

Beitrag zum Material über den Einfluß des magnetischen Sturmes vom 1. März 1941 auf die Ultrastrahlung¹

Von ALBERT SITTKUS

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Freiburg i. Br.

(Z. Naturforschg. 1, 204–208 [1946]; eingegangen am 20. Februar 1946)

Von Kolhörster veröffentlichtes Material über den Einfluß des magnetischen Sturmes vom 1. März 1941 auf die Ultrastrahlung, wie er sich in den Zählrohrkoinzidenzmessungen in Dahlem und Graz ausprägt, wird durch Ionisationskammermessungen in Freiburg i. Br. ergänzt, und eine Abschätzung des Temperatureinflusses bei den 3 Stationen durchgeführt. Es ergibt sich eine qualitativ gleichartige Einwirkung der magnetischen Störung auf den Verlauf der Ultrastrahlung über einen Bereich von etwa 6 Breiten- und 8 Längengraden, während sich die Amplituden der Schwankung unterscheiden. Es zeigt sich dabei noch, daß eine Ausschaltung meteorologischer Einflüsse durch Vergleich räumlich weit getrennter Stationen im Bereich Deutschlands nicht immer gewährleistet ist.

In seiner Arbeit über den Einfluß des magnetischen Sturmes vom 1. März 1941 auf die Ultrastrahlung weist W. Kolhörster² auf die Wichtigkeit hin, über diese magnetischen Effekte genügend Material zu sammeln, da anzunehmen ist, daß daraus Aussagen über die Primärstrahlung, soweit sie aus geladenen Teilchen besteht, möglich sind. Auch ist eine Klärung der zur Zeit noch sehr widersprechenden Ergebnisse über die Natur der magnetischen Einflüsse (Mitwirkung sonnenmagnetischer Einflüsse) zu erwarten. Weiter wird betont, daß ein Vergleich räumlich weit entfernter Stationen wertvoll ist, weil sich dabei die örtlich bedingten Unsicherheiten (durch Barometer- und Temperatureffekt oder allgemein durch meteorologische Einwirkungen) weitgehend ausschalten lassen und die magnetischen Feldeinflüsse klarer hervortreten. Es scheint deshalb angebracht, die Ergebnisse Kolhörsters durch die Registrierungen der Ultrastrahlung in Freiburg i. Br. aus demselben Zeitraum zu ergänzen, wobei sich noch die Möglichkeit ergibt, sehr verschiedenartige Apparaturen in ihrem Ansprechen auf einen magnetischen Sturm zu untersuchen (Dahlem und Graz messen Zählrohrkoinzidenzen; Freiburg arbeitet mit Ionisationskammer).

Die Ultrastrahlung wird in Freiburg in einem Kellergewölbe des Physikalischen Instituts in einer

500-l-Kammer (etwa 60 cm Ø bei 180 cm Länge) hinter allseitig 10 cm Eisen gemessen (Achse der Kammer in NS-Richtung). Die Strahlung wird noch zusätzlich durch Gebäudedecken von etwa 30 cm Stärke (Bruchstein, Beton) gefiltert, außerdem tritt eine gewisse Ausblendung vertikal einfallender Strahlung dadurch ein, daß der Registrierraum weitgehend unter Erdgleiche liegt. Es wird also die harte Ultrastrahlung unter Bevorzugung der mehr senkrecht einfallenden Strahlen erfaßt. Die Kammer ist mit Stickstoff von einem Überdruck von etwa 14 kg/cm² gefüllt und hat eine Wandspannung von 1000 V (geliefert von Anodenbatterien). Die Kompensation des Ionenstromes erfolgt mit einer 2-l-Gegenkammer mit Ra-γ-Strahlung. Die statistische Meßgenauigkeit der stündlich abgeschiedenen Ionenmenge beträgt etwa 1,5‰. Die Messung des Stromes geschieht halbstündlich mit vereinfachtem Hoffmann-Elektrometer auf Registrierfilm. Über den Einfluß des (inneren und äußeren) Restganges besteht zur Zeit keine genaue Kenntnis, da sich Erfahrungen aus Königsberg/Pr. auf dieses stärker radioaktive Gebiet nicht ohne weiteres übertragen lassen. Deshalb wird die Angabe der prozentualen Schwankungswerte, die zum Vergleich der verschiedenen Apparaturen nötig ist, etwas unsicher, doch spielt das zunächst keine ausschlaggebende Rolle, da es im folgenden wesentlich auf den Vergleich der Intensitätsgänge der verschiedenen Stationen ankommt, worauf die Wahl des Bezugswertes

¹ Wegen Unzugänglichkeit und Vernichtung verschiedener Unterlagen konnten Apparaturangaben und einschlägige Zitate nicht immer mit der wünschenswerten Genauigkeit gegeben werden.

