

# Zur Ultrarotabsorption des Ozons

Von H. K. PAETZOLD

Aus dem Max-Planck-Institut für Physik der Stratosphäre, Weissenau  
(Z. Naturforsch. **11 a**, 128–130 [1956]; eingegangen am 25. November 1955)

Die Druckabhängigkeit der  $9,6 \mu$ -Bande des atmosphärischen Ozons wird mit den Weissenauer Messungen der vertikalen Ozonverteilung geprüft. Dabei ergibt sich eine weitere Möglichkeit der indirekten Bestimmung der vertikalen Ozonverteilung vom Erdboden aus zur Ergänzung der direkten Messungen bei Ballonaufstiegen.

Neben der bekannten starken Ultraviolettabsorption besitzt das Ozon noch ultrarote Absorptionsbanden bei  $4,7$ ,  $9,6$  und  $14,7 \mu$ . Von ihnen ist die  $9,6 \mu$ -Bande hervorzuheben, da sie in einer Lücke des  $\text{CO}_2$ - und  $\text{H}_2\text{O}$ -Absorptionsspektrums liegt und daher für den Strahlungshaushalt der Stratosphäre von Bedeutung ist. Leider läßt die Theorie der ultraroten Molekülspektren noch keine strenge Berechnung der Absorption für die Zustandsbedingungen in der hohen Atmosphäre zu. Denn die Banden setzen sich aus einer großen Zahl von einzelnen Linien zusammen, die sich gegenseitig überlappen und deren Breite von der Temperatur (DOPPLER-Breite) und dem Druck (LORENTZ-Breite) abhängt. Die bislang entwickelten Formeln<sup>1</sup> sind für numerische Rechnungen noch sehr umständlich und stellen außerdem noch eine meistens ungenügende Approximation dar.

Für die Druckabhängigkeit der ultraroten Bandenabsorption scheint nun nach CURTIS<sup>2</sup> eine einfache Näherungsformel zu bestehen, indem gesetzt werden kann:

$$\bar{p}(\bar{h}) = \frac{\int_{h_1}^{h_2} p(h) c(h) dh}{\int_{h_1}^{h_2} c(h) dh}. \quad (1)$$

Der mittlere Druck  $\bar{p}(\bar{h})$  gibt dabei den Druck an, unter dem das atmosphärische Gas einheitlich gedacht werden kann, um die beobachtete Absorption zu bewirken. Es bedeuten ferner  $p(h)$  den Luftdruck,  $c(h)$  die Volumenkonzentration des absorbirenden Gases [beim Ozon die Ozonkonzentration  $\varepsilon(h)$  in  $\text{cm O}_3/\text{km}$ ]; das Integral im Nenner die Schichtdicke zwischen der Höhe  $h_1$  und  $h_2$  [beim Ozon der Ozonbetrag  $x(h)$  in  $\text{cm O}_3$ ].

<sup>1</sup> z. B. W. M. ELSASSER, Harvard Met. Studies **1952**, No. 6.

<sup>2</sup> A. R. CURTIS, Quart. J. Roy. Met. Soc. **78**, 638 [1952].

<sup>3</sup> R. M. GOODY u. C. D. WALSHAW, Proc. Toronto Met. Conf. **1953**, p. 27.

<sup>4</sup> C. D. WALSHAW u. R. M. GOODY, ebenda p. 49.

