

Untersuchungen über Nebeltransparenz.

Von Dr. phil. Georg **Haecker**.

Die zahlreichen über die Absorption des Lichtes in der Atmosphäre bisher gemachten Untersuchungen sind in erster Linie darauf gerichtet gewesen, den Lichtverlust zu bestimmen, den die Strahlen von Sonne und Sternen beim Durchgang durch die reine, wolkenfreie Atmosphäre bis zur Erdoberfläche erleiden.

Einer Anregung des Herrn Prof. Dr. L. Weber folgend, habe ich nun versucht, die Größe der Transparenz nebliger Atmosphäre in horizontaler Richtung durch eine besondere Messungsmethode festzustellen und, anschließend hieran, auf Grund des aufgesuchten Zusammenhanges zwischen Transparenzkoeffizient und Sichtweite ebenfalls eine Größenbestimmung der letzteren zu geben.

Vorausgeschickt sei noch eine kurze Übersicht und Kritik einiger auf diesem Gebiete vorliegender und mir bekannter Arbeiten.

Als erste seien hier die Untersuchungen H. Schlagintweit's¹⁾ erwähnt, welche mit Hülfe des Diaphanometers von Saussure in den Jahren 1847—48 für bestimmte terrestrische Entfernungen in den Alpen in verschiedenen größeren Höhen über dem Meerespiegel angestellt wurden. Die von Schlagintweit erhaltenen Werte sind nun zwar als Index für die Transparenz der Atmosphäre zu betrachten; die Art aber, wie hieraus der eigentliche Transparenzkoeffizient zu berechnen sein würde, ist weder von Schlagintweit selbst, der eine derartige Berechnung gar nicht ausgeführt hat, noch von Beer oder Wild gegeben worden, obwohl sich in den Arbeiten der letzteren eine solche Überlegung findet. Bei den Transparenzmessungen mit dem Diaphanometer ist das beobachtete Verschwinden des zentralen Kreises nämlich nicht nur von dem Gesichtswinkel, sondern auch von dem Kontrast und der absoluten Beleuchtungsstärke abhängig. Es erschien daher die folgende Untersuchung der funktionellen Abhängigkeit dieser Größen erforderlich.

¹⁾ H. Schlagintweit. Bemerkungen über die Durchsichtigkeit der Atmosphäre und die Farbe des Himmels in größeren Höhen der Alpen. Pogg. Ann. B. 84, p. 298.

Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Kontrastgröße, Beleuchtungsstärke und Sehschärfe.

Abweichend von Snellen ist es für das Folgende bequemer, diejenige Sehschärfe als Einheit zu nehmen, bei welcher eine dunklere Kreisfläche von 1 mm Radius auf hellerem Grunde in 10 m Entfernung noch eben deutlich erkannt werden kann; hiernach ist also $S = \frac{e}{10}$, wo S die Sehschärfe, e die Distanz in Metern bedeutet, in der ein deutliches Wahrnehmen des kleinen Kreises noch gerade möglich ist.

Was den Kontrast zweier Flächen bei gleicher Beleuchtungsstärke betrifft, so verstehe ich unter demselben den Quotienten, dessen Zähler aus der Differenz der beiden Flächenhelligkeiten und dessen Nenner aus dem Wert der kleineren Flächenhelligkeit besteht. Besitzen also 2 Flächen die Flächenhelligkeiten H_1 und H_2 , wo $H_1 > H_2$ sei, so folgt die Kontrastgröße zu

$$K = \frac{H_1 - H_2}{H_2}$$

Die Sehschärfe ist nun abhängig:

1. von der scheinbaren Größe der kleinen Kreisfläche (Gesichtswinkel),
2. von dem mehr oder weniger tiefen Schwarz derselben, d. h. von dem Kontrast zwischen der Kreisfläche und dem Untergrunde,
3. von der Größe der absoluten Beleuchtungsstärke.

Bezeichnet man, wie schon vorher geschehen, die Sehschärfe mit S , die Kontrastgröße mit K , ferner mit B die Beleuchtungsstärke, so ist

$$S = f(K, B),$$

wo f eine von dem Auge des Beobachters abhängige, individuelle Funktion ist. Im folgenden soll der Verlauf dieser Funktion bei variablem Kontrast und bei variabler Beleuchtungsstärke näher untersucht werden.

Ich bestimmte mit Hilfe des von Herrn Prof. Dr. L. Weber konstruierten Photometers die relativen Albedos von matten Zeichenpapieren (weiß bis tief dunkelgrau); indem ich diejenige des hellsten = 1 setzte, erhielt ich die Werte:

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
1.000	0.573	0.353	0.210	0.097.

Aus den Papieren A_2 bis A_5 wurden darauf kleine Kreise von 1 mm Radius geschnitten und je drei von gleicher Albedo auf etwa

1 qdcm große Stücke des hellsten Papierses geklebt derart, daß sie die Eckpunkte eines kleinen rechtwinkligen Dreiecks mit ungleichen Katheten bildeten.

Die Kontraste der Kreise zu dem Untergrunde ergeben sich dann zu:

K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}
0.74	1.84	3.76	9.36

Mit diesen Scheiben wurde dann der folgende Versuch angestellt: In einem Zimmer, dessen Decke und Wände geschwärzt waren und dessen Fenster lichtdicht verschlossen wurde, befestigte ich vertikal an einem Stativ die Scheibe mit dem kleinsten Kontrast und ließ das Licht einer kleinen, konstant brennenden Petroleumlampe, die sich mit der Scheibe in gleicher Höhe befand, fast senkrecht auf das Papier fallen. Nachdem dann noch die Lichtquelle durch einen schwarzen Schirm derart abgeblendet war, daß ihre Strahlen zwar ungehindert auf den Schirm aber nicht direkt in das Auge des Beobachters fallen konnten, damit derselbe durch das direkte Licht nicht geblendet wird, und nachdem das Auge sich der Dunkelheit angepaßt hatte, entfernte ich mich in senkrechter Richtung von der Scheibe, ohne letztere zu beachten, bis ich mich sicher außerhalb der Grenze der Sehschärfe befand, was sich durch einige orientierende Vorversuche leicht feststellen ließ. Dann ging ich schrittweise langsam heran, wobei ich die Augen schloß oder (wie es bei einigen Versuchsreihen geschah) im Zimmer umherschweifen ließ, darauf stillstehend den Blick auf die Scheibe richtete und diese 3—5 Sekunden lang fixierte. Waren die Kreisflächen noch nicht sichtbar, so ging ich wieder einen Schritt heran und so fort. Diejenige Entfernung, in der zuerst die Lage der drei kleinen dunklen Kreise erkannt werden konnte, wurde gemessen und gibt, nach obiger Definition durch 10 dividiert, die Größe der Sehschärfe für diesen bestimmten Kontrast und die dabei angewandte Beleuchtungsstärke. Darauf wird an die Stelle der ersten Scheibe die zweite gebracht, dieselbe Bestimmung gemacht usw. Auf diese Weise erhält man den Zusammenhang zwischen Kontrast und Sehschärfe. Außerdem kann man auch zur Kenntnis des Einflusses, den die Größe der Beleuchtungsstärke auf dieses Abhängigkeitsverhältnis ausübt, gelangen. Hierzu ist es nur nötig, die Entfernung E der Lampe von den Papierscheiben, nachdem eine Beobachtungsreihe für alle Kontraste gemacht worden, in gemessener Weise zu variieren, wodurch sich die Beleuchtungsstärke in bekannter

Weise ändert, und wiederum das Auftreten der dunklen Kreisflächen zu beobachten.

