematik und Physik erschienen ist, dass auf Grund der Lambertschen Formel die Beleuchtung eines Platzes f in einem Innenraum durch eine leuchtende Fläche F proportional mit $F^1 \varrho \sin \alpha$ ist. Hierin bedeutet $F^1$ die Zentralprojektion der Fläche F auf eine Kugeloberfläche mit dem Radius 1 vom Mittelpunkt der Fläche f aus, $\varrho$ die Entfernung des Schwerpunktes der Fläche $F^1$ von f, $\alpha$ die Neigung der Verbindungslinie Schwerpunkt-Platz f gegen die Ebene f. Diese Fläche $F^1$ ist dasselbe wie der obige Raumwinkel, $F^1 \sin \alpha$ der reduzierte Raumwinkel. $\varrho$ ist von Herrn Prof. L. Weber für kleine Flächenstücke = 1 gesetzt, da in diesem Falle der Schwerpunkt der Fläche $F^1$ nur wenig innerhalb der Kugeloberfläche liegt. Und in der Praxis kann dies ohne Bedenken gethan werden, da es sich dort immer nur um beliebig klein zu wählende Teile der Kugeloberfläche handelt.

Ein anderes Mass für die Beleuchtung eines Elementes f durch eine helle Fläche F giebt Wiener in seinem Lehrbuch der darstellenden Geometrie. Nimmt man ein Flächenstück $dF^1$ von $F^1$ und projiciert dieses auf die Richtung der Ebene f, so ist die Projektion $dF'' = dF^1 \cos i$, wo i der Winkel zwischen der Flächennormale von f und der Richtung des auf f einfallenden Lichtes ist. Mithin ist die Beleuchtungsstärke, welche f von F empfängt, proportional mit $\frac{F''}{\pi}$. Diese Grösse nennt Wiener den Beleuchtungsraum der Fläche F gegenüber dem Elemente f. Hierzu führt Prof. Dr. Mehmke[2]) den Beleuchtungsvektor ein. Er verbindet den Mittelpunkt p von f mit dem Schwerpunkt der Fläche $F^1$, und trägt auf dieser Linie die Grösse $\frac{F^1 \varrho}{\pi}$ ab, welche er den Beleuchtungsvektor der reflektierenden Fläche F in Bezug auf den Punkt p nennt. Projiciert man nun diesen Beleuchtungsvektor auf die Normale der Fläche f, so ist diese Projektion gleich der Längenzahl des Wienerschen Beleuchtungsraumes. Besteht F aus mehreren Teilen, so ist der Beleuchtungsvektor von F in Bezug auf f gleich der geometrischen Summe der zu den einzelnen Teilen gehörigen Beleuchtungsvektoren. Für eine gradlinig begrenzte Lichtöffnung von beliebiger Gestalt lässt sich der Wienersche Beleuchtungsraum

---

[2]) Prof. Dr. Mehmke, Über die mathematische Bestimmung der Helligkeit in Räumen mit Tagesbeleuchtung, insbesondere Gemäldesälen mit Deckenlicht.

[1]) l. c. pag. 46.

