

## Werk

**Jahr:** 1934

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:10

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0010

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0010](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0010)

**LOG Id:** LOG\_0017

**LOG Titel:** Horizontalsicht bei örtlich veränderlicher Trübung und Beleuchtung

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Horizontalsicht bei örtlich veränderlicher Trübung und Beleuchtung

Von **H. Steinhäusser**, Kiel-Holtenu — (Mit 2 Abbildungen)

Unter speziellen Annahmen über die örtliche Abhängigkeit des Extinktionskoeffizienten und der Beleuchtung werden Formeln für die azimutale Verteilung der Horizontalsicht von verschiedenen Stellen abgeleitet.

Die Theorie der Horizontalsicht von H. Koschmieder<sup>1)</sup> geht im wesentlichen von folgenden Voraussetzungen aus:

1. Die „Sehstrahlpyramide“ verläuft in der Horizontalen, die Sichtmarken stehen unmittelbar vor dem Horizont Himmel.
2. Oberlicht und Unterlicht sind örtlich konstant (Himmel wolkenlos oder gleichmäßig bedeckt, Albedo der Erdoberfläche konstant).
3. Extinktions- und Zerstreuungskoeffizient sind örtlich konstant.
4. Der geringste relative Helligkeitsunterschied  $\epsilon$ , den das Auge zwischen Ziel und Himmel wahrzunehmen imstande ist, ist eine Konstante.

Unter diesen Voraussetzungen erhielt H. Koschmieder als horizontale Sichtweite einer schwarzen Fläche bei Tage

$$S_S = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln 1/\epsilon \dots \dots \dots (1)$$

Dabei bedeutet  $\alpha$  den Extinktionskoeffizienten in [km<sup>-1</sup>]. L. Foitzik<sup>2)</sup> bezeichnet diesen als Schwächungskoeffizienten ( $\sigma$ ) und setzt ihn additiv aus Absorptions- und Zerstreuungskoeffizient zusammen. Der Absorptionskoeffizient berücksichtigt die Absorption der Strahlung durch Wasserdampf, schwebende Teilchen, Kohlensäure und andere Gase in Bodennähe, der Zerstreuungskoeffizient erfaßt die Vorgänge der Reflexion, Brechung und Beugung des Lichtes durch Wassertröpfchen und solche Teilchen, deren Durchmesser größer ist als die Wellenlänge der sichtbaren Strahlung, ferner erfaßt er die diffuse Zerstreuung durch Teilchen, die kleiner als die Wellenlängen der sichtbaren Strahlung sind.  $\alpha$  gilt als Mittelwert des Extinktionskoeffizienten für den Wellenlängenbereich der sichtbaren Strahlung.

F. Linke<sup>3)</sup> stellte in Formel (1)  $\alpha$  als Produkt aus dem Rayleighschen Extinktionskoeffizienten für Licht  $\alpha_R = 0.0154$  km und einem horizontalen Trübungsfaktor für Licht  $T$  dar. Man erhält dann

$$S_S = \frac{254}{T} \dots \dots \dots (2)$$

Nach Formel (2) beträgt die maximale Sichtweite eines geeigneten schwarzen Zieles vor dem Horizont Himmel bei ganz reiner Luft 254 km. Der Trübungs-

faktor  $T$  der Formel (2) hat im allgemeinen einen von dem aus Extinktionsmessungen bei höherstehender Sonne berechneten Trübungsfaktor der Gesamtstrahlung oder der sichtbaren Strahlung abweichenden Betrag; letzterer ist nach F. Linke bis zu  $5^{\circ}$  Sonnenhöhe herab lediglich unabhängig von der Luftmasse, während für die Trübung in einer horizontalen Sehstrahlpyramide allein der Trübungszustand der bodennahen Luftschichten maßgebend ist.

Tabelle 1 gibt eine Häufigkeitsverteilung der Sichtstufen und der diesen bei idealen schwarzen Zielen entsprechenden horizontalen Trübungsfaktoren an wolkenlosen Tagen der Jahre 1932/33 in Frankfurt a. M.