In den folgenden Tabellen sind die Resultate derartiger Beobachtungen (bei denen auch die Beleuchtungsstärke gemessen wurde) niedergelegt:

Tabelle I.

<i>E</i> (Met.)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
<i>B</i> (Meterk.)	7.60	1.90	0.84	0.48	0.30
Kontrast	Sichtweiten				
0.74	0.375	0.260	0.220	0.180	0.160
1.84	0.450	0.345	0.270	0.230	0.200
3.76	0.515	0.390	0.290	0.255	0.210
9.36	0.570	0.445	0.320	0.290	0.275

Um die Messungen tunlichst auf ein normales Auge zu beziehen, hatte einer meiner Kommilitonen, der ebenso wie ich normale Akkomodation besaß, die Freundlichkeit, nach meiner Anweisung mit mir zusammen eine entsprechende parallele Beobachtungsreihe anzustellen. Die Verhältnisse waren im wesentlichen dieselben.

Tabelle II.

<i>E</i> (Met.)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
<i>B</i> (Meterk.)	7.36	1.84	0.82	0.46	0.29
Kontrast	Sichtweiten des ersten Beob.				
0.74	0.335	0.270	0.210	0.170	0.140
1.84	0.410	0.330	0.290	0.240	0.210
3.76	0.500	0.375	0.320	0.280	0.235
9.36	0.540	0.420	0.370	0.290	0.245
Kontrast	Sichtweiten des zweiten Beob.				
0.74	0.330	0.255	0.190	0.165	0.140
1.84	0.390	0.300	0.240	0.190	0.170
3.76	0.455	0.350	0.260	0.235	0.200
9.36	0.500	0.385	0.320	0.270	0.235

Einige Tage später wiederholte ich denselben Versuch mit etwas größerer Beleuchtungsstärke und erhielt folgende Werte:

Tabelle III.

<i>E</i> (Met.)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
<i>B</i> (Meterk.)	8.64	2.16	0.96	0.54	0.35
Kontrast	Sichtweiten				
0.74	0.355	0.255	0.195	0.160	0.140
1.84	0.410	0.285	0.245	0.210	0.185
3.76	0.460	0.325	0.290	0.235	0.200
9.36	0.535	0.400	0.325	0.260	0.255

Zwischen das große Intervall A_1 und A_2 wurde noch ein Papier von der Albedo 0.8036 eingeschaltet, woraus sich der Kontrast zu 0.244 ergibt. Es wurde daher noch einmal die Beobachtung der Sehschärfe im Dunkelzimmer angestellt, welche zu folgenden Resultaten führte:

Tabelle IV.

<i>E</i> (Met.)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
<i>B</i> (Meterk.)	12.92	3.23	1.44	0.81	0.52
Kontrast	Sichtweiten				
0.24	0.225	0.150	0.125	0.090	0.075
0.76	0.375	0.265	0.220	0.195	0.185
1.84	0.465	0.340	0.270	0.230	0.210
3.76	0.510	0.400	0.330	0.280	0.250
9.36	0.550	0.430	0.360	0.300	0.265

Entsprechende Versuche, deren Resultate gleichzeitig als Kontrolle der früheren Ergebnisse betrachtet werden können, stellte ich mit etwas anderem Material an. An Stelle des matten Zeichenpapieres verwandte ich Bromsilberpapier, das durch gleichmäßig abgestufte Belichtungszeit verschiedene Schwärzungen (fast weiß bis tiefdunkelgrau) erlangt hatte. Die erhaltenen Werte führten zu der folgenden Tabelle:

Tabelle V.

<i>E</i> (Met.)	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
<i>B</i> (Meterk.)	20.36	5.09	2.26	1.27	0.81
Kontrast	Sichtweiten				
0.48	0.305	0.240	0.205	0.160	0.125
1.12	0.410	0.320	0.265	0.230	0.205
1.87	0.455	0.365	0.300	0.270	0.220
3.73	0.500	0.395	0.330	0.295	0.250
9.95	0.580	0.430	0.355	0.330	0.305

Die in den angeführten Tabellen auftretenden Ungenauigkeiten sind hauptsächlich auf den physiologischen Einfluß des Auges zurückzuführen, denn bei einigen Beobachtungsreihen war das letztere bereits etwas ermüdet.

Resultate.

Aus den Beobachtungszahlen lassen sich nun mehrere wichtige Resultate durch graphische Darstellung gewinnen, indem man als Ordinaten die Sehschärfen, als Abszissen die Beleuchtungsstärken resp. die Kontrastgrößen aufträgt.

In dieser Weise stellen die Figuren 1—3 die Ergebnisse der Tabellen II, IV und V dar. In der Fig. 1 sind, um eine Überfüllung zu vermeiden, nur einige Versuchsreihen ausgewählt; außerdem beziehen sich die gestrichelten Kurven auf den zweiten, die ausgezogenen auf den ersten Beobachter. — Mit großer Deutlichkeit gehen nun durch nähere Betrachtung der beiden Arten von Kurvenscharen die folgenden Resultate hervor:

a. Beleuchtungsstärke konstant. (Fig. 1—3, rechts.)

1. Bei kleinen Kontrasten wachsen die Sehschärfen mit zunehmendem Kontrast schnell an.

2. Bei fernem Wachsen des Kontrastes wächst zwar auch die Sehschärfe, aber bedeutend langsamer als vorher und bedeutend langsamer als der Kontrast.

3. Wird die Kontrastgröße noch weiter gesteigert, so nähert sich die Sehschärfe asymptotisch einer bestimmten Grenze, über die hinaus ein Wachsen des Kontrastes keinen Einfluß mehr auf die Sehschärfe hat (letztere sich also nicht weiter vergrößert).

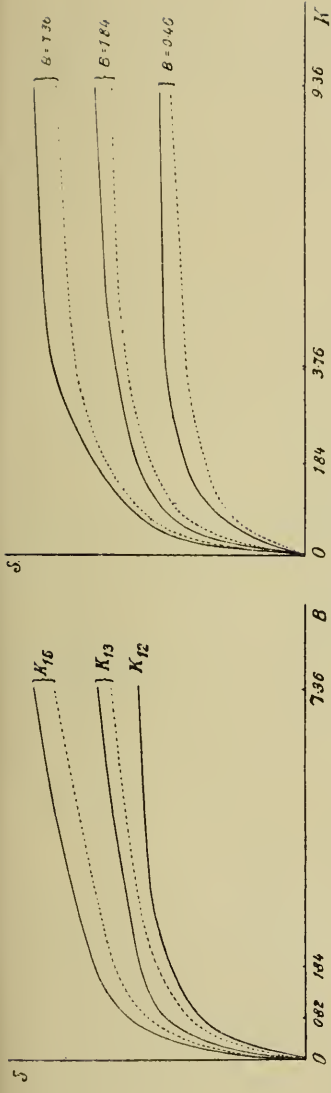


Fig. 1. (Tab. II.)