berechnen, er ist $R = \sum_{i=1}^{n} \frac{\varphi_i}{2\pi} \cos \alpha_i$, worin $\varphi_i$ die Winkel sind, unter denen von p aus die Seiten des Vielecks erscheinen, $\alpha_i$ die Neigungswinkel der Ebenen von $\varphi_i$ gegen die Ebene f. Der Beleuchtungsvektor v dieses Vielecks in Bezug auf den Punkt p muss die Beschaffenheit haben, dass seine Projektion auf die Normale der Fläche f gleich dem Beleuchtungsraum des Vielecks, also $= \frac{\varphi_1}{2\pi} \cos \alpha_i + \ldots\ldots \frac{\varphi_n}{2\pi} \cos \alpha_n$ wird. Dies erreichte Prof. Dr. Mehmke nun dadurch, dass er senkrecht auf den Ebenen von $\varphi_i$ Vektoren $V_i$ von der Länge $\frac{\varphi_i}{2\pi}$ auf der dem Vieleck zugewandten Seite errichtete. Die Projektion derselben auf die Normale von f sind $= \frac{\varphi_i \cos \alpha_i}{2\pi}$. Nun ist die Projektion der geometrischen Summe mehrerer Vektoren auf irgend eine Grade gleich der Summe der Projektionen jener Vektoren auf dieselbe Grade. Mithin ist die geometrische Summe von den Vektoren $V_i$ der gesuchte Beleuchtungsvektor des leuchtenden Vielecks in Bezug auf den Punkt p, seine Projektion auf die Normale der Fläche f giebt den Beleuchtungsraum des Vielecks in Bezug auf die Lage der Ebene f. Die Grössen $\frac{\varphi_i}{2\pi}$ lassen sich, wie Prof. Dr. Mehmke zeigt, aus den Winkeln $\varphi_i$ leicht mittelst Zeichnung unter Zuhülfenahme einer Archimedischen Spirale finden. Der Beleuchtungsvektor einer beliebig begrenzten Fläche lässt sich in dieser Weise mit beliebiger Genauigkeit bestimmen, in dem man ihrem Rande ein Vieleck mit genügend kleinen Seiten einbeschreibt. Im Anschluss daran zeigt Prof. Dr. Mehmke, wie man diesen Beleuchtungsvektor aus dem Auf- und Grundriss eines Gebäudes für Beleuchtung durch seitliche Fenster konstruiert, wie man ferner bei Deckenlicht aus den Rissen die Beleuchtung einer beliebigen Stelle der Wand, die Linien gleicher Helligkeit und die relativ hellsten Punkte im Wagerechten und Senkrechten findet. Hat man an dem Punkte p eine Pultfläche f in beliebiger Neigung, so giebt die Projektion jenes Beleuchtungsvektors auf die Normale dieser Fläche f die Grösse an, welcher die durch die Fläche f von der leuchtenden Fläche F empfangene Beleuchtungsstärke proportional ist.

Nun ist diese Beleuchtungsstärke andererseits direkt proportional mit der Flächenhelligkeit der leuchtenden Fläche. Man war bis jetzt, wie es auch Prof. Dr. Mehmke thut, gezwungen, dieselbe

als konstant anzusehen, weil nähere Daten darüber fehlten. Herr Prof. L. Weber[1]) wies darauf hin, dass dieselbe für südlichen Himmel wohl den zwei- bis dreifachen Wert wie für nördlichen Himmel haben müsse. Hierfür liefert nun die vorliegende Arbeit die näheren Werte. Besteht die Fensterfläche aus mattgeschliffenem Glas, wie es bei Gemäldesälen häufig der Fall ist, so sind die relativen Intensitäten der Beleuchtung zu berücksichtigen, für diesen Fall ist Deckenlicht also allemal am günstigsten. Für Fensteröffnungen mit gewöhnlichem Glas sind die relativen Werte der Flächenhelligkeit des Himmels aus dem mittleren Isophotenkarten zu entnehmen. Sie geben an, um wieviel grösser der reduzierte Raumwinkel oder auch die Projektion des Beleuchtungsvektors sein muss, wenn für irgend eine Lage der Fenster dieselbe Beleuchtungsgüte erzielt werden soll wie für eine zweite Lage.

Ich hoffe, dass diese Arbeit dem Architekten ein willkommenes Material liefert, um die Beleuchtungsgüte von zu erbauenden Räumen im Voraus präcise beurteilen und so die Forderungen der Hygiene erfüllen zu können. Es war hier eine Lücke vorhanden, sowohl der reducierte Raumwinkel als auch der Beleuchtungsvektor genügen nicht allein, es muss auch auf die mittlere Verteilung der Helligkeit am Himmel Rücksicht genommen werden.

