

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

LOG Id: LOG_0023

LOG Titel: Die Höhenverteilung der Erd-, Luft- und Höhenstrahlung

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

Die Höhenverteilung der Erd-, Luft- und Höhenstrahlung

Auszug aus der Berliner Dissertation

Von G. A. Suckstorff, Göttingen — (Mit 5 Abbildungen)

Messungen der Höhenstrahlung in der Troposphäre wurden vom Boden bis 8800 m Seehöhe durchgeführt, wobei der Einfluß der Erdestrahlung durch Flüge über der Ostsee ausgeschaltet wurde. Die Erdstrahlung selbst wurde durch Messungen an den Funktürmen in Witzleben und Königswusterhausen untersucht, wobei sich eine absorbierende Wirkung des Turmes ergab. Bei beiden Meßreihen zeigte sich, daß die bisher stets vernachlässigte Luftstrahlung in Höhen über 5000 m sehr große Werte annahm, die bis zu 30% der Gesamtionisation gingen.

In letzter Zeit sind Messungen der Höhenstrahlung in der Stratosphäre mehrfach ausgeführt worden [Regener¹), Piccard und Cosyns²)]. Besonders durch die Pilotballonmessungen Regeners¹) reicht unsere Kenntnis der Höhenverteilung bis rund 30 km Höhe. Wegen der starken Intensitätszunahme der Höhenstrahlung von zwei Ionen $\text{sec}^{-1} \text{cm}^{-3}$ am Boden auf rund 300 in 30 km Höhe sind jedoch diese Messungen unterhalb 10 km Höhe nach Regeners Angaben recht ungenau, da natürlich die Empfindlichkeit des Elektrometers für die größeren Höhen eingestellt war.

Eine erneute Durchmessung der Höhenstrahlung in der Troposphäre schien deshalb wichtig, da seit den Messungen von Gockel¹⁸), Hess³) 1912 und Kolhörster⁴) 1913/14 nur wenige Neuvermessungen mit modernen Instrumenten bis maximal 6.8 km vorlagen [Büttner⁵), Reitz⁶)]. Vom Boden bis 2 km Höhe fehlten sie dagegen — abgesehen von Messungen im Gebirge — vollständig. Daher wurde besonderer Wert auf dieses Höhenintervall gelegt, das in Flugzeugen bei Flügen über See durchgemessen wurde. Auf diese Weise konnte auch die Bodenintensität der Höhenstrahlung direkt gemessen werden, die für alle Erdstrahlungsmessungen bekannt sein muß und bisher nur aus Panzermessungen oder Extrapolation aus 2000 m Höhe unter bestimmten Annahmen über die Absorptionskoeffizienten berechnet wurde.

Im Laufe der Untersuchung zeigte sich nun eine beträchtliche Wirkung der Luftstrahlung, die durch den Gehalt der Luft an Emanation und deren Zufallsprodukten hervorgerufen wird. Diese Luftstrahlung wurde bisher vernachlässigt, obwohl schon 1913 Kolhörster⁷) anlässlich einer Ballonfahrt über Böhmen in 2400 m Höhe eine Erhöhung der Ionisation um 3.5 Ionen gegenüber früheren Fahrten gefunden hatte. Diese Erhöhung deutete er als Zunahme der Luftstrahlung, da durch Leeböen am Rande des stark aktiven Erzgebirges Emanationsmengen in größere Höhen transportiert sein konnten. Ebenso fanden Wigand und Wenk⁸) 1924 bei direkten Emanationsmengen zwar im allgemeinen eine Abnahme der Emanationskonzentration mit der Höhe. In der Nähe von Sperrschichten in der Atmosphäre traten jedoch teilweise recht hohe Konzentrationen

vom Drei- bis Vierfachen des normalen Bodenwertes auf, die allein durch die γ -Strahlung ihrer Folgeprodukte eine Ionisation von rund $0.5 \text{ Ionen cm}^{-3} \text{ sec}^{-1}$ erzeugen würden. Derartige Intensitäten können jedoch bei der heutigen Meßgenauigkeit der Strahlungsapparate nicht mehr vernachlässigt werden.

I. Die Höhenstrahlung

Der Intensitätsverlauf der Höhenstrahlung wurde in drei aufeinanderfolgenden Stufen gemessen. Die Durchmessung der ersten Stufe von 150 bis 1500 m Seehöhe wurde mit Wasserflugzeugen der Reichsverkehrsfliegerschule bei Flügen über der Ostsee durchgeführt, um jeden Einfluß der Erdstrahlung auszuschließen. Die zweite Stufe von 1500 bis 5500 m Seehöhe wurde mit Hilfe des Wetterflugzeuges der Flugstelle Tempelhof und die dritte von 5500 bis 9000 m Höhe im Freiballon untersucht.

A. Messungen im Flugzeug. 1. Apparatur und Meßmethode. Zu den Messungen wurden zwei Strahlungsapparate nach Kolhörster verwandt. Bei den Flugzeugmessungen wurde der Apparat auf den Knien gehalten und alle Minuten abgelesen. Den Dauermessungen (Tabelle 1) entsprechen Meßzeiten von 40 Minuten, woraus sich eine mittlere Schwankung von $\pm 3\%$ ergab. Den „Interpolations-

Tabelle 1. Messungen der Höhenstrahlung im Flugzeug

Dauer- messungen Datum	Höhe m	Ionen minus Eigenstrahlung des Flugzeuges	Bemerkungen
10. 12. 1931	51	2.63 I	über See
10. 12. 1931	152	2.15 I	„ „
9. 12. 1931	387	3.27 I	„ „
10. 12. 1931	658	2.43 I	„ „
9. 12. 1931	991	3.26 I	„ „
10. 12. 1931	1532	3.49 I	„ „
29. 5. 1931	1835	5.50 I	„ Land
29. 5. 1931	2950	7.29 I	„ „
29. 5. 1931	4260	13.44 I	„ „
29. 5. 1931	5550	22.45 I	„ „

Interpolationsmessungen

Datum : 28. 5. 1931		Datum : 29. 5. 1931	
Mittlere Höhe m	Ionen korrigiert auf Reststrahlung des Flugzeuges	Mittlere Höhe m	Ionen korrigiert auf Eigenstrahlung des Flugzeuges
1615	4.27 I	1650	5.31 I
2135	4.98 I	1835	5.25 I
2325	6.98 I	2625	5.93 I
2630	6.34 I	3500	12.16 I
3080	8.20 I	4500	14.87 I
3500	10.06 I	5250	20.77 I
4000	12.80 I		
4560	15.19 I		
4875	17.15 I		

messungen entsprechen Meßzeiten von 5 bis 6 Minuten, woraus eine mittlere Schwankung von ± 5 bis 8% folgte. Ein Flugzeugmeteorograph registrierte für jeden Meßtag die Temperaturverteilung der Atmosphäre.