Beobachter I. ———
 Beobachter II. - - - - -
 $B = 1 = 10 \text{ mm}$
 $K = 1 = 10 \text{ mm}$
 $S = 1 = 100 \text{ mm}$

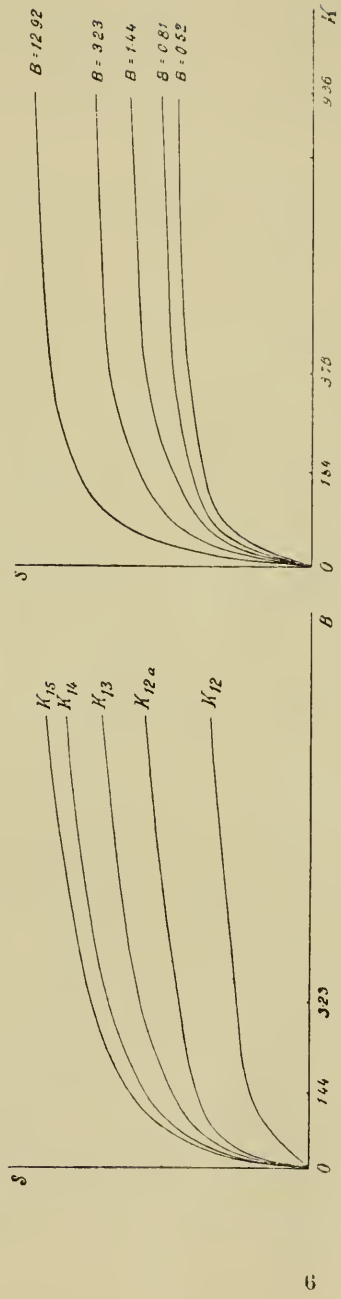


Fig. 2. (Tab. IV.)

$B = 1 = 10 \text{ mm}$
 $K = 1 = 10 \text{ mm}$
 $S = 1 = 100 \text{ mm}$

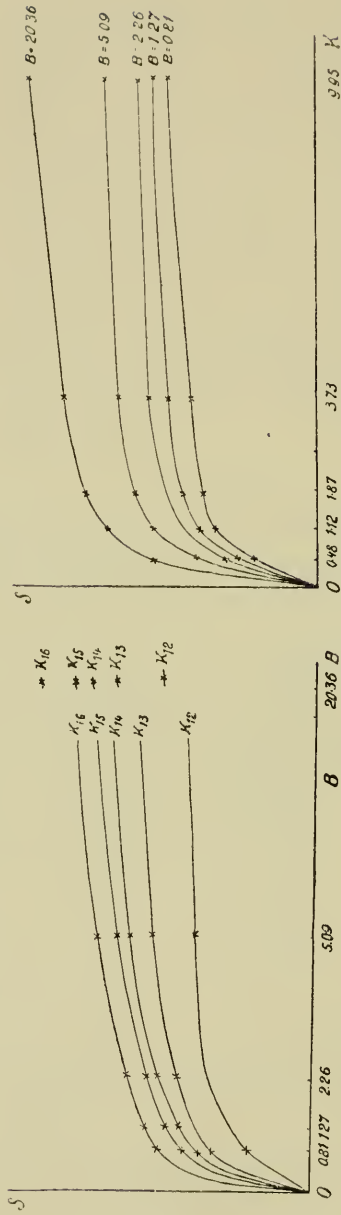


Fig. 3. (Tab. V.)

$B = 1 = 10 \text{ mm}$
 $K = 1 = 10 \text{ mm}$
 $S = 1 = 100 \text{ mm}$

b. Kontrastgröße konstant. (Fig. 1—3 links.)

Einen beinahe genau analogen Einfluß zeigt die Beleuchtungsstärke bei konstantem Kontrast.

1. Bei kleinen Beleuchtungsstärken wachsen die Sehschärfen mit zunehmender Beleuchtungsstärke schnell an.
2. Bei fernerm Wachsen der Beleuchtungsstärke wächst auch noch die Sehschärfe, aber bedeutend langsamer als vorher und auch langsamer als die Beleuchtungsstärke.
3. Wird die Beleuchtungsstärke noch weiter gesteigert, so nähert sich die Sehschärfe auch einer bestimmten Grenze, welche durch keine Vergrößerung der Beleuchtungsstärke erweitert werden kann.

Wendet man nun diese so gewonnenen Resultate zur Kritik der oben erwähnten Messungsmethode an, die Schlagintweit zur Bestimmung der Lufttransparenz gebrauchte, so kann folgendes darüber gesagt werden: An sich basiert zwar die in Rede stehende Art, die Transparenz der Luft zu messen, insofern auf einem richtigen Gedanken, als mit zunehmender Trübung der Luft die Entfernung, in welcher der größere Kreis verschwindet, immer kleiner wird. Aus der Messung der letzteren hätte also auf die Transparenz der Luft geschlossen werden können, jedoch nur dann, wenn folgende von Schlagintweit nicht angestellte Überlegung hinzugekommen wäre: Aus dem Verschwinden der beiden Scheiben in verschiedenen Entfernungen hätte zunächst auf Grund ähnlicher Versuche, wie ich sie oben dargelegt, die Kontrastgröße ermittelt werden müssen. Erst wenn man diese kennt, oder, was dasselbe ist, wenn man die relativen Werte derjenigen scheinbaren Helligkeiten kennt, in denen das Schwarz und Weiß beider Scheiben dem Auge erscheint, läßt sich ein Maß für den Transparenzoeffizienten gewinnen.

Mit sehr vollkommenen instrumentellen Hilfsmitteln dagegen hat H. Wild¹⁾ in den Jahren 1866—68 die Transparenz der Luft in horizontaler Richtung, teilweise sogar unter Beseitigung des störenden Seitenlichtes, zu bestimmen gesucht. Die eigentlich photometrischen Größen sind hierbei mit besonderer Sorgfalt und Genauigkeit gemessen worden. Die Zulässigkeit der Wild'schen Messungsmethode und ihre Anwendbarkeit auf regelmäßige Transparenzbestimmungen ist jedoch an 2 Voraussetzungen geknüpft. Erstens muß zur Messung der sehr geringen Helligkeitsdifferenzen

¹⁾ H. Wild. Über die Lichtabsorption der Luft. Pogg. Ann. Bd. 134, p. 568—82 und Bd. 135 p. 99—114.

welche bei Luftschichten von nur wenig Metern Länge, wie Wild sie verwandte, indem er die Luft in Röhren einschloß, durch Absorption auftreten, ein ungewöhnlich empfindliches Photometer benutzt werden. Das Wild'sche, auf dem Verschwinden der Savart'schen Interferenzstreifen beruhende Instrument leistet dies zwar prinzipiell; die Justierung dieses Apparates hat sich indessen als so überaus schwierig herausgestellt, daß in der Photometrie im allgemeinen von dieser Messungsmethode Abstand genommen werden mußte. Zweitens wird es stets schwierig und unsicher bleiben, die zu untersuchende Luft völlig unverändert in die Röhren einzuschließen.