Tabelle 1

Sichtstufen	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Anzahl d. Beobacht.
Horizontale Trübungsfaktoren . .	254/127	127/64	64/25	25/13	13/5	5/1	
8 <sup>b</sup> . . . . .	4	8	11	15	15	7	60
11 . . . . .	4	9	11	12	15	3	54
14 . . . . .	1	4	4	12	22	4	47

Wenn auch diese Tabelle wegen der „Fehler“ der geschätzten Sichtweiten kein exaktes Maß für die Häufigkeitsverteilung der horizontalen Trübungsfaktoren geben kann, so erkennt man doch, daß im allgemeinen die horizontalen Trübungsfaktoren wesentlich größer sind als die aus Extinktionsmessungen bei Sonnenhöhen  $> 5^{\circ}$  ermittelten Trübungsfaktoren.

Das Ergebnis der Koschmiederschen Theorie (I und II), daß die Sichtweite  $S_S$  eines schwarzen Körpers unter den eingangs genannten Voraussetzungen unabhängig vom Azimutalabstand der schwarzen Fläche gegen den Fußpunkt des Sonnenvertikals ist, wurde von H. Koschmieder (III) und H. Rühle<sup>4)</sup> durch exakte Messungen bestätigt.

Im folgenden soll der Einfluß örtlicher Veränderlichkeit von Trübung und Beleuchtung auf die Sichtweite eines schwarzen Körpers untersucht werden. Mit optischer Inhomogenität der Luft hat man in der überwiegenden Anzahl der praktischen Fälle zu rechnen. An Flugplätzen wechseln meist bei einer Lage des Flughafens am Rande einer Großstadt, oft auch wegen besonderer mikroklimatischer Bedingungen die Trübungsverhältnisse der bodennahen Luftschichten stark mit der Richtung. In gebirgigem Gelände werden durch Stau- und Leewirkungen auch an sehr klaren Tagen optische Inhomogenitäten hervorgerufen. In ausgesprochenem Flachland treten im Grenzgebiet von Großluftkörpern oder durch Kleinluftkörper optische Inhomogenitäten auf.

In der Koschmiederschen Betrachtungsweise erhält man die scheinbare Flächenhelle eines schwarzen Zieles durch Summation der Luftlichtbeiträge kleiner Volumenelemente der Sehstrahlpyramide. Der Abstand eines solchen Volumenelementes vom Auge des Beobachters sei  $r$ ,  $i_g(\beta, \zeta)$  bedeute die Himmelhelligkeit unter dem Azimut  $\beta$  und der Zenitdistanz  $\zeta$  (auch direkte

Sonnenstrahlung mit einbegriffen),  $\mathfrak{Z}(\beta, \varphi)$  die Zerstreuungsfunktion. Setzt man noch

$$\int_0^{2\pi} d\beta \int_0^{\pi/2} d\zeta \cdot \sin \zeta \cdot \mathfrak{Z}(\beta, \zeta) \cdot i_g(\beta, \zeta) = J(r, \varphi), \dots \dots \dots (3)$$

wo  $\varphi$  das Azimut der Sehstrahlpyramide bedeutet, und setzt voraus, daß an jeder Stelle der Zerstreuungskoeffizient dem Extinktionskoeffizienten proportional ist und daß ferner die Albedo der Erdoberfläche sehr klein ist, so kann man die scheinbare Flächenhelle eines schwarzen Körpers im Abstand  $l$  in einer bestimmten Richtung setzen:

$$h = C \cdot \int_0^l \alpha(r, \varphi) \cdot e^{-\int_0^r \alpha(r, \varphi) \cdot dr} \cdot J(r, \varphi) \cdot dr \dots \dots \dots (4)$$

Es sollen nun zwei Fälle örtlicher Abhängigkeit von Extinktionskoeffizient und Beleuchtung behandelt werden:

1. Fall: Für den Extinktionskoeffizienten nehmen wir folgende örtliche Verteilung an: es sei (Fig. 1)

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= A \cdot e^{\kappa(x+r \cdot \cos \varphi)}, & \text{wenn } x+r \cos \varphi &\geq \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \frac{\alpha_R}{A} \\ \text{und } \alpha &= \alpha_R, & \text{,, } x+r \cos \varphi &\leq \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \frac{\alpha_R}{A} \end{aligned} \right\} \dots \dots (5)$$

wo  $\alpha_R$  den Rayleighschen Extinktionskoeffizienten bedeutet. Die in Fig. 1 gezeichneten Senkrechten sind Linien gleicher Trübung.