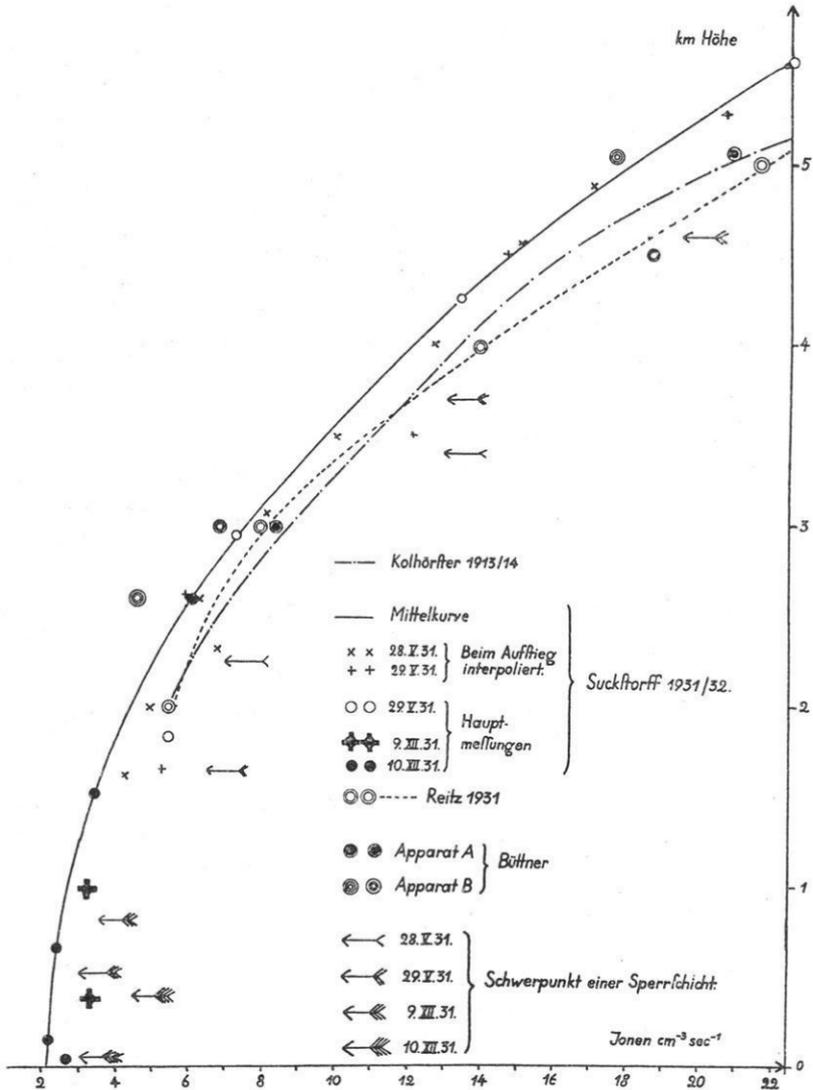


Fig. 1. Die Intensitätsverteilung der Höhenstrahlung zwischen 0 und 5500 m Höhe

Die Strahlung des Flugzeuges selbst (Leuchtzifferblätter der Bordinstrumente) wurden durch Vergleichsmessungen im Flugzeug und außerhalb des Flugzeuges

ermittelt. Sie schwankte je nach dem benutzten Flugzeug und der Aufstellung des Apparats zum Instrumentenbrett zwischen 0.3 und 1.5 J.

2. Diskussion der Messungen. Die Tabelle und die Fig. 1 zeigen die erhaltenen Ergebnisse aus etwa 450 Einzelmessungen über Land und über See.

Beide Meßreihen über Land und See zeigen deutlich die gleiche Zunahme der Höhenstrahlung mit wachsender Höhe. Die Schwankung der einzelnen Meßpunkte um die gezeichnete Kurve liegt vollkommen innerhalb der Meßgenauigkeit bis auf einige Punkte, die offensichtlich durch Einflüsse der Luftstrahlung entstellt sind. Im Absatz III wird gezeigt werden, daß diese Einflüsse auf die Anwesenheit von Sperrschichten in der Atmosphäre zurückgeführt werden können. Für die folgenden Überlegungen soll daher nur die ausgezogene Kurve berücksichtigt werden. Zum Vergleich sind noch die Messungen von Kolhörster⁴⁾ und Büttner⁵⁾ und Reitz⁶⁾ in Fig. 1 dargestellt.

Berechnet man nach folgender empirischer Formel, die von Kolhörster und Tuwim¹⁹⁾ für den Barometereffekt der Höhenstrahlung aufgestellt wurde,

Tabelle 2. Der Absorptionskoeffizient der Höhenstrahlung zwischen 0 und 5 km Höhe

Höhe km	Luft- druck cm Hg	Wasser- äquivalent cm H ₂ O	Ionen	Zwischen- km	$(\mu/\rho)_{\text{H}_2\text{O}}$ nach dem $\phi(u, X)$ -Gesetz	
					Suckstorff	Kolhörster
0	76.0	931	2.08	0—0.5	$1.8 \cdot 10^{-3}$	
0.5	72.0	882	2.35	0.5—1.0	$2.3 \cdot 10^{-2}$	
1.0	68.1	834	2.70	1.0—1.5	$4.8 \cdot 10^{-3}$	
1.5	64.4	789	3.45	1.0—2.0	$5.3 \cdot 10^{-3}$	
2.0	60.7	746	4.50	2.0—3.0	$5.1 \cdot 10^{-3}$	$4.4 \cdot 10^{-3}$
3.0	53.9	661	7.60	3.0—4.0	$5.0 \cdot 10^{-3}$	$4.7 \cdot 10^{-3}$
4.0	47.6	583	12.20	4.0—5.0	$4.7 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$
5.0	42.1	516	18.20			

die Absorptionskoeffizienten der Höhenstrahlung für die Messungen von Kolhörster und Suckstorff, so ergibt sich die folgende Tabelle 2, die in Fig. 2 noch einmal graphisch dargestellt ist.

$$(\mu/\rho)_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{H} \left(11.92 - \sqrt{145.96 - \frac{2}{11} \bar{B} \cdot \overline{BF}} \right) \quad 86 \leq \bar{B} \cdot \overline{BF} \leq 360.$$

Die Kurve des Absorptionskoeffizienten (Fig. 2) und die der Intensität (Fig. 1) zeigen beide einen Knick in etwa 1500 m Höhe. Zwischen 6 und 7 km Höhe fand Kolhörster¹⁾ bereits einen ähnlichen Knick in dem Gang des Absorptionskoeffizienten und deutete ihn als allmähliche Sättigung einer primär einfallenden Höhenstrahlung mit Sekundärstrahlen. Während nun bei dem von Kolhörster gefundenen Knick der Absorptionskoeffizient von 2000 m Höhe an mit wachsender Höhe stetig ansteigt, in 6500 m Höhe sein Maximum erreicht und mit weiter wachsender Höhe wieder abnimmt, nimmt bei dem Knick in 1500 m Höhe der Absorptionskoeffizient von 500 bis 1500 m Höhe stark zu, um dann von 1500 bis

4500 m praktisch konstant zu bleiben. Faßt man den Knick in 5600 m Höhe als Sättigung einer Komponente einer primär einfallenden Strahlung auf, so könnte man das Verhalten des Absorptionskoeffizienten zwischen 500 und 1000 m Höhe eventuell als allmähliche Sättigung einer größeren Anzahl von Primärkomponenten deuten, die sich nur wenig in ihren

Absorptionskoeffizienten unterscheiden. Die Größe dieser Absorptionskoeffizienten müßte dann zwischen $(\mu/\rho)_{\text{H}_2\text{O}} = 6$ bis $4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ liegen.