In theoretischer Beziehung ist ferner eine Arbeit von Trabert¹⁾ von Bedeutung, in welcher der Verfasser für die Größe der Absorption, welche ein Lichtstrahlenbündel beim Durchgange durch ein Medium erleidet, das feste oder flüssige, das Licht schwächende, kugelförmige Partikelchen von gewisser Dichte enthält, eine Formel aufzustellen sucht. Der Verfasser findet die Beziehung:

$$J = J_0 \left(1 - \frac{3 \alpha \mu}{4 \delta r} \right)^x$$

Hierin bedeuten: J die Intensität des durchgehenden, J_0 die Intensität des auffallenden Lichtes, $\alpha = 1 - \beta$ (wo β denjenigen Bruchteil bezeichnet, der von einem Massenteilchen hindurchgelassen wird), μ = Masse der Teilchen im Kubikzentimeter, δ = spez. Gew. der Teilchen, r = Radius eines Massenteilchens, x = Dicke der durchsetzten Schicht in cm. Bei dieser Formel ist aber dasjenige Licht vernachlässigt, welches beim Auftreffen auf feste oder flüssige Massenteilchen reflektiert, und, von zurückliegenden abermals reflektiert, das gesamte durchgehende Licht vermehrt. Inwieweit diese Vernachlässigung erlaubt ist, würde erst nach den besonderen Verhältnissen der anzustellenden Versuche beurteilt werden können.

Die weiteren Überlegungen Traberts laufen auf eine Berechnung der Sichtweite hinaus. Obwohl er durch die Formel, welche er für letztere Größe aufstellt, eine gute Annäherung an die Wirklichkeit erreicht haben mag, sind jedoch zwei Einwände gegen seine Ausführungen zu machen. Erstens ist es für die Bestimmung der Sichtweite von fundamentaler Wichtigkeit, ob außer dem Lichte, welches die hinter der Wolke liegende Lichtquelle aussendet, andere

¹⁾ Dr. Trabert. Die Extinktion des Lichtes in einem trüben Medium (Sehweite in Wolken). Meteor. Zeitschr. XVIII. 1901.

Lichtquellen überhaupt nicht angenommen werden, oder ob daneben ein allgemeines diffuses Licht der Atmosphäre berücksichtigt werden soll. Mit anderen Worten, ob man die Transparenz bei Nacht oder bei Tage messen will. Trabert macht diesen Unterschied nicht. Daher ist die von ihm aufgestellte Beziehung nur für Nachtbeobachtungen, bei denen etwa ein künstliches Licht hinter dem Nebel gedacht ist, annähernd gültig. — Zweitens findet sich in der Formel Traberts die Größe J_1 , welche diejenige Intensität bedeutet, bei welcher der beobachtete Gegenstand nicht mehr deutlich wahrgenommen werden kann, d. h. dem Auge verschwindet. Die Einführung einer solchen, dem Auge verschwindenden Lichtintensität bereitet weitere Schwierigkeit, was der Verfasser auch selbst erwähnt hat. Alle wirklichen Messungen und Beobachtungen müssen vielmehr tunlichst auf Lichtkontraste und das Verschwinden solcher begründet werden, denn hierfür allein lassen sich Grenzwerte angeben, die wenigstens für das normale Auge schärfer bestimmbar sind.

Im folgenden habe ich nun versucht, eine neue Methode zur Messung des Transparenzkoeffizienten der mit Nebel erfüllten Atmosphäre anzuwenden. Im Anschluß daran soll die Beziehung zwischen diesem Transparenzkoeffizienten und der für ein normales Auge bei nebligem Wetter am Tage geltenden Sichtweite hergeleitet und schließlich die Sichtweite künstlicher Lichtquellen (Leuchtfeuer, Schiffspositionslaternen usw.) von bekannter Intensität mittelst des Transparenzkoeffizienten berechnet werden.

Diese neue Methode beruht auf der exakten photometrischen Ausmessung der scheinbaren Helligkeit von schwarzen und weißen, unter größerem Gesichtswinkel erscheinenden Flächen in verschiedener Distanz. Eine volle Berücksichtigung des diffus reflektierten Lichtes der zwischenliegenden Luft und der eventuell verschiedenen Beleuchtungsstärken der Flächen in verschiedener Entfernung findet dabei auch statt.

Entwicklung der Messungsmethode zur Bestimmung des Transparenzkoeffizienten.

Zunächst seien einige photometrische Beziehungen festgelegt: Wird ein senkrecht auf der Erdoberfläche stehendes Flächenelement vom Himmel beleuchtet, so ist bei gleichmäßig hellem Himmel von der Flächenhelligkeit H die Flächenhelligkeit des Elementes:

$$h = \frac{H}{2} \cdot \mu$$

$$\text{oder } h = \frac{B}{\pi} \cdot \mu,$$

wo μ die Albedo von df und B die Beleuchtungsstärke durch das halbe Himmelsgewölbe ist. Bei ungleichmäßig hellem Himmel wird man für die Helligkeit h nur die zweite Formel anwenden können, falls nicht die Verteilung der Himmelshelligkeit H besonders ermittelt und zur Berechnung von B benutzt wird.

Ist die Erdoberfläche mit sehr dickem oder hohem Nebel gleichmäßig bedeckt, so ist die Flächenhelligkeit H des Himmels gleichmäßig (im Horizont ebenso wie im Zenit). Ferner ist dann die Flächenhelligkeit eines senkrechten weißen Schirmes von der Albedo 1 gleich $\frac{H}{2}$, diejenige eines absolut schwarzen Schirmes gleich 0. Stellt man beide vertikalen Schirme nebeneinander und entfernt sich so weit, daß dieselben im Nebel verschwinden, so sind die scheinbaren Helligkeiten V_w und V_s einander gleich und gleich H . In dem einen Fall (schwarz) rührt V_s lediglich von dem reflektierten Licht R her. In dem anderen Fall (weiß) addiert sich zu R das Licht des weißen Schirms, welches aber durch den Nebel wieder bis auf einen unmerklich kleinen Betrag ausgelöscht ist.

Wie vorher erwähnt worden, ist die Helligkeit eines zur Erdoberfläche senkrechten Flächenelementes entweder mit Hilfe der Flächenhelligkeit H des Himmels oder mit Hilfe der vom Himmelsgewölbe herrührenden Beleuchtungsstärke B des Flächenelementes ausdrückbar. In den folgenden Entwicklungen läßt nun ein Umstand die Beibehaltung von B zweckmäßiger erscheinen. Wenn nämlich, wie das bei meinen noch näher zu beschreibenden Messungen fast stets der Fall war, eine ungleichmäßige Verteilung der Helligkeit am Himmel wahrgenommen wurde (der Horizont war dunkler als der Zenit), so kam nur die Beziehung zwischen h und B in Betracht. Diese Beleuchtungsstärke B konnte für ein bestimmtes kurzes Zeitintervall (während der Dauer einer Messung) als eine konstante Größe angenommen werden, was bei trübem, nebligem Wetter meistens erlaubt sein dürfte.