In zwei neueren Arbeiten von GOODY und WALSHAW<sup>3,4</sup> sind für das Ozon einmal im Laboratorium die Abhängigkeit der Absorption der  $9,6 \mu$ -Bande vom Luftdruck und dem durchstrahlten Ozonbetrag untersucht und zum anderen die wirksame Absorption in der  $9,6 \mu$ -Bande durch das atmosphärische Ozon zu verschiedenen Jahreszeiten gemessen worden. Zusammen mit dem simultan mittels eines DOBSON-Spektralphotometers gemessenen totalen Ozonbetrag konnte der obige mittlere Druck  $\bar{p}$  für die atmosphärische Ozonschicht abgeleitet werden, wie er in Abb. 1 wiedergegeben ist. Um die Relation (1) prüfen zu können, muß die vertikale Ozonverteilung bekannt sein. Für Europa geben unsere Weissenauer Aufstiege das einzige direkt gemessene Beobachtungsmaterial der Ozonverteilung zu verschiedenen Jahreszeiten<sup>5,6,7</sup>. Wir haben daher nach (1) den mittleren Druck  $\bar{p}$  aus dieser Ozonverteilung berechnet und mit der gemessenen Kurve  $\bar{p}$  verglichen. Wie die Kreise in Abb. 1 zeigen, ist die Übereinstimmung recht gut, so daß eine näherungsweise Gültigkeit der Relation (1) für das atmosphärische Ozon erfüllt zu sein scheint.

Neben diesem für die Berechnung des Strahlungshaushaltes der Stratosphäre wichtigen Ergebnis bietet sich nun eine weitere ergänzende Möglichkeit zur indirekten Erfassung der vertikalen Ozonverteilung vom Erdboden aus, auf die früher schon hingewiesen wurde<sup>8,9</sup>. Wegen des Produktes  $p(h) \cdot \varepsilon(h)$  in (1) hängt der aus der Ultrarotmessung und dem totalen Ozonbetrag folgende mittlere Druck  $\bar{p}$  von der Ozonverteilung  $\varepsilon(h)$  ab. Allerdings geben wegen des z. Tl. komplizierten Verlaufs der letzteren diese integralen Messungen von  $\bar{p}$  im Einzelfall keine ein-

<sup>5</sup> H. K. PAETZOLD, Naturwiss. **41**, 318 [1954].

<sup>6</sup> H. K. PAETZOLD, Z. Naturforsch. **10 a**, 33 [1955].

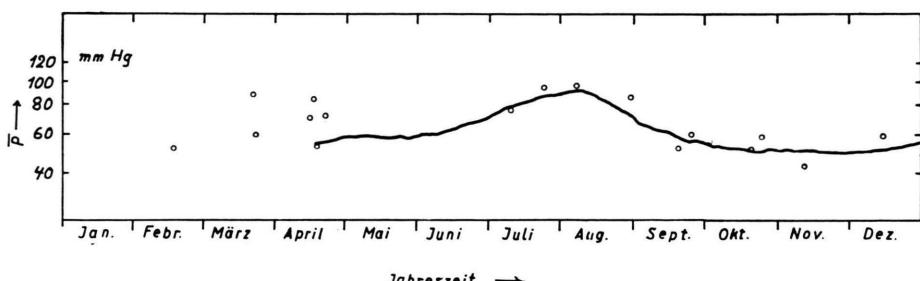
<sup>7</sup> H. K. PAETZOLD, J. Atmos. Terr. Phys. **7**, 128 [1955].

<sup>8</sup> J. STRONG, J. Franklin Inst. **231**, 121 [1941].

<sup>9</sup> K. WATANABE, J. Franklin Inst. **236**, 461 [1943].



Abb. 1. Jahresgang des mittleren Druckes  $\bar{p}$  im Jahre 1952 nach Goody und WALSHAW\*. Die Kreise ergeben die aus einzelnen Weissenauer Aufstiegen folgenden Werte  $\bar{p}$ .



deutigen Ergebnisse; wohl aber ist ein statistischer Zusammenhang zwischen dem gemessenen  $\bar{p}$  und dem Ozonbetrag in einzelnen Höhenbereichen zu erwarten. Wegen des nach unten stark zunehmenden

Aufstiegsdrucks werden sich vor allem Schwankungen des Ozons in der Troposphäre auf den mittleren Druck  $\bar{p}$  auswirken. Dies demonstriert Abb. 2, in der für einige der in Weissenau gemessenen Ozonverteilungen die Kurven  $p(h) \cdot \varepsilon(h)$  dargestellt sind. Die Ultrarotmessungen versprechen daher die sogenannten „Umkehrmessungen“ zu ergänzen, bei denen bekanntlich durch Beobachtung des Himmelsstreulichtes bei tief stehender Sonne die Ozonverteilung vor allem in größeren Höhen indirekt erschlossen wird.