Das „Härterwerden“ der Höhenstrahlung zwischen 0 und 2000 m Höhe erklärt erst jetzt zwanglos die Diskrepanz, die bisher zwischen den aus Messungen in Luft (im Mittel $\mu/\rho = 5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) und den am Erdboden in Blei oder Wasser gemessenen gefunden wurde [im Mittel $\mu/\rho = 5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$] ^{10) 11) 12) 5)}. Noch besser wird die Übereinstimmung mit dem von Kolhörster ¹³⁾ aus dem vertikalen Zählrohreffekt in freier Luft zu $\mu/\rho = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ermittelten

Absorptionskoeffizienten. Dieser letzte Wert ist in Fig. 2 gesondert eingetragen.

Die Intensität der Höhenstrahlung am Erdboden kann aus der Warnemünder Meßreihe zu $2.08 J$ extrapoliert werden, und zwar liegt der letzte Meßpunkt 152 m hoch. An Hand der Meßgenauigkeit der einzelnen Meßpunkte von ± 2 bis 3% kann dieser Wert mit $2.08 \pm 0.07 J$ angenommen werden.

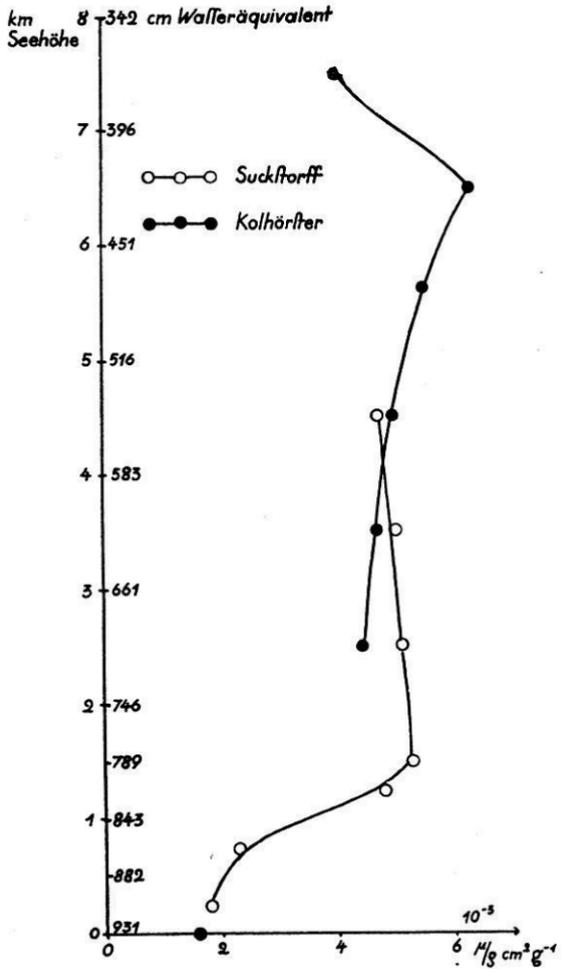


Fig. 2. Die Abhängigkeit des Absorptionskoeffizienten der Höhenstrahlung von der Höhe

B. Messungen im Freiballon. 1. Apparatur. Die dritte Stufe der Höhenstrahlungsmessungen zwischen 5 und 8.8 km Höhe wurde im Freiballon „Ernst Branden-

Tabelle 3. Messungen der Höhenstrahlung im Freiballon am 18. Februar 1932

Mittl. Höhe m	Gemessener Voltverlust	Zeitdifferenz in Minuten	Ionen abzüglich Reststrahlung	
2150	2.5	5	7.03	} Messungen während des Aufstiegs
3430	3.0	4	8.48	
2840	4.2	6	7.99	
3120	4.3	5	10.00	
3420	10.0	11	10.07	
3800	4.5	4	13.63	
4440	25.0	20	15.73	
5180	14.0	8	22.29	
6520	10.1	3	44.66	
6620	8.2	2	54.70	
6760	12.2	4	40.90	
6940	3.8	4	29.42	
7240	6.4	2	42.32	
7995	28.1	7	53.55	
8400	32.4	6	72.70	
8350	18.7	3	70.80	
8400	15.8	3	77.10	
8400	66.3	12	74.48	
8400	54.7	10	73.66	
8800	15.5	3	69.52	
7900	21.2	5	56.67	} Messungen während des Abstiegs
7200	9.5	3	41.90	
6500	9.3	2	62.43	
6280	6.0	2	39.55	
4740	10.0	7	17.87	
3080	8.6	13	7.26	
800	11.5	26	4.22	

Tabelle 4. Messungen der Höhenstrahlung im Freiballon am 19. März 1932

Mittl. Höhe m	Gemessener Voltverlust	Zeitdifferenz in Minuten	Ionen abzüglich Reststrahlung	
4680	11.1	7	19.41	} Messungen während des Aufstiegs
4830	9.6	6	21.29	
5070	10.9	5	28.51	
5750	21.0	9	30.30	
6030	20.3	8	33.14	
6280	28.0	9	41.13	
6875	13.9	4	46.08	
6850	15.2	4	56.62	
7295	32.7	5	63.46	
7600	36.0	7.5	69.37	
8055	9.5	1.5	78.89	
8150	17.2	2	89.39	
7125	10.2	2.5	54.36	
7310	19.4	4.0	65.07	
7675	22.7	4.5	67.84	
8000	111.2	20	78.86	
7900	31.7	6	71.02	} Messungen während des Abstiegs
7585	30.8	6.5	63.48	
7265	11.1	2.5	59.87	
7060	13.4	3.5	51.06	
6260	15.0	5.5	35.77	
5650	10.8	4.5	31.16	
5000	13.9	7	25.47	
4260	8.7	6	18.12	

burg“ bei zwei Fahrten durchgemessen. Auf der ersten Fahrt am 18. 2. 1932 wurde eine Höhe von 8.8 km, auf der zweiten am 19. 3. 1932 eine Höhe von 8.2 km erreicht.

Als Meßapparat diente ein Strahlungsapparat nach Kolhörster mit magnetischer Ladesonde. Er blieb über die Zeit beider Fahrten vollkommen dicht.

Die Höhen wurden nach dem Temperaturdruckdiagramm, das aus den Registrierungen des Meteorographen und zweier Barographen entnommen wurde, in acht Stufen nach der Staffelmethode berechnet. Der mittlere Fehler einer absoluten Höhenangabe dürfte zwischen 100 bis 200, der einer relativen zwischen 50 bis 100 m liegen.