Auf Grund dieser Überlegungen kann dann folgende Methode, welche in der photometrischen Auswertung der scheinbaren Helligkeit H_1 und H_2 zweier Schirme in der Distanz von n Metern sowie ihrer Flächenhelligkeiten H_3 und H_4 oder, was dasselbe ist, ihrer

scheinbaren Helligkeiten in der Entfernung Null besteht, zur Bestimmung des Transparenzkoeffizienten trüber resp. nebliger Atmosphäre angewandt werden: Bekanntlich versteht man unter dem Transparenzkoeffizienten eines trüben Mediums den Quotienten aus der nach Durchsetzen der Schichteinheit heraustretenden zu der in die Schichteinheit eintretenden Lichtmenge. Um dies Verhältnis zu ermitteln, kann in folgender Weise verfahren werden: Ein weißer und ein schwarzer Schirm stehen unter gleichen Beleuchtungsverhältnissen senkrecht auf der Erdoberfläche nebeneinander. Vor ihnen lagert Nebel als ein das Licht trübendes Medium. Die Albedo des weißen Schirmes sei μ , die des schwarzen μ' ; ferner sei B die Beleuchtungsstärke durch das halbe Himmelsgewölbe und τ der Transparenzkoeffizient des Nebels. In der senkrechten Entfernung von n Metern vor den Schirmen sind dann die beobachteten scheinbaren Helligkeiten H_1 (weißer Schirm) und H_2 (schwarzer Schirm) nach den obigen Entwicklungen erstens proportional mit B und μ resp. μ' , zweitens proportional mit τ^n und drittens reflektieren die in der Atmosphäre zwischen Schirm und Beobachter schwebenden Nebeltröpfchen einen Teil des seitlich einfallenden diffusen Lichtes nach dem letzteren hin. Vermehrt der Betrag dieser Lichtmenge die scheinbare Helligkeit um R , so ergibt sich:

$$H_1 = \frac{1}{\pi} \cdot B \cdot \mu \cdot \tau^n + R$$

$$\text{und } H_2 = \frac{1}{\pi} \cdot B \cdot \mu' \cdot \tau^n + R.$$

In der Entfernung Null, d. h. unmittelbar vor den Schirmen verschwindet diese Reflexion. Die Flächenhelligkeiten ergeben sich daher hier für den weißen Schirm zu:

$$H_3 = \frac{1}{\pi} \cdot B \cdot \mu$$

und für den schwarzen Schirm zu:

$$H_4 = \frac{1}{\pi} \cdot B \cdot \mu'.$$

Aus diesen vier Gleichungen läßt sich nun, wie ersichtlich, der Transparenzkoeffizient in einfacher Weise berechnen. Man findet:

$$\log \tau = \frac{1}{n} \log \frac{H_1 - H_2}{H_3 - H_4}.$$

Für die Berechnung von τ ist es daher nur nötig, die vier Helligkeiten $H_1 \cdot \cdot H_4$ in demselben relativen Maße auszuwerten. Aus dem Verschwinden von B ergibt sich, daß die Methode unabhängig von der Beleuchtungsstärke ist.

Beschreibung und Anwendung der Apparate.

Die Lichtmessung erfolgt mittelst eines Polarisationsphotometers. Es wird das Licht in der Weise, wie es Herr Prof. Dr. L. Weber angegeben, mit Hilfe zweier Nikolscher Prismen polarisiert und in meßbarer Weise abgeschwächt. Als Vergleichslicht dient die durch Rauchgläser gleichfalls abgeschwächte Zenithelligkeit. Die zur Bestimmung des Transparenzkoeffizienten erforderlichen vier Messungen werden derart ausgeführt, daß man zuerst aus der Entfernung n (in Metern) nacheinander den weißen und den schwarzen Schirm in das Gesichtsfeld des Photometers bringt, durch Drehen des einen Nikols Helligkeitsgleichheit zwischen der beobachteten Fläche einerseits und dem konstanten Vergleichslicht andererseits herstellt und somit H_1 und H_2 bestimmt, darauf dicht an die Schirme herangeht, wiederum bei beiden auf Helligkeitsgleichheit einstellt und dadurch H_3 und H_4 findet. Die Schirmflächen, welche die Größe von einigen Quadratmetern besitzen, stehen vertikal und unter möglichst gleichen Beleuchtungsverhältnissen dem Meßapparat so gegenüber, daß derselbe sowohl auf die eine als auch auf die andere zu richten ist, daß außerdem die Entfernung n groß genug gewählt werden kann, um eine meßbare Extinktion des Lichtes durch die trübende Atmosphäre eintreten zu lassen, andererseits klein genug, um das Gesichtsfeld des Apparates vollständig durch jeden der Schirme für sich ausfüllen zu lassen.

Bei Einstellung auf Helligkeitsgleichheit ist dann die anvisierte Helligkeit $H = \frac{C \cdot Z}{\cos^2 \omega}$, wo C eine Konstante, Z die Zenithelligkeit und ω den Winkel bedeuten, den die beiden Polarisations Ebenen der Nikolschen Prismen miteinander bilden. Führt man für ω das Komplement φ ein, weil dieses am Instrument bequemer abzulesen ist, so wird $H = \frac{C \cdot Z}{\sin^2 \varphi}$. Für die Messung von H_4 wurde noch eine besondere Überlegung erforderlich. Wenn nämlich die zur Messung von $H_1 \dots H_3$ nötige Vergleichshelligkeit durch Vorschalten von Rauchgläsern derart zweckmäßig gewählt war, daß die Ablesung am zweiten Nikol weder zu nah an 0° noch an 90° stattfand, so konnte H_4 nicht mehr beobachtet werden, da die Mitte des Gesichtsfeldes auch noch bei 90° zu dunkel blieb. Deshalb wurde für diese Messung noch ein weiteres Rauchglas eingesetzt und das Schwächungsverhältnis κ durch einen einfachen Vorversuch zu 0.27272 bestimmt. Man erhält daher für τ die Beziehung:

$$\log \tau = \frac{1}{n} \log \frac{\frac{1}{\sin^2 \varphi_1} - \frac{1}{\sin^2 \varphi_2}}{\frac{1}{\sin^2 \varphi_3} - \frac{1}{\sin^2 \varphi_4}}$$

Bestimmung der Sichtweite.