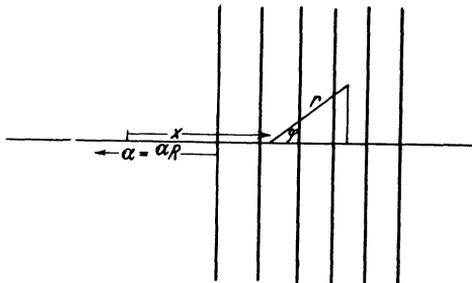


Fig. 1. Zur örtlichen Abhängigkeit des Extinktionskoeffizienten

$J(r, \varphi)$  sei längs der Sehstrahlpyramide konstant [=  $J(\varphi)$ ].

Es handle sich also z. B. um einen Dunststau von sehr geringer Höhenstreckung an einem senkrecht zu  $x$  streichenden Gebirge.

Führt man die Rechnung mit den eingeführten Bedingungen durch, so ergibt sich als Sichtweite eines schwarzen Körpers für  $x+r \cos \varphi \geq 1/\kappa \cdot \ln \alpha_R/A$

$$s_s(x, \varphi) = \frac{1}{\kappa \cdot \cos \varphi} \cdot \ln \left\{ 1 + \frac{\kappa \cdot \cos \varphi \cdot \ln 1/\varepsilon}{A \cdot e^{\kappa x}} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

Durch den Grenzübergang  $\kappa \rightarrow 0$  ergibt sich

$$s_s|_{\kappa \rightarrow 0} = \frac{\ln 1/\varepsilon}{A} \dots \dots \dots (7)$$

also die Koschmiedersche Formel für homogenen Extinktionskoeffizienten mit  $\alpha = A$ .

Bei dem Grenzübergang  $\cos \varphi \rightarrow 0$  folgt

$$s_s \left( x, \frac{\pi}{2} \right) = \frac{\ln 1/\varepsilon}{A \cdot e^{\kappa x}} \dots \dots \dots (8)$$

also ebenfalls die Koschmiedersche Formel für den Wert des Extinktionskoeffizienten  $\alpha(x) = A \cdot e^{\kappa x}$ . Der Extinktionskoeffizient ist für  $\varphi = \frac{2n+1}{2}\pi$  in der Blickrichtung konstant.

Für  $\varphi = 0$  erhält man die geringste Sichtweite in Richtung stärkster Trübungszunahme

$$s_s(x, 0) = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \left\{ 1 + \frac{\kappa \cdot \ln 1/\varepsilon}{A \cdot e^{\kappa x}} \right\} = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \left\{ 1 + \kappa \cdot s_s \left( x, \frac{\pi}{2} \right) \right\} \dots (9)$$

Für  $\varphi = \pi$  erhält man als größte Sichtweite

$$s_s(x, \pi) = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{\kappa \cdot \ln 1/\varepsilon}{A \cdot e^{\kappa x}}} = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \frac{1}{1 - \kappa \cdot s_s \left( x, \frac{\pi}{2} \right)} \dots (10)$$

Durchführung eines Beispiels.

Die Konstanten wurden so gewählt, daß an der Stelle  $x = 50$  km die Horizontalsicht eines schwarzen Körpers bei homogener Trübung 20 km, an der Stelle  $x = 60$  km diese Sicht 10 km beträgt. Dann wird

$$\alpha = 0.00611 \cdot e^{0.0693(x + r \cdot \cos \varphi)} \dots \dots \dots (11)$$

Die Werte von  $s_s(x, \pi/2)$ ,  $s_s(x, 0)$  und  $s_s(x, \pi)$  für verschiedene Werte von  $x$  ergeben sich aus Tabelle 2.