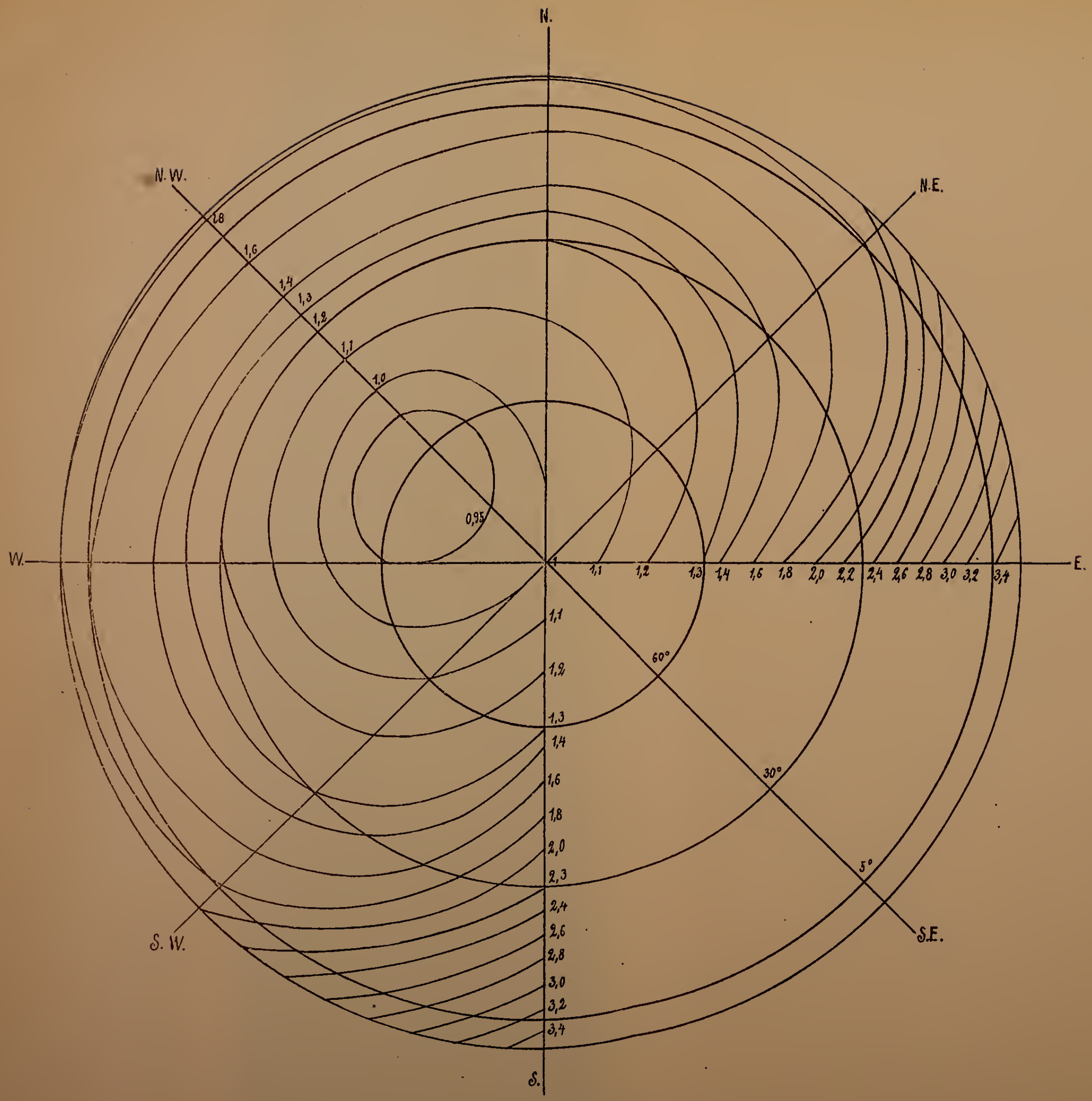
---

Nachdem ich diese Arbeit vollendet hatte, ist ein Werk von Wiener erschienen: Über die Helligkeit des Himmels und die Beleuchtung durch Sonne, Himmel und Rückstrahlung. In dem ersten Teil, welcher bis jetzt im Druck herausgegeben ist, wird die Zerstreuung der Sonnenstrahlen nach einmaligem Auftreffen auf Wassertropfen, Schneekrystalle und sehr kleine Staubteile berechnet. Am Anfange dieser theoretischen Untersuchungen ist eine Messung über die Verteilung der Helligkeit am blauen Himmel mitgeteilt, welche der Verfasser im Jahre 1884 am 13. September zu Karlsruhe bei einer mittleren Sonnenhöhe von 46° angestellt hat. Hierbei wurden 2 lange Röhren verwendet, die vorne eine verstellbare Blende trugen und deren Ocularöffnung durch transparentes Seidenpapier geschlossen war. Diese Röhren wurden auf die zu vergleichenden Stellen des Himmels gerichtet, durch Verstellung der Blenden wurden die beiden Seidenpapiere gleich hell gemacht. Die Hellig-