Allerdings werden die Ultrarotmessungen vom Erdboden aus die Ozonverteilung nur in groben Zügen wiedergeben können. Es wurde daher der für die Weissenauer Ozonverteilungen einzeln berechnete mittlere Druck

$$\bar{p} = \int p(\varepsilon(h)) dh / \int_0^\infty \varepsilon(h) dh$$

in Abhängigkeit von den zwischen 0 und 10 km, 10 bis 20 km und oberhalb von 20 km Höhe befindlichen Ozonbeträgen dargestellt (Abb. 3). Wie zu erwarten, ergibt sich die beste Korrelation für das troposphärische Ozon. Sie ist für den Bereich oberhalb von 20 km Höhe lockerer, wobei jetzt eine Zunahme des Ozonbetrages einer Abnahme von  $\bar{p}$  entspricht. Dies röhrt daher, daß dieser Höhenbereich zu dem Integral im Zähler wegen des kleinen  $p(h)$  nur wenig beiträgt, während er andererseits die Schwankungen des totalen Ozonbetrages noch wesentlich mitbestimmt. Für den mittleren Bereich zwischen 10 und 20 km hängt der Druck  $\bar{p}$  statistisch nicht von dem jeweiligen Ozonbetrag ab, außer für Werte  $\bar{p} < 55$  mm Hg. Hier ist nach Abb. 3 aus einem kleinen gemessenen  $\bar{p}$  immer auf eine geringe Ozonkonzentration bis herauf zu 20 km Höhe zu schließen.

Es erscheint interessant, aus dem jahreszeitlichen Gang von  $\bar{p}$  in Abb. 1 nach der erhaltenen statistischen Korrelation in Abb. 3 eine jahreszeitliche Blockverteilung der Ozonverteilung abzuleiten

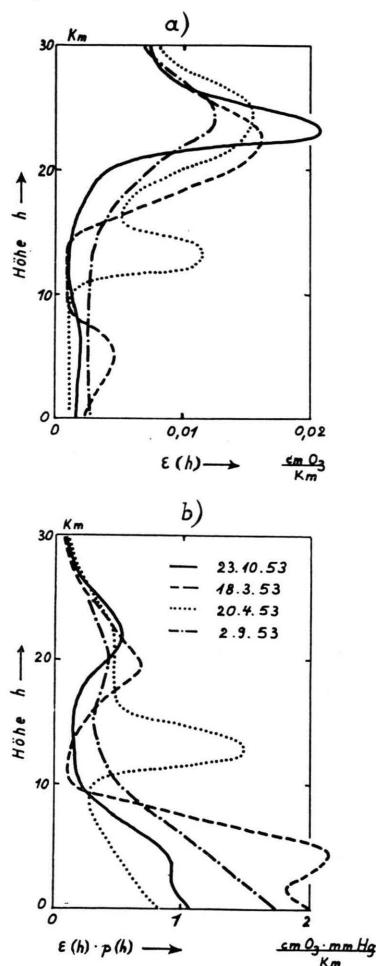


Abb. 2. a) 4 in Weissenau gemessene vertikale Ozonverteilungen  $\varepsilon(h)$ ; b) die dazugehörigen Kurven  $\varepsilon(h) \cdot p(h)$ .

\* Nach freundlicher privater Mitteilung von Herrn Dr. WALSHAW hat sich für das Jahr 1953 derselbe Jahresgang für  $\bar{p}$  ergeben.