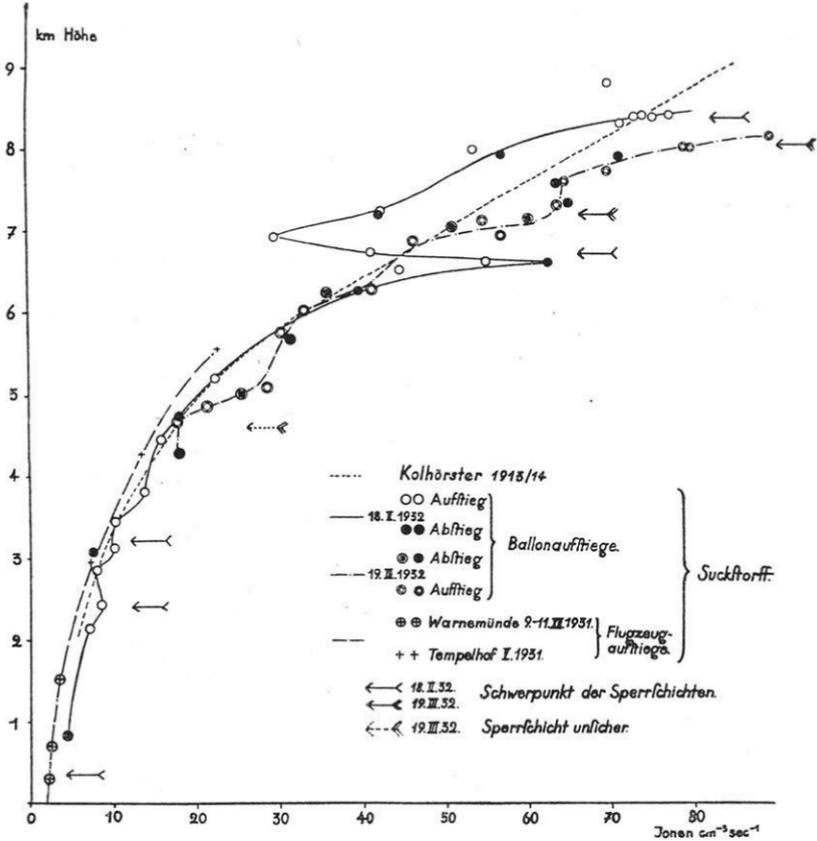


Fig. 3. Die Intensitätsverteilung der Höhenstrahlung zwischen 0 und 9000m Höhe

2. Meßmethode und Ergebnisse. Um möglichst alle Feinheiten in der Höhenverteilung zu erfassen, wurde unter dauernden Messungen von der rasch erreichten Prallhöhe (2200 m bei der ersten; 4000 m bei der zweiten Fahrt) gleichmäßig langsam weiter gestiegen. Die Steiggeschwindigkeit betrug bei der

ersten Fahrt rund 0.9 m/sec und bei der zweiten 0.6 m/sec. Wie die Tabellen 3 und 4 zeigen, sind die gemessenen 27 Werte bei der ersten Fahrt je in einem mittleren Zeitintervall von 2 bis 4 Minuten erhalten, was einem Höhenintervall von 108 bis 216 m entspricht. Bei der zweiten Fahrt wurden insgesamt 150 Differenzen mit einer mittleren Zeitspanne von etwa 1 Minute erhalten. Die so gewonnenen Voltverluste wurden in der Tabelle 4 zu größeren Differenzen (im Mittel etwa 6 bis 8 Minuten) zusammengefaßt. Die auf beiden Fahrten gemessenen Intensitätskurven sind in Fig. 3 graphisch dargestellt.

Mittelt man die Ergebnisse beider Fahrten, so ergibt sich bis 7500 m Höhe Übereinstimmung mit den Messungen von Kolhörster. Von 7500 bis 8500 m Höhe wird dann nach meinen Messungen die Strahlung ganz erheblich weicher, während sie nach Kolhörster mit wachsender Höhe wieder härter wird. Die Ionisationskurven meiner einzelnen Fahrten weisen aber in sich und untereinander Schwankungen auf, deren Größe die Meßgenauigkeit weit überschreitet und daher reell sein müssen, wie gezeigt werden wird.

3. Diskussion der Ergebnisse. Das Auffallendste an der Ionisationskurve der ersten Fahrt ist der gewaltige Buckel in 6800 m Höhe. Aus der Tabelle 3 ergibt sich, daß der Buckel beim Abstieg in der gleichen Höhe auftritt wie beim Aufstieg, und daß er durch vier Werte beim Aufstieg und drei beim Abstieg festgelegt wird. Berücksichtigt man ferner, daß die Zunahme der Strahlung zwischen 5180 und 6250 m Höhe hiernach insgesamt 100% beträgt, so wird die Möglichkeit von Meßfehlern unwahrscheinlich. Um einen Anhalt für die unter den Bedingungen einer Ballonhochfahrt geltende Meßgenauigkeit der Einzelwerte zu erhalten, wurde aus 18 Einzelwerten die Tabelle 5 berechnet. Diese 18 Einzelwerte sind auf der zweiten Fahrt in 14 Minuten bei einer konstanten Höhe von 8400 m gewonnen.

Tabelle 5

Zeitdifferenz der Einzelmessung Minuten	Zahl der Zeitdifferenzen	Mittlere Schwankung der Einzelmessung Proz.
0.5	7	± 7.1
1.0	12	± 9.5
2.0	7	± 3.1
3.0	5	± 2.6

Da bei den zur Messung des Buckels benutzten Werten Zeitdifferenzen von mindestens 2 Minuten vorlagen, dürfte die mittlere Schwankung nicht größer als ± 4 bis 5% sein. Diese geringe mittlere Schwankung zeigt schon die Realität des Buckels, dazu kommt noch, daß kein Grund zu finden ist, ihn auf Apparatfehler zurückzuführen. Das Zusammenfallen der Auf- und Abstiegswerte zwingt vielmehr zu der Annahme eines äußeren, zumindest von der Höhe abhängigen Einflusses. Naheliegend wäre die Änderung der Luft- und damit der Apparattemperatur. Nun ist bisher irgendeine Abhängigkeit des benutzten Apparats von der Temperatur niemals beobachtet worden. Bei einer Steiggeschwindigkeit von 0.9 m/sec kann man — vor allem bei der hohen Wärmekapazität des Instruments — kaum

von einer Lüftung sprechen, die in einer Temperaturinversion rasche Temperaturveränderungen hervorgerufen haben könnte; vor allen Dingen müßten dann bei der viel intensiveren Lüftung im Flugzeug ähnlich große Schwankungen aufgetreten sein, was nicht der Fall war.

Wenn der Buckel reell ist, dann wird sein Auftreten nur verständlich als die Wirkung radioaktiver Massen, die in etwa 6500 m Höhe in einer verhältnismäßig dünnen Schicht konzentriert waren. Denn seine Deutung als Sättigungseffekt scheidet an seiner Größe. Die Anwesenheit einer Schicht von radioaktiven Massen in rund 6500 m Höhe wird gestützt durch das Auftreten einer kräftigen Sperrschicht in rund 6400 m Höhe. Mit der Deutung des Buckels als Wirkung großer aktiver Massen erklärt sich zugleich die starke Zunahme der Strahlung zwischen 8000 und 8400 m Höhe, da auch in 8400 m Höhe eine kräftige Temperaturinversion gefunden werden konnte. Die Herkunft dieser strahlenden Massen sei zunächst nicht erörtert (das wird in Absatz III geschehen), sondern nur deren Intensität und Absorptionskoeffizient. Die Konzentration der aktiven Massen ergibt sich unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der radioaktiven Massen im Raum [Meyer und Schweidler¹⁴⁾] zu:

$$\sigma = \frac{Q \cdot \mu}{4\pi \cdot k} = \frac{34 \cdot 2.48 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot \pi \cdot 5.8 \cdot 10^9} = 116 \cdot 10^{-16} \text{ Curie cm}^3,$$

während am Boden normalerweise $\sigma = 1 \cdot 10^{-16}$ ist^{10) 14)}.

Berechnet man weiter nach dem $\Phi(\mu X)$ -Gesetz¹⁴⁾ den Absorptionskoeffizienten dieser Zusatzstrahlung, so ergibt sich $\mu_{\text{Luft}_{760}; 0^0} = 4.4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$, also ein Koeffizient, der vollständig der Größenordnung radioaktiver Substanzen entspricht (μ_{Luft} für RaC = $6 \cdot 10^{-5}$, für ThC'' = $4.55 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$).