Tabelle 2

Sicht nach verschiedenen Richtungen bei örtlich veränderlichem Extinktionskoeffizient

Stelle $x$ (in km) . . .	13.3	30	50	60	70	80	90	100
Extinktionskoeffizient $\alpha(x)$ [ $\text{km}^{-1}$ ] . . .	0.0154	0.0489	0.1955	0.3912	0.806	1.614	3.227	6.454
Sicht bei homog. Trübung $s_s(x, \pi/2)$ in km . . . . .	254	80	20	10	4.9	2.4	1.2	0.6
Geringste Sichtweite $s_s(x, 0)$ in km . . . . .	48.5	27.1	12.5	7.6	4.2	2.2	1.2	0.6
Größte Sichtweite $s_s(x, \pi)$ in km . . . . .	254	239	122	17.1	5.9	2.7	1.3	0.6



Dann wird die scheinbare Flächenhelle des schwarzen Körpers im Abstand  $l$  nach Gleichung (4):

$$h = C_1 \int_0^l e^{\kappa(x+r \cdot \cos \varphi)} \cdot e^{-\frac{A}{\kappa \cdot \cos \varphi} (e^{\kappa(x+r \cdot \cos \varphi)} - e^{\kappa x})} \cdot e^{-m c A} \cdot e^{\kappa(x+r \cdot \cos \varphi)} \cdot dr$$

$$h = \frac{C_1}{A(1 + cm \kappa \cdot \cos \varphi)} \cdot \left\{ e^{-m c A} \cdot e^{\kappa x} - e^{-\left(cm + \frac{1}{\kappa \cdot \cos \varphi}\right) \cdot A} \cdot e^{\kappa(x+l \cos \varphi)} + \frac{A}{\kappa \cdot \cos \varphi} \cdot e^{\kappa x} \right\} \quad (12)$$

Die horizontale Sichtweite des schwarzen Körpers wird

$$\bar{s}_s(x, \varphi) = \frac{1}{\kappa \cdot \cos \varphi} \cdot \ln \left\{ 1 + \frac{\ln 1/\varepsilon}{A \cdot e^{\kappa x} \left( cm + \frac{1}{\kappa \cdot \cos \varphi} \right)} \right\} = \frac{1}{\kappa \cdot \cos \varphi} \cdot \ln \left\{ 1 + \frac{s_s \left( x, \frac{\pi}{2} \right)}{cm + \frac{1}{\kappa \cdot \cos \varphi}} \right\} \quad (13)$$

Die geringste Sichtweite von der Stelle  $x$  aus beträgt

$$\bar{s}_s(x, 0) = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \left\{ 1 + \frac{\kappa \cdot \ln 1/\varepsilon}{A \cdot e^{\kappa x} (cm \kappa + 1)} \right\} = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \left\{ 1 + \frac{\kappa \cdot s_s \left( x, \frac{\pi}{2} \right)}{cm \kappa + 1} \right\} \quad (14)$$

die größte Sichtweite beträgt

$$\bar{s}_s(x, \pi) = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \left\{ \frac{1}{1 - \frac{\kappa \cdot \ln 1/\varepsilon}{A \cdot e^{\kappa x} (1 - cm \kappa)}} \right\} = \frac{1}{\kappa} \cdot \ln \left\{ \frac{1}{1 - \frac{\kappa \cdot s_s \left( x, \frac{\pi}{2} \right)}{1 - cm \kappa}} \right\} \quad (15)$$

Für  $\varphi = \pi/2$  erhält man

$$\bar{s}_s(x, \pi/2) = s_s(x, \pi/2) \quad \dots \dots \dots (16)$$

Dieses Resultat ist evident, weil für  $\varphi = \frac{2n+1}{2} \pi$  auch die Beleuchtung konstant ist.

Fortführung des Beispiels zu Fall 1:

Die Konstante  $c$  wurde so eingeführt, daß für  $x = 50$  km, wo die horizontale Sichtweite in Richtung der homogenen Trübung  $s_s(x, \pi/2) = 20$  km beträgt,  $T_v$  den Wert 2.25 hat,  $m$  wurde = 2 gewählt.