Unter der „Sichtweite“ sei diejenige Entfernung verstanden, in welcher ein Helligkeitsunterschied zwischen einer genügend großen, vertikalen, absolut schwarzen und absolut weißen Fläche für das beobachtende Auge eben verschwindet oder (in schärferer Definition) 1% beträgt, was der normalen Empfindlichkeit des menschlichen Auges bei mittleren Helligkeiten entspricht. Die scheinbare Helligkeit der schwarzen Fläche sei H_s , die der weißen gleich H_w ; die entsprechenden Albedos mögen die Werte μ' und μ haben; s sei die Sichtweite in Metern, B die Beleuchtungsstärke für vertikale Flächen; R möge ferner die Vermehrung der Helligkeit sein, welche durch Reflexion des zwischen Beobachtungsort und aufgestellten Flächen seitlich einfallenden Lichtes nach dem Beobachtungsort hin bewirkt wird. Dann ist:

$$H_w = \frac{1}{\pi} B \mu v^s + R$$

$$H_s = \frac{1}{\pi} B \mu' v^s + R$$

$$\frac{H_w}{H_s} = \frac{\frac{1}{\pi} B \mu v^s + R}{\frac{1}{\pi} B \mu' v^s + R}$$

Einen Unterschied zwischen H_w und H_s zu konstatieren wird nun nicht mehr möglich, wenn der Quotient $\frac{H_w}{H_s}$ gleich $\frac{101}{100} = a$ wird. Also:

$$a = \frac{\frac{1}{\pi} B \mu v^s + R}{\frac{1}{\pi} B \mu' v^s + R}$$

Da die vorher beschriebene Messungsmethode bei trübem, bedecktem Himmel und bei mehr oder weniger nebliger Luft anzustellen ist, so ist auf horizontalen Flächen (Wiesen, Wasseroberflächen, usw.) die Beleuchtungsstärke für vertikal aufgestellte Schirme oder Scheiben in den verschiedenen Entfernungen zu einer

bestimmten Zeit meistens dieselbe (da es sich immerhin nur um kleine terrestrische Entfernungen, höchstens einige km handelt). Aus diesem Grunde kennt man bereits aus den Messungen zur Bestimmung des Transparenzkoeffizienten die Helligkeiten $H_3 = \frac{B \mu}{\pi} = \frac{C \cdot Z}{\sin^2 \varphi_3}$ und $H_4 = \frac{B \mu'}{\pi} = \frac{C' \cdot Z}{\sin^2 \varphi_4}$. Da ferner an der Grenze der Sichtweite sowohl die schwarze als auch die weiße Fläche mit der die Sichtweite begrenzenden trüben Schicht (Nebel) zu verschwimmen scheinen und sich daher nicht mehr durch verschiedene scheinbare Helligkeiten von einander abheben, so findet man R , indem man das Photometer (d. h. den Haupttubus desselben) auf den Horizont richtet und wie gewöhnlich einstellt. Der gefundene Winkel sei φ_h , also $R = \frac{C \cdot Z}{\sin^2 \varphi_h}$. Dann wird $s = \frac{\log Q}{\log \tau}$, wenn Q den Ausdruck $\frac{(a-1)R}{H_3 - aH_4}$ bedeutet, und in welchem die Werte H_3, H_4, R in relativem Maße bekannt sind.

Etwas einfacher gestaltet sich die Berechnung von s , wenn eine ideal schwarze Fläche angenommen wird. Für diesen Fall ist:

$$a = \frac{1}{R} \left(\frac{1}{\pi} B \mu \tau^s + R \right),$$

weil dann das scheinbar von der schwarzen Fläche herstammende Licht lediglich auf Rechnung der in den Zwischenschichten stattfindenden Reflexion (des seitlich einfallenden Lichtes nach dem Beobachtungsorte hin) zu setzen ist. Die photometrischen Werte ergeben sich natürlich ebenso wie vorher und es wird: $s = \frac{\log P}{\log \tau}$, wo $P = \frac{(a-1)R}{H_3}$. Setzt man die Werte der Helligkeiten ein, so wird jetzt:

$$s = \frac{1}{\log \tau} \cdot \log \frac{(a-1) \sin^2 \varphi_3}{\sin^2 \varphi_h}$$

Bei gleichmäßig hellem Himmel würde, falls die Albedo des weißen Schirmes gleich 1 wäre, H_h (Horizonthelligkeit) = $2H_3$ d. h. $\frac{\sin^2 \varphi_3}{\sin^2 \varphi_h} = 2$ werden, wodurch sich die Formel für s vereinfacht. Wie leicht ersichtlich, erhält man dann die Beziehung:

$$s = \frac{\log 0.02}{\log \tau}$$

Diese besonders wichtige Beziehung zwischen Sichtweite und

Transparenzkoeffizient, welche sich wahrscheinlich noch nicht in der bisher über diesen Gegenstand existierenden Literatur findet, gestattet unter der oben gemachten Voraussetzung die Berechnung der Sichtweite resp. des Transparenzkoeffizienten auf sehr bequeme Weise. Meistens ist jedoch, wie auch später direkt aus den Zahlen entnommen werden kann, die Zenithelligkeit bedeutend größer als die Horionthelligkeit, wodurch nun H_h derart herabgedrückt wird, daß es oft nahezu gleich H_3 wird.

Die nach den beiden Formeln $s = \frac{\log Q}{\log \tau}$ und $s = \frac{\log P}{\log \tau}$ berechneten Sichtweiten werden im allgemeinen etwas größer ausfallen als die durch das Verschwinden entfernter Gegenstände wirklich beobachteten, da in der Natur nur in den seltensten Fällen der Kontrast schwarzer und weißer Flächen zur Bestimmung der Sichtweite in Frage kommt; man ist vielmehr gezwungen, dieselbe aus dem Helligkeitsunterschiede von kontrastärmeren, gefärbten Flächen resp. Gegenständen zu bestimmen.

Ausführung der Messungen.

Nach der entwickelten Methode wurden dann Messungen bei mehr oder weniger nebligem resp. trübem, diesigen Wetter veranstaltet. Auf einer in der Nähe des erdmagnetischen Observatoriums zu Kiel belegenen Koppel befand sich ein mehrere Meter hohes, turmartiges Gerüst, an welchem ich einen neun Quadratmeter großen Schirm (vertikal) befestigte. Dieser, welcher auf der einen Seite aus glanzlosem schwarzen, auf der anderen Seite aus glanzlosem weißen Zeuge bestand, wurde derartig aufgehängt, daß er möglichst rasch zu wenden war. Von dem Gerüst ausgehend, hatte ich die Entfernungen von 20, 30, 40, 55 m markiert, um bei den Beobachtungen selbst nicht durch solche Nebenmessungen aufgehalten zu werden. Damit die Einstellungen so rasch wie möglich hintereinander ausgeführt werden konnten, waren, soweit es anging, in den markierten Entfernungen vom Schirm kleine Tische aufgestellt, damit es nicht zu häufig nötig war, Photometer und Tisch zu transportieren, sondern nur das erstere allein. War auf diese Weise alles vorbereitet, so gingen die Messungen mit dem Apparat vor sich, wie es nach der oben entwickelten Methode zu geschehen hat, wobei natürlich der Schirm gewendet werden mußte, je nachdem auf schwarz resp. weiß eingestellt werden sollte. — Parallel laufend mit den Messungen der Transparenz, wurde die Sichtweite

beobachtet, derart, daß markante Punkte (Kirchtürme, Fabrikschornsteine, spezielle Gebäude usw.) in Bezug auf ihr Verschwinden im Nebel fixiert wurden. Die auf diese Weise erhaltenen Entfernungen wurden mit Hilfe genau gezeichneter Stadtpläne Kiels, auf denen die Grundrisse der einzelnen Gebäude angedeutet waren, ausgemessen. Die so beobachteten Sichtweiten können dann zur Vergleichung mit den durch Messung der Transparenz berechneten Werten dienen.