Die Ionisationskurve der zweiten Fahrt zeigt zwar äußerlich einen ganz anderen Verlauf als die der ersten, dieser veränderte Verlauf ist jedoch auch nur unter der Voraussetzung größerer Mengen aktiver Substanzen in der Atmosphäre zu deuten. So zeigt die Ionisationskurve der zweiten Fahrt die starke Zunahme der Strahlung in 8000 m Höhe, nur liegt der Beginn dieser Zunahme schon in 7900 m Höhe. Entsprechend wurde bei dieser zweiten Fahrt in 8000 m Höhe eine Inversionsschicht gefunden. Es ist sehr wohl anzunehmen, daß die Inversionen, an denen beide Fahrten ihr Ende fanden, die „große Inversion“ gewesen ist. Ist aber diese große Inversion mit aktiven Massen erfüllt*), so muß eine Zunahme der Strahlung in ihrer Nähe auftreten, die ja auch jedesmal bei der großen Inversion in entsprechender Höhenlage gefunden wurde. Ferner ergab sich bei der zweiten Fahrt eine Erhöhung der Ionisation in allen Höhen, wobei der große Buckel der Intensitätskurve in 6500 m Höhe durch mehrere kleinere ersetzt wurde. Diese Erscheinung steht in enger Verbindung mit den meteorologischen Verhältnisse an den beiden Meßtagen. Am 18. 2. bestand ein Hochdruckgebiet über Deutschland,

*) Nach seinen neuesten Messungen findet auch Regener¹⁾ eine starke Streuung seiner Messungen in rund 8 bis 10 km Höhe, die er allerdings nicht als reell ansieht.

das einige Tage stationär gewesen war. Für stationäre Hochdruckgebiete ist aber die Ausbildung kräftiger Inversionsschichten charakteristisch, besonders die Ausbildung einer Inversion in etwa 6 km Höhe. Am 19. 3. dagegen bestand ein neu gebildetes Hochdruckgebiet mit einem verhältnismäßig einheitlichen Luftkörper und damit einer noch recht gleichmäßigen Verteilung der aktiven Massen. Eine ähnliche Abhängigkeit von der Struktur der Luftmassen zeigte sich auch bei einer dritten Hochfahrt am 24. 3. 1933, wobei in einer im Abgleiten befindlichen Luftmasse sehr starke Schwankungen der Ionisation mit wachsender Höhe auftraten. Für solche abgleitenden Luftmassen ist aber eine blättrige Struktur sehr oft beobachtet.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

Die gemessenen Ionisationskurven beider Fahrten weisen unter- und gegeneinander Schwankungen auf, die reell sein müssen, wie vor allem das Zusammenfallen der Auf- und Abstiegswerte beider Fahrten beweist. Gemeinsam zu deuten sind diese Schwankungen unter der Annahme größerer strahlender Massen in den höheren Schichten der Atmosphäre. Diese Annahme erklärt auch den Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Hochfahrten und den früheren von Kolhörster. Da Kolhörsters Aufstiege im Hochsommer unternommen wurden, muß bei ihm die große Inversion in 10 bis 11 km Höhe gelegen haben, so daß ihre Wirkung in seinen Messungen noch nicht zum Ausdruck kommen konnte, denn seine Maximalhöhe betrug 9300 m. Während aber die aktiven Massen in den Höhen bis 5000 m nur geringe Zusatzstrahlungen liefern, wie die Messungen in Tempelhof und Warnemünde beweisen, ist dieser Einfluß für die größeren Höhen über 5000 m nach den Ergebnissen der Ballonfahrten beträchtlich. Für die Messungen bis 5000 m Höhe ist daher die Trennung von Luft- und Höhenstrahlung gut möglich und damit die stückweise berechneten Absorptionskoeffizienten für die Höhenstrahlung selbst charakteristisch. Das wird für die Messungen über 5000 m Höhe nicht mehr der Fall sein. Hier spielt vielmehr die Luftstrahlung schon eine sehr bedeutende Rolle, und deshalb sind für die Messungen über 5 km Höhe keine Absorptionskoeffizienten mehr berechnet.

In den Höhen über 5000 m kann man mit dem Vorhandensein von zwei Komponenten rechnen. Die eine Komponente ist die Höhenstrahlung selbst. Die zweite Komponente ist eine Strahlung aktiver Substanzen in Sperrschichten und sie wird wohl hauptsächlich das beobachtete Schwanken der Intensität hervorrufen. Dabei müßte das Intensitätsverhältnis der beiden Komponenten in 8 km Höhe etwa

$$q_H : q_L = 3 : 1$$

sein. Diese Schwankungen der Höhenstrahlung selbst zuzuschreiben, ist recht unwahrscheinlich. Denn aus der Konstanz der Strahlung bis 5000 m Höhe und am Boden folgt, daß an diesem Schwanken nur die weichsten Komponenten, die in 5000 m Höhe bereits vollkommen absorbiert wären, beteiligt sein könnten. Die Absorptionskoeffizienten dieser Komponenten lägen aber bereits in der Größenordnung der radioaktiven Substanzen.

II. Die Erdstrahlung

Die Höhenverteilung der Erdstrahlung wurde durch Messungen an den Funktürmen in Witzleben und Königswusterhausen bis 180 m Höhe untersucht. Bei