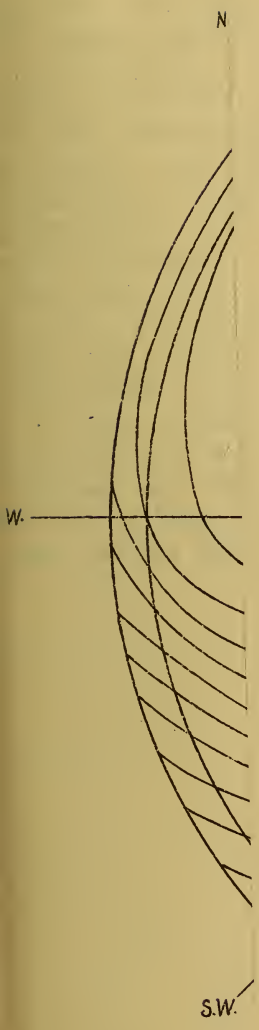
---

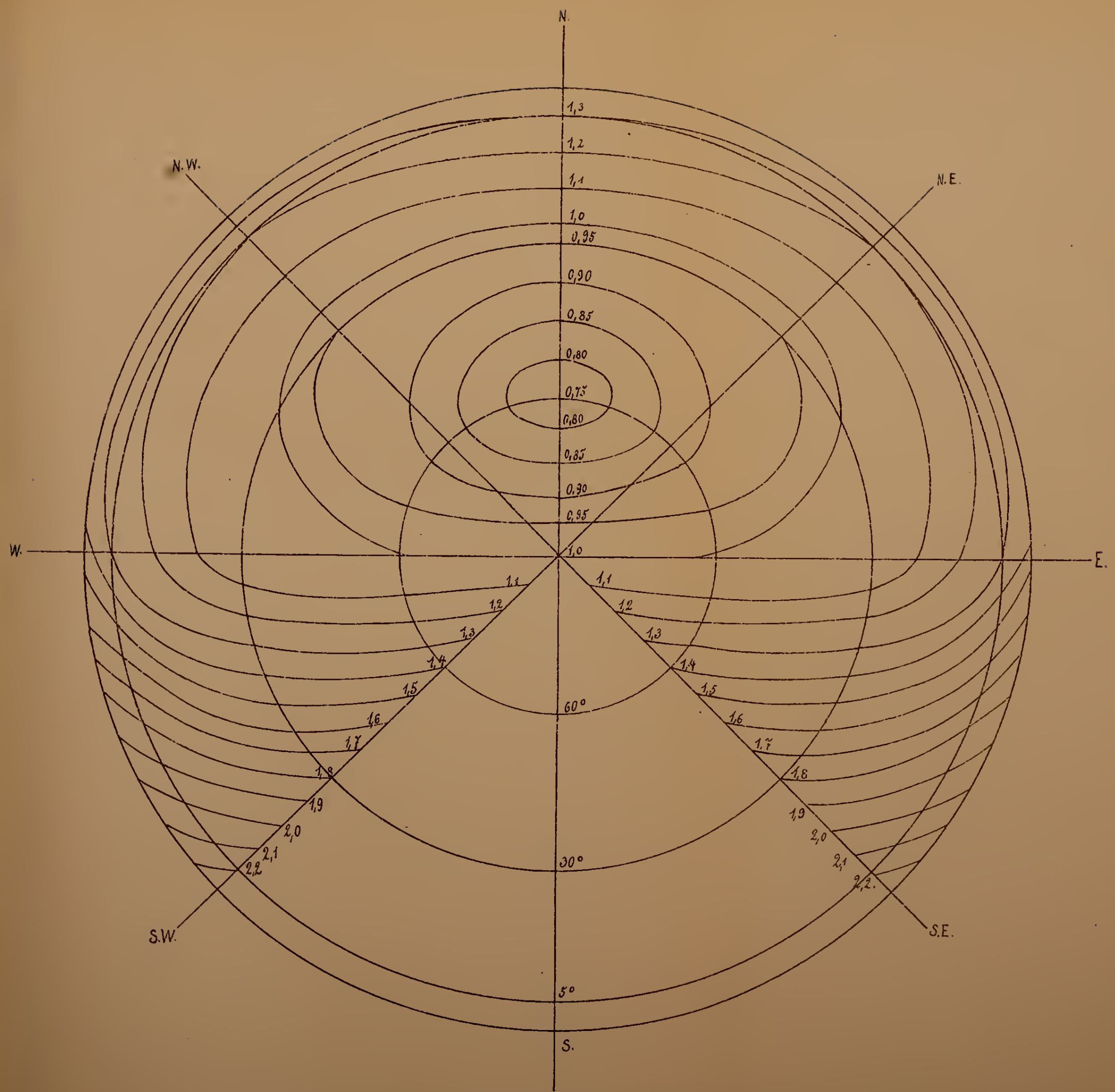
[1]) l. c. p. 67.

W.




Linien gleicher Helligkeit, im Jahresmittel für den Himmel von Kiel
um 9 h a geltend.


N
W.
S.W.




Linien gleicher Helligkeit, im Jahresmittel für den Himmel von Kiel um 12 h m geltend.

keiten der entsprechenden Stellen am Himmel verhalten sich dann umgekehrt wie die Öffnungen der Blenden. Das Resultat war kurz folgendes: Von dem Punkte des Horizontes, welcher der Sonne gegenüber liegt, nimmt die Helligkeit am Horizonte nach Süden hin zunächst langsamer, dann schneller zu. Unterhalb der Sonne ist die Helligkeit 4,7, wenn man dieselbe an der Stelle, welche der Sonne am nördlichen Horizonte gegenüber liegt, mit 1 bezeichnet. Auf dem Sonnenvertikal findet dann zunächst schwache Abnahme, bald jedoch starke Zunahme statt bis zu einem Maximum um die Sonne herum. Weiterhin nimmt die Helligkeit schnell ab, ist im Zenith 0,8 und erreicht 25° weiter ihr Minimum 0,1; darauf findet wieder ein langsames Ansteigen statt. Die von mir bei fast derselben Sonnenhöhe gemachten Messungen zeigen eine ähnliche Verteilung der Helligkeit, nur sind die Unterschiede in den Helligkeiten der einzelnen Punkte nicht so gross gefunden. Ob der Grund hierfür in der verschiedenen Genauigkeit der Methoden, ob er in dem verschiedenen Zustand der Atmosphäre zu suchen ist, lässt sich ohne weiteres nicht entscheiden; nur will ich noch bemerken, dass die Resultate der Messung, welche Herr Prof. Weber vor Jahren, wie oben angegeben ist, anstellte, in demselben Sinne von den Resultaten Wieners abweichen.

---