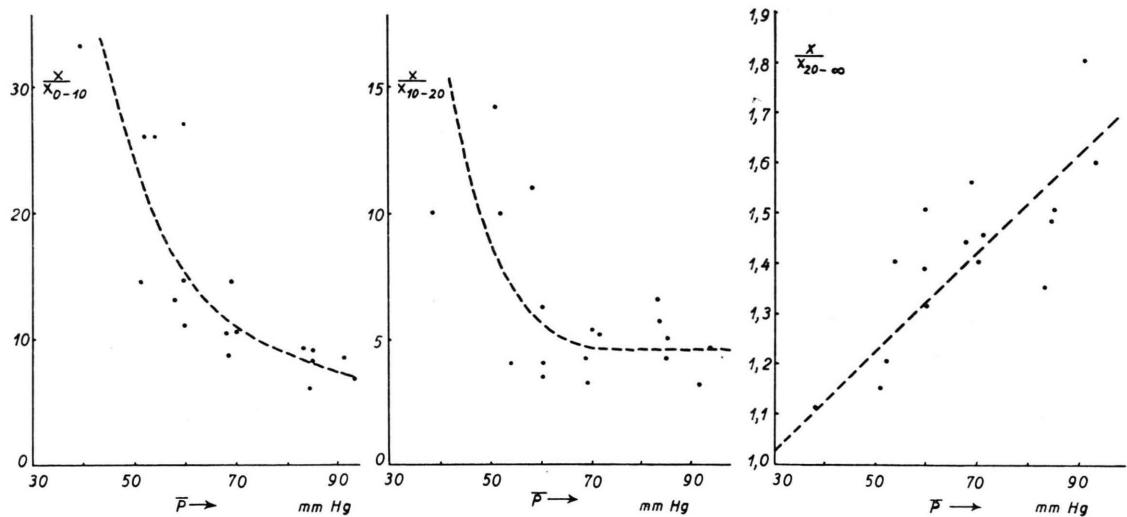


Abb. 3. Mittlerer Druck  $\bar{p}$  und Ozonbeträge in verschiedenen Höhenbereichen. Es bedeutet  $x$  den totalen Ozonbetrag und  $x_{0-10}$  usw. den zwischen 0 und 10 km Höhe usw. befindlichen Teilbetrag des Ozons.

(Abb. 4). Der Vergleich mit dem Jahresgang nach Weissenauer Ballonaufstiegen (gestrichelt) zeigt, daß die typische, spitzer verlaufende herbstliche Ozonverteilung, bei der unterhalb von 20 km Höhe nur wenig Ozon zu finden ist, gut erfaßt ist. Auch das Maximum des Ozongehaltes in der Troposphäre im Frühjahr-Sommer ist zu erkennen. Dagegen sind die im Frühjahr auftretenden höheren Ozonbeträge zwischen 10 und 20 km Höhe aus den Ultrarotmessungen nicht zu erkennen, da  $p$  in dem oben erwähnten Bereich  $> 55$  mm Hg liegt.

Nach den hier dargestellten Ergebnissen scheint es in Zukunft durchaus lohnend, die bisherigen Messungen des totalen Ozonbetrages mit dem DOBSON-Spektralphotometer im ultravioletten Spektralbereich durch Absorptionsmessungen in der  $9,6 \mu$ -Bande zu kombinieren, um eine genauere indirekte Erfassung

der Variationen der vertikalen Ozonverteilung zu erreichen und damit die direkten Messungen bei Ballonaufstiegen zu ergänzen.

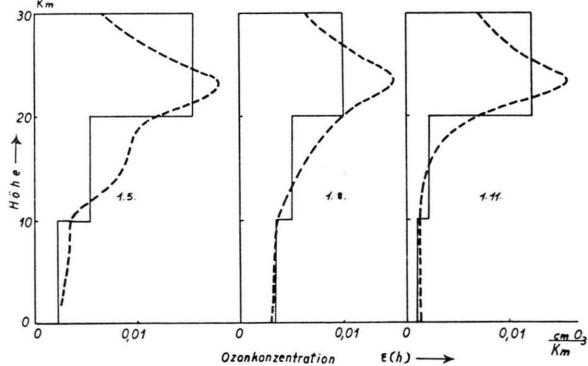


Abb. 4. Jahreszeitlicher Gang der vertikalen Ozonverteilung nach Ultrarotmessungen. Gestrichelt: Ozonverteilung nach den Weissenauer Aufstiegen.