Die im folgenden angeführten Tabellen sind die Ergebnisse einiger Transparenzmessungen, die ich im Wintersemester 1903/04 nach der beschriebenen Methode angestellt habe. In den Tabellen bedeuten: n = die Entfernung in Metern, d. h. der Abstand zwischen Schirm und Photometer bei der Bestimmung von H_1 und H_2 ; $\varphi_1 \cdot \cdot \varphi_4$, φ_h , die der Vereinfachung wegen nur in der ersten Tabelle gesondert angeführt werden mögen, sind die wegen eines geringen Nullpunktfehlers des Instrumentes bereits korrigierten Ablesungen am Photometer, ι sind die berechneten Transparenzkoeffizienten für die Schichteinheit (d. h. für eine Schicht, deren Dicke 1 m beträgt), $s_{\text{ber.}}$ sind die berechneten, dazu gehörigen Sichtweiten, $s_{\text{beob.}}$ endlich die (meistens bei je einer Messungsreihe) beobachtete Sichtweite.

Tabelle I.

Entfern. n (Met.)	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_h	Relat. Werte von $H_1 \cdot \cdot H_4$				Trans- par- koeff.	Sichtweiten	
						$\frac{1}{\sin^2 \varphi_1}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_2}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_3}$	$\frac{\iota}{\sin^2 \varphi_4}$		$s_{\text{ber.}}$	$s_{\text{beob.}}$
55	15.8 ⁰	20.2 ⁰	16.6	32.2	15.1	13.4884	8.3872	12.2523	0.9604	0.9856	300 m	ca. 270 m
40	15.3	21.6	17.2	32.3	14.3	14.3616	7.3794	11.4361	0.9551	0.9899	409	
30	15.9	24.3	16.8	31.6	13.9	13.3236	5.9053	11.9703	0.9932	0.9870	318	

Die bei Beginn der ersten Messung beobachtete Sichtweite betrug $s = \text{ca. } 270 \text{ m}$.

Tabelle II.

Entfern. n (Met.)	Relat. Werte von $H_1 \cdot \cdot H_4$				Trans- par- koeff.	Sichtweiten	
	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_1}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_2}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_3}$	$\frac{\iota}{\sin^2 \varphi_4}$		$s_{\text{ber.}}$	$s_{\text{beob.}}$
55	14.0023	4.1240	11.9703	0.8087	0.9978	1741 m	} 350 m
40	13.1618	5.2413	13.1618	0.7855	0.9889	381	
30	12.5447	4.3363	12.6947	0.9876	0.9882	341	
20	10.5856	3.6838	10.9375	0.9193	0.9815	232	

Zwischen der zweiten und dritten Messung wurde die Sichtweite $s = \text{ca. } 350 \text{ m}$ beobachtet. Zu Anfang der Messungen war der Turm der Ansgarkirche (der ca. 1100 m vom Beobachtungsorte entfernt ist) noch sichtbar, verschwand jedoch bald darauf. Der Nebel verdichtete sich fortwährend.

Tabelle III.

Entfern. n (Met.)	Relat. Werte von $H_1 \dots H_4$				Trans- par.- koeff.	Sichtweiten	
	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_1}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_2}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_3}$	$\frac{\alpha}{\sin^2 \varphi_4}$		S ber.	S beob.
55	12.8476	1.7827	14.3616	0.8632	0.9964	1177 m	—
30	12.6947	1.2001	14.5473	0.8544	0.9942	743	

Zu Anfang der Messungen war der Turm der Ansgarkirche noch sichtbar, verschwand jedoch allmählich, während der Turm der Nervenklinik deutlich sichtbar blieb.

Tabelle IV.

Entfern. n (Met.)	Relat. Werte von $H_1 \dots H_4$				Trans- par.- koeff.	Sichtweiten	
	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_1}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_2}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_3}$	$\frac{\alpha}{\sin^2 \varphi_4}$		S ber.	S beob.
55	11.9703	2.3048	11.9703	1.0586	0.9978	2030 m	ca. 1100 m
40	11.8332	2.0874	11.9703	0.9603	0.9970	1506	
30	10.2509	1.6893	10.8183	0.9243	0.9952	882	

Während der zweiten Messung verschwand der Turm der Ansgarkirche, so daß in diesem Moment die beobachtete Sichtweite $s = 1100 \text{ m}$ ist.

Tabelle V.

Entfern. n (Met.)	Relat. Werte von $H_1 \dots H_4$				Trans- par.- koeff.	Sichtweiten	
	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_1}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_2}$	$\frac{1}{\sin^2 \varphi_3}$	$\frac{\alpha}{\sin^2 \varphi_4}$		S ber.	S beob.
55	22.0355	18.0858	17.3284	1.4501	0.9750	168 m	} ca. 275 m
40	21.6870	11.3084	17.3284	1.5268	0.9895	406	
30	18.0858	8.6314	16.1689	1.2211	0.9848	276	
20	18.3492	6.2893	15.7385	1.2537	0.9909	458	

Im Verlaufe der letzten drei Messungen trat der Turm der Nervenklinik, welche ungefähr 275 m vom Beobachtungsort lag,

immer deutlicher hervor, so daß die beobachtete Sichtweite in diesem Fall $s = 275$ m zu setzen ist.

Die oben angeführten Tabellen, welche die verschiedenen Daten über Transparenz und Sichtweite enthalten, stellen nicht alle von mir gemachten Messungen dar. Mehrere Messungsreihen wurden ausgeschlossen, da sich die begleitenden Umstände zu sehr änderten. —

Dieses wird hauptsächlich durch die Schwankungen, denen die Dichte des Nebels fast fortwährend unterworfen ist, bewirkt. Wie stark derartige Variationen des trüben Mediums die einzelnen Ergebnisse beeinflussen, zeigen schon zur Genüge die Tabellen I bis V. In den weitaus meisten Fällen war ein starkes Verdichten des Nebels, selten ein Heben des letzteren zu bemerken. Obwohl daher die einzelnen Beobachtungen so rasch wie möglich ausgeführt wurden, war es doch nicht immer möglich, eine genaue Übereinstimmung zwischen der mit Hilfe des Transparenzkoeffizienten berechneten und der beobachteten Sichtweite zu konstatieren.

Bestimmung der Sichtweite punktförmiger Lichtquellen bei Nebel.