² Physik. Z. 44, 393 [1943].



tes keinen Einfluß hat. Im übrigen ist der Bezugswert immerhin so sicher, daß auch ein überschläglicher Vergleich der prozentualen Schwankungsgröße der 3 Stationen möglich ist. Die zur Korrektur notwendigen Luftdruckangaben werden den Registrierungen eines dauernd überwachten Barographen entnommen. Messungen der Lufttemperatur werden nicht durchgeführt.

Die zu Tagesmitteln zusammengefaßten Werte der Ultrastrahlung und des Luftdruckes sind in

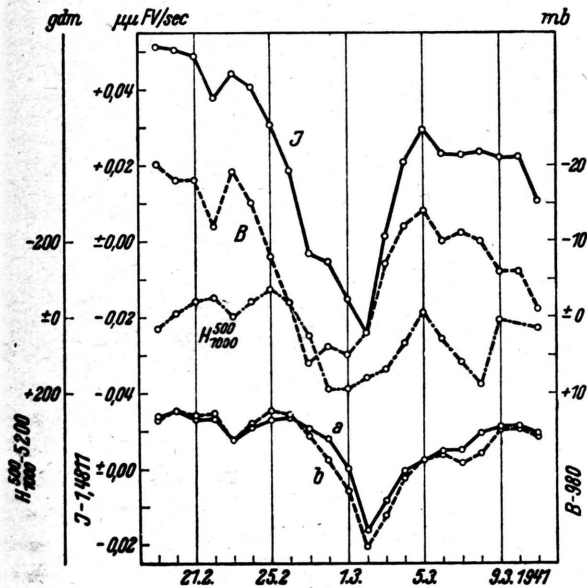


Abb. 1. I Ultrastrahlung, B Luftdruck, H_{1000}^{500} relative Topographie der 500 mb-Fläche, a Ultrastrahlung B.E. und H_{1000}^{500} korr., b Ultrastrahlung nur B.E. korr. (Tageswerte).

Abb. 1 dargestellt (Kurve I und B). Der Luftdruck schwankte ziemlich stark zwischen 960- und 986 mb³. Die Ultrastrahlungsintensität wurde auf einen Druck von 980 mb (ungefährer Jahresmittelwert) reduziert (Kurve b der Abb. 1). Dazu wurde der aus dem Zeitraum vom 1. Febr. bis 31. März 1941 mit Ausnahme der stark gestörten Tage vom 25. Febr. bis 5. März nach der Methode der Korrelationsrechnung bestimmte Barometereinfluß (B.E.) von $-19,3 \cdot 10^{-4} \mu\text{FV}/(\text{sec mb})$ (Korrela-

tionskoeffizient $r = -0,949$) benutzt. Bei Annahme eines reinen Ultrastrahlungsanteils von $1,2 \mu\text{FV}/\text{sec}$ ergibt sich der B.E. zu $1,6\text{‰}$ pro mb.

Über den möglichen Einfluß der Temperatur auf die Intensität lassen sich nach den bisher gebräuchlichen Methoden infolge Fehlens der Bodentemperaturwerte zunächst keine Angaben machen. Es ist dabei überhaupt sehr fraglich, ob diese Werte zur Reduktion verwendbar wären, denn wenn die Bodentemperatur bei bestimmten Wetterlagen schon im Flachlande kein die Temperatur der Luftmasse über dem Beobachtungsort kennzeichnender Wert ist, so trifft dies in noch viel stärkerem Maße für Stationen im Berglande zu (Bildung von Kaltluftseen in Tälern, Abschirmung von Windströmungen usw.). Um aber trotzdem eine Abschätzung des Temperatureinflusses auf die Intensität der Ultrastrahlung in Freiburg zu gewinnen, wurde der Versuch gemacht, die Strahlungsintensität mit der Temperatur der unteren Troposphäre (andere Werte sind zur Zeit nicht lückenlos zugänglich) in Beziehung zu setzen^{4,5}. Als Maß für die Temperatur wurde die relative Topographie der 500-mb-Fläche (Abstand der 500-mb- von der 1000-mb-Fläche) benutzt (Abb. 1 Kurve H_{1000}^{500}), deren Werte sich für jeden Tag und Ort in Deutschland aus den Karten der Deutschen Seewarte⁶ entnehmen lassen. Die Änderungen dieses Abstandes sind fast ausschließlich durch die Temperaturschwankungen und nur in geringem Maße durch den Wechsel der Feuchtigkeit der Luftmassen bis etwa 5500 m verursacht. Die Verwendung der relativen Topographie der 500-mb-Fläche (im folgenden bezeichnet mit H_{1000}^{500} oder rel. Top. 500) kann allerdings nur eine rohe Abschätzung des Temperatureinflusses geben, denn die verwendeten Wetterkarten sind streng genommen nur für den Zeitpunkt 8 Uhr gezeichnet, während bei der Ultrastrahlung das Tagesmittel verwendet wurde. Zudem soll (was wohl wesentlicher ist) der am Erdboden gemessene temperaturabhängige Teil der Ultrastrahlung in einer Höhe von etwa 15 bis 20 km entstehen⁷, also müßte auch die mittlere Temperatur bis zu dieser Höhe berücksichtigt werden,