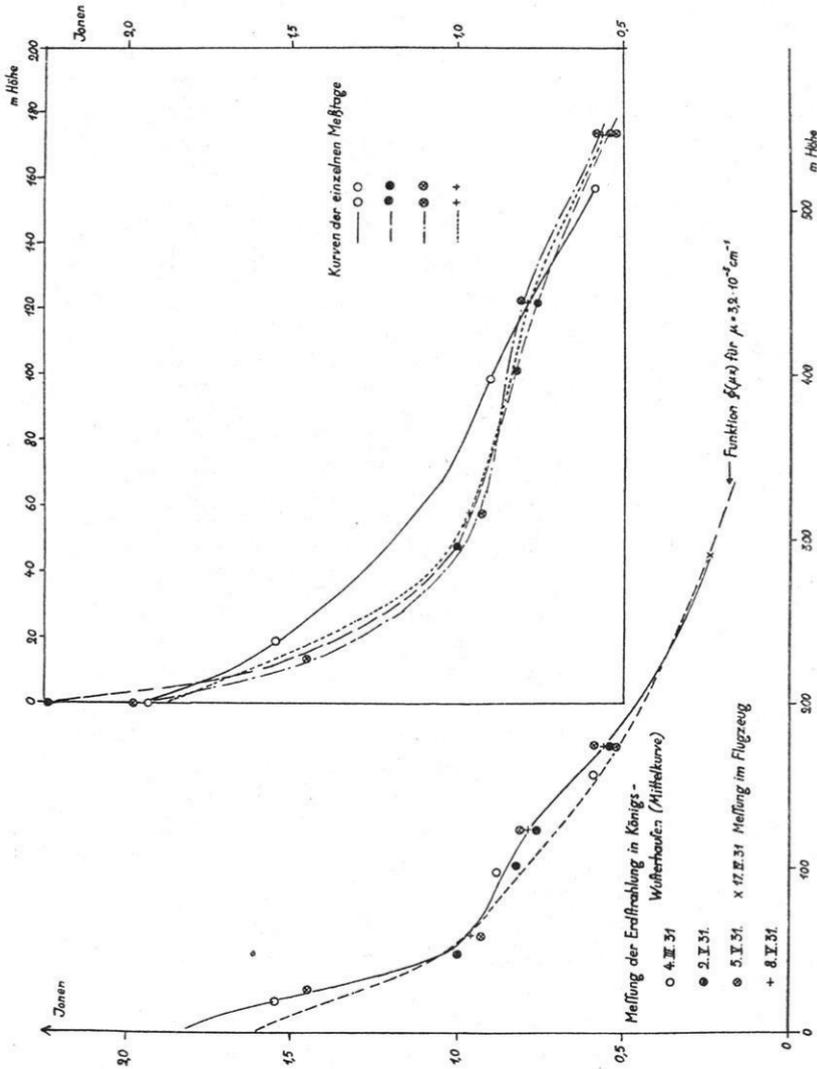


Fig. 4. Die Intensitätsverteilung der Erdstrahlung zwischen 0 und 300 m Höhe

der Meßreihe bis 130 m Höhe in Witzleben ergab sich bei einer Aufstellung des Strahlungsapparats im Turm ein Intensitätsabfall mit wachsender Höhe, der von 40 m an einem Absorptionskoeffizienten von $\mu_{\text{Luft}} = 4.6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ entsprach. Dies Ergebnis stand in Übereinstimmung mit Untersuchungen, die Büttner²⁰⁾ am

Funkturm in Königswusterhausen durchgeführt hatte. Bei einer Aufhängung des Apparats an der Antenne war der Intensitätsabfall kleiner und entsprach nur einem Absorptionskoeffizienten von $\mu_{\text{Luft}} = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$. Daraus folgt eine Eigenabsorption des Turms.

Zur Kontrolle wurde nun eine zweite Meßreihe an den Antennenhalteseilen des Funkturms in Königswusterhausen bis 180 m Höhe durchgeführt. Die Ergebnisse dieser zweiten Meßreihe sind in Fig. 4 graphisch dargestellt. Hierbei bestätigte sich der schon in Witzleben gefundene Absorptionskoeffizient von $\mu_{\text{Luft}} = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$, zugleich aber zeigte sich ein Buckel der Intensitätskurve in etwa 120 m Höhe, der auch in den Kurven der einzelnen Meßtage (Fig. 4) zutage tritt. Dieser Buckel kann als Maximum der auftretenden Sekundärstrahlung gedeutet werden (Sättigungsdicke), da das Maximum bei 1.4 cm Bleiäquivalent auftritt, während Kohlrausch²¹⁾ für die Sättigungsdicke der γ -Strahlung von RaC 1.6 cm findet, was damit gut übereinstimmt. Diese in der Luft auftretende Streuung erklärt wohl auch den zu kleinen Wert für den Absorptionskoeffizienten ($3.2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$), der nach dem Gehalt des Bodens an radioaktiven Substanzen den Wert von etwa $5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ haben müßte.

III. Die Luftstrahlung

1. Der Einfluß der Luftstrahlung auf die Messungen der Höhenstrahlung. Die Kurve des Intensitätsverlaufs der Höhenstrahlung zwischen 0 und 5.5 km Höhe (Fig. 1) zeigt in verschiedenen Höhen Meßpunkte, die aus dem sonst glatten Kurvenverlauf herausfallen. Im Vergleich mit den Temperaturkurven (Fig. 5) der einzelnen Tage erkennt man, daß diese Werte ausnahmslos mit Sperrschichten in der Atmosphäre zusammenfallen und daß Änderungen in deren Höhe und Stärke mit Veränderungen der Ionisation verbunden sind. Solche Ionisationsveränderungen sind aber nur dann möglich, wenn diese Erhöhungen der Intensität gegenüber dem glatten Kurvenverlauf auf Strahlung aktiver Massen in den Sperrschichten zurückgeführt werden, da die Höhenstrahlung selbst durch solche Schichten nur unbedeutend beeinflusst werden kann.

Der Einfluß von Sperrschichten auf die Intensität der Luftstrahlung zeigt sich sehr deutlich bei den Ionisationsmessungen am 28. und 29. Mai 1931 in 3.5 m Höhe. Am 28. Mai 1931 fällt die gemessene Intensität mit der Kurve zusammen. am 29. Mai 1931 dagegen ist die Ionisation um 2.3 *J* größer als der Kurve entspricht. Die Temperaturkurve zeigt dementsprechend am 28. Mai in 3400 m Höhe eine kaum 40 m mächtige Isothermie, die sich am 29. Mai aber zu einer kräftigen Isothermie von 400 m Dicke entwickelt hat. Am 28. Mai war diese Sperrschicht also gerade im Entstehen und konnte sich daher noch nicht mit aktiven Substanzen angereichert haben. Ebenso erzeugt die am 28. Mai in 2250 m Höhe befindliche Inversion eine Zusatzstrahlung von 1.3 *J*. Am 29. Mai ist sie dagegen verschwunden. und tatsächlich fällt an diesem Tage die Messung in 2600 m Höhe mit der Kurve zusammen. Ebenso fällt am 28. Mai die Messung in 1630 m Höhe innerhalb der

Meßgenauigkeit mit der Kurve zusammen. Am 29. Mai besteht dagegen von 1550 bis 1700 m Höhe eine Isothermie, die in 1630 und 1835 m Höhe Zusatzstrahlungen von 1.6 bzw. 1.4 J erzeugt.

Aus der Größe dieser Zusatzstrahlungen ergeben sich Emanationskonzentrationen von $10 \cdot 10^{-16}$, $12 \cdot 10^{-16}$ und $18 \cdot 10^{-16}$ Curie cm^{-3} , also gegenüber einer mittleren Bodenkonzentration von $1 \cdot 10^{-16}$ Curie cm^{-3} recht hohe Werte.

Nach Erdstrahlungsmessungen an Funktürmen ergab sich für die Luftstrahlung ein Absorptionskoeffizient von $\mu_{\text{Luft}} = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$. Wendet man diesen Koeffizienten auf die Messungen in größeren Höhen an, so müssen die Hauptmessungen der Ionisation am 29. Mai 1931 in 5550, 4260 und 2950 m Höhe

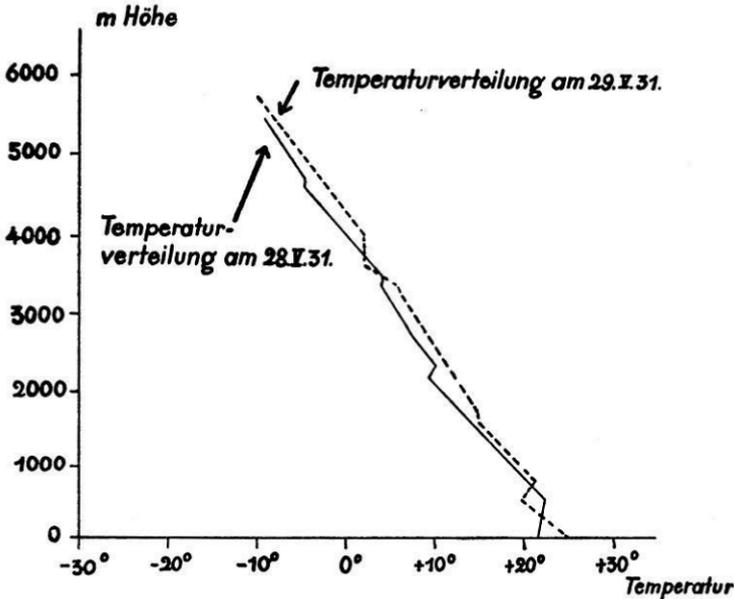


Fig. 5

Zustandskurven der Atmosphäre am 28. und 29. Mai 1931 über Tempelhof.

frei sein vom Einfluß der Luftstrahlung, da ihre Abstände von der nächsten Sperrschicht 700 bis 1000 m betragen. Die Messung in 1835 m Höhe ist dagegen durch die von 1550 bis 1700 m Höhe reichende Isothermie beeinflusst.