Mit Hülfe des ermittelten Transparenzkoeffizienten τ läßt sich nun die für die Praxis wichtige Frage nach der Größe der Sichtweite punktförmiger Lichtquellen bei Nebel und völliger Dunkelheit (d. h. des Nachts) in folgender Weise lösen: Unter „Sichtweite“ ist hier natürlich, abweichend von der früheren Definition, diejenige Entfernung verstanden, in welcher die betreffende punktförmige Lichtquelle für das Auge des Beobachters gerade verschwindet. Man habe jetzt bei vollständig klarer Luft die Sichtweite einer solchen Lichtquelle gefunden, und es sei J ihre Intensität in Einheiten der Hefnerkerze. Die Sichtweite hängt aber allein von der Beleuchtungsstärke ab, welche die betreffende Lichtquelle am Orte des Beobachters hat, d. h. sie hängt von dem Werte $\frac{J}{r^2}$ ab, wo J die Intensität, r die Entfernung des punktförmigen leuchtenden Körpers vom Beobachter ist. In dieser Distanz sei die Grenze der Sichtweite erreicht, so daß also in diesem Fall B diejenige Grenze der Beleuchtungsstärke darstellt, welche das Auge mindestens affizieren muß, um den leuchtenden Punkt noch erkennen zu lassen. Bei eintretender Trübung der Luft durch Nebel, Staub oder dergl. wird naturgemäß diese Minimalbeleuchtungsstärke schon früher, d. h. in kleinerer Entfernung von der Lichtquelle als vorher erreicht werden. Kennt man den Zustand der Atmosphäre in Bezug auf

ihre Lichtdurchlässigkeit durch Bestimmung des Transparenzkoeffizienten τ , so wird in der nun (bestehenden und) gesuchten Sichtweite x die Intensität der Lichtquelle auf $J \cdot \tau^x$ herabgesunken sein und sich daher die Beleuchtungsstärke: $B_\tau = \frac{J \cdot \tau^x}{x^2}$ ergeben, während dieselbe bei klarer Luft $B_\sigma = \frac{J}{\sigma^2}$ betragen haben mag. Da beide Minimalbeleuchtungsstärken nach der Definition der Sichtweite punktförmiger Lichtquellen in den beiden jeweiligen Fällen dieselben sein müssen, so muß auch: $\frac{J}{\sigma^2} = \frac{J \cdot \tau^x}{x^2}$ d. h. $\sigma^2 \cdot \tau^x - x^2 = 0$ sein.

Die Auflösung dieser transzendenten Gleichung geschieht wohl am besten durch Anwendung der regula falsi, denn es muß ja x zwischen 0 und σ liegen. Ist also σ in Seemeilen oder km bestimmt, so wird durch ein nicht zu oft wiederholtes, passendes Anwenden dieser Regel ein Resultat gewonnen, das für die Praxis von genügender Genauigkeit ist.

Nach diesen Entwicklungen ist die Sichtweite einer punktförmigen Lichtquelle der Quadratwurzel aus ihrer Intensität proportional: $\sigma = \frac{1}{\sqrt{B}} \cdot \sqrt{J}$. Dies ist schon durch Beobachtungen seitens der deutschen Seewarte¹⁾ bestätigt. Ferner hat, wie sich ebenfalls aus meinen obigen Erörterungen ergibt, bei der Bestimmung der Sichtweite (für jede beliebige Intensität) die Beleuchtungsstärke B denselben konstanten Minimalbetrag, um die Lichtquelle dem Beobachter wahrnehmbar zu machen. Da nun aber, was in der eben zitierten Abhandlung der deutschen Seewarte erwähnt ist und hier aus derselben entnommen wird, eine punktförmige Lichtquelle von der Intensität 1 bei völliger Dunkelheit und sehr klarer Luft, wo also der Transparenzkoeffizient für 1 m als Dicke der Schichteinheit nahezu gleich 1 zu setzen ist, 1.33 Seemeilen oder ca. 2467 m weit zu sehen ist, so ist in diesem Falle $B = \frac{1}{2467^2}$.

Dieser Wert ist also in Meterkerzen jener konstante Minimalbetrag, welcher die Größe der Beleuchtungsstärke in der Entfernung der jeweiligen Sichtweite charakterisiert. Wird die Durchlässigkeit der Luft durch Nebel, Staub oder dergl. verkleinert, so daß ihre Lichtdurchlässigkeit durch den Transparenzkoeffizienten τ fixiert ist, und

¹⁾ Deutsche Seewarte. Untersuchungen über Sichtweite und Helligkeit der Schiffspositionslaternen. Hamburg 1894.

hat die punktförmige Lichtquelle die Intensität J , so ist wiederum die Beleuchtungsstärke in der Entfernung der Sichtweite gleich $\frac{1}{2467^2}$, also: $\frac{1}{2467^2} = \frac{J \cdot \tau^x}{x^2}$ oder $2467^2 \cdot J \cdot \tau^x - x^2 = 0$. Aus dieser transzendenten Gleichung läßt sich nach derselben Regel wie vorher die Sichtweite x mit für die Praxis genügender Genauigkeit berechnen. Setzt man noch zur Abkürzung $2467^2 = c^2$ resp. $c^2 = 1.33^2$ bei Rechnungen, wo eine Seemeile als Einheit genommen wird, so ergibt sich: Die beiden Beziehungen

$$\sigma^2 \cdot \tau^x - x^2 = 0 \text{ und}$$

$$c^2 \cdot J \cdot \tau^x - x^2 = 0$$

besagen also, daß sich (für ein normales Auge) bei Nebel die Sichtweite einer punktförmigen Lichtquelle von der Intensität J berechnen läßt entweder:

1. aus der Sichtweite σ der betreffenden Lichtquelle bei völlig klarer Luft und dem Transparenzkoeffizienten der herrschenden Nebeldichte oder

2. aus der Intensität der Lichtquelle (welche im Laboratorium nach Einheiten der Hefnerlampe zu bestimmen ist) und dem nämlichen Transparenzkoeffizienten.

Der von diesen Beziehungen zu erwartende Nutzen tritt noch deutlicher durch die Aufgabe hervor, aus der obigen Beziehung:

$$c^2 \cdot J \cdot \tau^x - x^2 = 0$$

bei vorgeschriebenen Transparenzkoeffizienten τ und vorgeschriebener Sichtweite x die zur Erlangung dieser Sichtweite notwendige Intensität J der Lichtquelle zu finden, denn aus jener Beziehung folgt:

$$J = \frac{x^2}{c^2 \cdot \tau^x}$$

Sobald daher auf Grundlage der obigen Methoden genügend viel Beobachtungsdaten gewonnen sind, um Mittel- oder Maximalwerte für Nebeltransparenz annehmen zu können, läßt sich berechnen, wie groß bei derartigen Nebeln die Intensitäten der Leuchtfeuer, Schiffspositionslaternen usw. sein müssen, um bestimmte Sichtweiten zu geben.

Zum Schlusse möchte ich nicht versäumen, Herrn Prof. Dr. L. Weber für die gütige Anregung und Unterstützung, welche derselbe mir bei meiner Arbeit hat zuteil werden lassen, meinen größten Dank auszusprechen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein](#)

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [13](#)

Autor(en)/Author(s): Haecker Georg

Artikel/Article: [Untersuchungen über Nebeltransparenz. 75-96](#)