Bei Einsetzung dieser Zahlenwerte in die Gleichung

$$a_m T_v = c \cdot \alpha(x)$$

ergibt sich  $c = 1.024$ .

Tabelle 4

Größe und kleinste Sichtweite von verschiedenen Stellen aus bei örtlich veränderlicher Trübung und Beleuchtung

Stelle $x$ in km . . . . .	13.3	30	50	60	70	80	90	100
Sicht bei homogener Trübung								
$\bar{s}_s(x, \pi/2) = s_s(x, \pi/2)$ . . . . .	254	80	20	10	4.9	2.4	1.2	0.6
Geringste Sichtweite $\bar{s}_s(x, 0)$								
in km . . . . .	40.4	25.5	11.4	6.8	3.7	2.0	1.0	0.6
Größte Sichtweite $\bar{s}_s(x, \pi)$ in km	254	242	232	23.8	7.2	3.2	1.5	0.7

Tabelle 4 enthält die unter den angegebenen Bedingungen berechneten größten und kleinsten Sichtweiten von verschiedenen Stellen aus.

Ein Vergleich der Werte der Tabellen 2 und 4 ergibt, daß unter den zugrundeliegenden Annahmen über die Veränderlichkeit von  $J$  die geringste Sichtweite kleiner und die größte Sichtweite größer ist als im Falle der örtlichen Konstanz von  $J$ .

Die ersten drei Werte der letzten Zeile der Tabellen 2 und 4 mußten unter Berücksichtigung der Bedingung, daß für  $x \leq 13.3$  km  $\alpha = \text{const} = 0.0154$  km berechnet werden.

Tabelle 5 zeigt die Sichtweite unter verschiedenen Azimuten von der Stelle  $x = 60$  aus, in Fig. 2 ist diese Abhängigkeit durch die gestrichelte Kurve dargestellt. Der punktierte Kreis in Fig. 2 bedeutet die vom Azimut unabhängige Sichtweite  $S_s$  unter den Homogenitätsbedingungen der Koschmiederschen Theorie (für  $\alpha = 0.3912$ ).

Tabelle 5

Sichtweite unter verschiedenen Azimuten von der Stelle  $x = 60$  km aus bei örtlich veränderlicher Trübung und Beleuchtung

$\varphi$ in Grad . . .	0	30	60	90	120	150	180
$\bar{s}_s(60, \varphi)$ in km.	6.8	7.1	8.1	10.0	13.5	19.2	23.8

### Literatur

<sup>1)</sup> H. Koschmieder, Theorie der horizontalen Sichtweite I und II: Beitr. z. Phys. d. fr. Atmosph. **12**, 33 u. 171; III: Danziger Sichtmessungen I, Forschungsarb. d. Staatl. Observ. Danzig, Heft 2 (1930).

<sup>2)</sup> L. Foitzik: Sichtweite bei Tag und Tragweite bei Nacht. Meteorol. Zeitschr. **49**, 134 (1932).

<sup>3)</sup> F. Linke: Meteorologisches Taschenbuch II, S. 43.

<sup>4)</sup> H. Rühle, Danziger Sichtmessungen II, Forschungsarb. d. Staatl. Observ. Danzig, Heft 3 (1930).

Frankfurt a. M., Flugwetterwarte, Januar 1934.

## Referate und Mitteilungen

Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands; Abflußjahre 1929 und 1930. Herausgegeben von der Preuß. Landesanstalt für Gewässerkunde. Berlin 1933.

In schneller Folge sind im Sommer 1933 zwei weitere Tabellenwerke über die Gewässerverhältnisse der norddeutschen Strom- und Küstengebiete erschienen, so daß innerhalb eines halben Jahres die fünf Jahrbücher von 1926 bis 1930 veröffentlicht wurden. Neben den täglichen Wasserstandsbeobachtungen, den langjährigen Durchschnittswerten und der Häufigkeit der Wasserstände sind in den neuen Veröffentlichungen besonders die Eisverhältnisse des strengen Winters 1928/29