Die Prüfung des Einflusses der Luftstrahlung auf die Messungen in Warnemünde ergibt zunächst, daß die Messungen in 51, 387 und 991 m Höhe als sicher durch Luftstrahlung entstellt ausgeschieden werden können, da ihr Abstand von der nächsten Sperrschicht nur 20 bis 180 m Höhe beträgt. Die Messung in 1532 m Höhe am 10. Dezember 1931 ist dagegen sicher frei von Luftstrahlung, da ihr Abstand von der nächsten Sperrschicht etwa 800 m beträgt, dasselbe gibt sich für die Messung in 658 m Höhe. Entsprechendes gilt von der Messung in 125 m

Höhe. Zwar beträgt ihr Abstand von der nächsten Sperrschicht nur 120 m, doch ist die Dicke dieser Schicht größer als 50 m. Ihre Wirkung kann also nur gering gewesen sein und außerdem fällt der Wert gerade mit der Kurve zusammen, die mit Hilfe der übrigen Meßpunkte gewonnen wurde.

Zusammenfassend ergibt sich: Die Meßpunkte in 5550, 4260, 2950, 1532, 658 und 152 m Höhe sind vom Einfluß der Luftstrahlung frei, und die in der graphischen Darstellung (Fig. 1) ausgezogene Kurve stellt Verlauf der Höhenstrahlung allein dar.

Für die Messungen der Höhenstrahlung über 6000 m Höhe war der Einfluß der Luftstrahlung schon bei der Diskussion der Meßergebnisse untersucht, so daß sich hier eine Prüfung erübrigt.

2. Die Eigenschaften der Luftstrahlung. Befreit man die Werte, bei denen eine Wirkung der Luftstrahlung festzustellen ist, vom Einfluß der Höhen-

Tabelle 6. a) Die Luftstrahlung nach Messungen im Flugzeug und Freiballon von 200 bis 8000 m Höhe

Datum	Höhe m	Luftstrahlung in Ionen	Bemerkungen
17. 3. 1931	360	0.26	Differenz mit den Messungen in Warnemünde
17. 3. 1931	550	0.35	am 9. und 10. 12. 1931 + extrapolierten
17. 3. 1931	290	0.22	Erdstrahlungswerten
29. 5. 1931	367	0.95	Differenz mit den ungestörten Messungen in
29. 5. 1931	1650	1.60	Tempelhof am 28. und 29. 5. 1931
29. 5. 1931	3500	2.30	
29. 5. 1931	1835	1.40	
9. 12. 1931	51	0.53	Differenzen gegen die ungestörten in Warne-
9. 12. 1931	387	0.87	münde am 9. und 10. 12. 1931
10. 12. 1931	991	0.37	
18. 12. 1932	800	2.0	Differenzen gegen die Messungen in Tempelhof
18. 12. 1932	2200	2.5	am 28. und 29. 5. 1932
18. 12. 1932	3900	3.0	
19. 3. 1932	5000	7.0	Differenzen aus den Ballonfahrten am 18. 2.
19. 3. 1932	9000	18.0	und 19. 3. 1932
10. 5. 1932	250	1.03	Differenz gegen die Messungen in Warnemünde
11. 5. 1932	400	0.98	am 9. und 10. 12. 1931
11. 5. 1932	450	0.33	

b) Die Mittelwerte der Luftstrahlung

Höhe m	Mittlere Höhe m	Luftstrahlung in Ionen
0— 180	100	0.27*)
180— 800	500	0.75
800— 2000	1400	1.1
200— 3000	2500	2.0
3000— 5000	4000	4.5
8000	8000	18.0

*) Nach Erdstrahlungsmessungen in Witzleben und Königswusterhausen.

strahlung, so erhält man die reine Luftstrahlung für die verschiedenen Höhen. Dabei wird die Ionisation durch Höhenstrahlung der Kurve (Fig. 1) entnommen. Dann ergibt sich folgende Tabelle für die Luftstrahlung.

Die Genauigkeit der Luftstrahlungsmessungen dürften in den Höhen bis 200 m 0.07 J betragen, in den Höhen zwischen 200 und 5000 m etwa 0.1 bis 0.2 J , zwischen 5000 und 8500 m Höhe etwa 5 bis 10 J .

Aus der Tabelle 6b folgt, daß die Luftstrahlung im Mittel mit wachsender Höhe zunimmt. Aus dem gemessenen Absorptionskoeffizienten der Luftstrahlung ergibt sich, daß als strahlende Substanzen die Elemente RaC und ThC'' in Frage kommen, auf jeden Fall aber Substanzen, die sich in ihren Absorptionskoeffizienten nicht von den im Erdboden enthaltenen radioaktiven Substanzen unterscheiden. Nun ist zwar zu bedenken, daß die starke Luftstrahlung an Sperrschichten gebunden ist, daß also die normale Verteilung der aktiven Substanzen zunächst der Ansicht nicht widerspricht, daß diese aktiven Massen von der Exhalation des Erdbodens herrühren. Die Sperrschichten enthalten aber so große Mengen, daß deren Herkunft aus dem Erdboden kaum erklärt werden kann.

3. Die Herkunft der die Luftstrahlung erzeugenden aktiven Substanzen. Nimmt man zunächst an, daß sich aktive Massen in der großen Inversion befinden, so werden diese Massen zugleich mit der großen Inversion gehoben und gesenkt werden. Mit der Zeit fallen sie zum Teil aus der Inversion heraus und gelangen in die nächsttieferen usw. Dann werden die höheren Sperrschichten reicher an aktiven Substanzen sein als die tieferen. Diese aktiven Massen könnten auf zweierlei Weise in die große Inversion gelangt sein. Entweder kommt man auf die alte Anschauung von Gockel und Linke¹⁶⁾ zurück, die seinerzeit zur Erklärung der Höhenstrahlung die Anwesenheit aktiver Substanzen in der Stratosphäre annahm, wobei die Herkunft dieser Massen undiskutiert blieb, und erweitert diese Hypothese eventuell noch die Annahme von Bongards¹⁷⁾, der ein Eindringen von Emanationsmengen aus der Sonne in den Luftmantel der Erde annahm. Oder man nimmt einen Transport bodennaher emanationshaltiger Luftmassen bis zur großen Inversion an, wobei in genügend langen Zeiträumen eine Anreicherung derselben mit aktiven Massen eintreten könnte. Dabei müßte allerdings zugleich angenommen werden, daß etwa ebensoviel aktive Massen auf diesem Wege in die große Inversion transportiert würde, als in der gleichen Zeit zerfällt. Eine Entscheidung über diese Fragen kann aber wohl erst dann gefällt werden, wenn man durch Untersuchung von Luftproben aus größeren Höhen etwas über die aktiven Massen selbst sagen kann.

Zusammenfassung

Es wurde die Höhenverteilung der Erd-, Höhen- und Luftstrahlung untersucht. Dabei ergab sich für die Erdstrahlung ein mittlerer effektiver Absorptionskoeffizient von $\mu_{\text{Luft}} = 3.2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$, sowie der Nachweis einer in Luft auftretenden Streustrahlung. Eine entsprechende Messung in einem eisernen Turm

ergab als Absorptionskoeffizient $\mu_{\text{Luft}} = 4.6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$, woraus eine Eigenabsorption des Turmes folgt. Die zu erwartenden Absorptionskoeffizienten von RaC und ThC'' von $\mu_{\text{Luft}} = 6.0 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ bzw. $4.55 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ konnten wahrscheinlich wegen der auftretenden Streustrahlung nicht gefunden werden.

Die Höhenstrahlung wurde in ihrem Intensitätsverlauf zwischen 0 und 8.5 km Höhe in freier Luft unter Ausschluß der Erdstrahlung untersucht. Hierbei zeigte sich eine starke Änderung in dem Gang der Absorptionskoeffizienten mit wachsender Höhe. Zwischen 0 und 1000 m Höhe betrug der Absorptionskoeffizient der Höhenstrahlung $(\mu/\rho)_{\text{H}_2\text{O}} = 1.8 - 2.3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ g}^{-1}$, zwischen 1500 und 5500 m Höhe $5.3 - 4.7 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-2} \text{ g}^{-1}$. Aus diesen Messungen wurde die Bodenintensität der Höhenstrahlung zu $2.08 \pm 0.07 \text{ Ionen cm}^{-3} \text{ sec}^{-1}$ extrapoliert.

Die Messungen der Höhenstrahlung bei Flugzeugaufstiegen bis 5500 m Höhe und zwei Ballonhochfahrten bis 8800 bzw. 8200 m Höhe ergaben im Mittel bis 7500 m Höhe Übereinstimmung mit den alten Messungen von Kolhörster. Über 7500 m Höhe nahm die Intensität jedoch sehr viel rascher zu und erreichte in 8300 m Höhe 82.5 J gegenüber 72.5 J nach Kolhörster. Die einzelnen Intensitätskurven der beiden Ballonhochfahrten zeigten sowohl in Höhen über 5000 m starke zeitliche Schwankungen, als auch ein unregelmäßiges Verhalten mit wachsender Höhe.

Diese Schwankungen sind auf Einflüsse der Luftstrahlung zurückgeführt worden, die sich als viel stärker erwies, als man bisher annahm. Dabei konnte gezeigt werden, daß die Luftstrahlung entgegen den bisherigen Annahmen mit wachsender Höhe stark zunimmt, und zwar von 0.2 J am Boden auf rund 18 J in 8000 m Höhe. Diese starke Luftstrahlung ist jedoch an das Vorhandensein von Sperrschichten in der Atmosphäre gebunden. Die starken Schwankungen der Gesamtionisation bei der Messung der Höhenstrahlung und kleineren Schwankungen bei der Messung der Erdstrahlung wurden auf Schwankungen dieser Luftstrahlung zurückgeführt. Ebenso wurden die Unterschiede zwischen meinen Messungen und den alten Messungen von Kolhörster über 6000 m Höhe als Einflüsse wechselnder Luftstrahlung gedeutet.

Die Herkunft der aktiven Substanzen, die die Luftstrahlung hervorrufen, ist nur schwer durch Exhalation des Erdbodens zu erklären und legt die Annahme großer aktiver Massen in der Stratosphäre nahe. Da der Absorptionskoeffizient der Luftstrahlung zu $\mu_{\text{Luft}} = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$ gefunden wurde, können sich diese aktiven Massen in ihren Eigenschaften nur wenig von den uns bekannten radioaktiven Substanzen unterscheiden.

Die vorliegende Arbeit wurde im Herbst 1930 auf Anregung von Herrn Professor Kolhörster unternommen, dem ich für sein dauerndes Interesse, die Überlassung der Institutsmittel und die Ermöglichung der Luftfahrten meinen Dank ausspreche.

Herrn Geheimrat Professor Dr. Süring danke ich für seine stete Unterstützung und seine Ratschläge, besonders auch bei der Durchführung der Ballon-

hochfahrten. Zu Dank bin ich ferner verpflichtet: Herrn Dipl.-Ing. Wollé, Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt; Herrn Dipl.-Ing. Pilz, Herrn Dr. Giese, Bitterfelder Verein für Luftfahrt; Herrn Geheimrat Hergesell, Herrn Dr. Reidat, Herrn Chun, Flugstelle Tempelhof; Herrn Dr. Becker, Deutsche Verkehrsfliegerschule Warnemünde; Herrn Professor Dr. Jöster, Meteorologisches Institut, Berlin.

Herrn Schütze danke ich auch an dieser Stelle für seine umsichtige Führung der beiden Ballonhochfahrten.

Die Freiballonhochfahrten wurden mit finanzieller Unterstützung des Deutschen Reichsverkehrsministeriums durchgeführt, dem ich meinen besten Dank ausspreche. Die benutzten Strahlungsapparate entstammen einer Leihgabe der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft für Professor Kolhörster.

Literatur

- 1) E. Regener: Phys. Zeitschr. **34**, 306, 820 (1933).
- 2) A. Picard und Cosyns: C. R. **195**, 604 (1932).
- 3) V. Hess: Mitt. Inst. f. Radiumf. **9** (1911).
- 4) W. Kolhörster: Verh. d. Deutsch. phys. Ges. **15**, 1111 (1913); **16**, 719 (1914); Phys. Zeitschr. **14**, 1153 (1913).
- 5) K. Büttner: Zeitschr. f. Geophys. **3**, 161 (1927).
- 6) A. W. Reitz: Wien. Ber. **139**, 707 (1930).
- 7) W. Kolhörster: Verh. d. Deutsch. phys. Ges. **16**, 719 (1914).
- 8) A. Wigand und F. Wenk: Ann. d. Phys. **86**, 657 (1928).
- 9) W. Kolhörster: Naturw. **19**, 574 (1931).
- 10) W. Kolhörster und L. Tuwim: Ergeb. d. kosm. Phys. **1**, 87 (1931).
- 11) Myssowsky und L. Tuwim: Zeitschr. f. Phys. **35**, 299 (1925).
- 12) B. R. Weld: Phys. Rev. **40**, 713 (1932).
- 13) W. Kolhörster: Berl. Ber. **5**, 39 (1932).
- 14) St. Meyer und E. v. Schweidler: Radioaktivität. Leipzig, 2. Aufl. (1927).
- 15) A. Wigand: Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. **5**, 3 (1913).
- 16) F. Linke: Meteorol. Zeitschr. **33**, 310 (1916).
- 17) H. Bongards: Phys. Zeitschr. **25**, 679 (1924).
- 18) A. Gockel: Jahrb. d. Rad. u. Elektro. **9**, 1 (1912).
- 19) W. Kolhörster und L. Tuwim: Ergeb. d. kosm. Phys. **1** (1931).
- 20) K. Büttner: Zeitschr. f. Geophys. **3**, 161 (1927).
- 21) W. Kohlrausch: Handb. d. Experimentalphysik **15**, Leipzig 1929.

Höhenstrahllaboratorium des Meteorolog.-Magn. Observatoriums Potsdam.