⁶ Täglicher Wetterbericht des deutschen Reichswetterdienstes, herausgegeben von der deutschen Seewarte.

³ Als Einheit des Luftdruckes wurde statt des vielfach üblichen mm Hg das in der Meteorologie gebräuchliche Millibar (mb) gewählt ($1 \text{ mb} \approx \frac{3}{4} \text{ mm Hg}$).

⁷ Nach den neuesten Messungen von Schein u. Mitarb. scheint auch diese Entstehungshöhe noch zu klein zu sein; Schein, Jesse u. Wollan, *Physic. Rev.* **59**, 615 [1941]; W. Heisenberg, Vorträge über kosmische Strahlung 1943.

⁴ N. F. Beardsley, *Physic. Rev.* **59**, 233 [1941].
⁵ V. F. Hess u. F. A. Benedetto, *Physic. Rev.* **60**, 610 [1941].

und die rel. Top. 500 ist dafür nur ein ungenaues Maß.

Die Durchrechnung der Beziehungen zwischen Ultrastrahlungsintensität, Luftdruck und rel. Top. 500 für den angegebenen Zeitraum nach der Methode der Mehrfachkorrelationsrechnung⁸ ergibt einen B.E. von $-19,3 \cdot 10^{-4} \mu\text{FV}/(\text{sec mb})$ und einen Einfluß von H_{1000}^{500} ($H.E._{1000}^{500}$) von $-0,294 \cdot 10^{-4} \mu\text{FV}/(\text{sec gdm}^9)$. Der Mehrfachkorrelationskoeffizient beträgt dabei $R = 0,955$. Die Abschätzung der Anteile des Luftdrucks und der rel. Top. 500 an der Schwankung der Intensität ohne die stärker gestörten Tage vom 25. Febr. bis 5. März

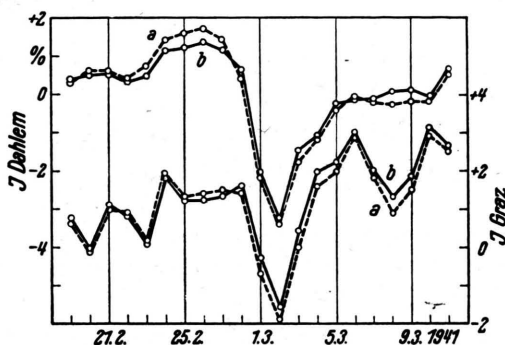


Abb. 2. Intensitätsverlauf in Dahlem und Graz:

- a nur B.E. korr.,
b B.E. und $H.E._{1000}^{500}$ korr. (Tageswerte).

ergibt 88% als Anteil des Luftdrucks und 3% als Einwirkung der rel. Topographie. Der Einfluß der $H.E._{1000}^{500}$ auf die Ultrastrahlung ist also gering, die Reduktion auf $H.E._{1000}^{500} = 5200 \text{ gdm}$ ändert den Verlauf der Intensitätskurven vom 19. Febr. bis 11. März nur wenig (Kurve *a* der Abb. 1). Aus dem $H.E._{1000}^{500}$ läßt sich der T.E. zu $-5,88 \cdot 10^{-4} \mu\text{FV}/(\text{sec} \cdot ^\circ\text{C})$ berechnen, da eine Änderung der Temperatur um 1°C die rel. Topographie der 500-mb-Fläche um etwa 20 gdm ändert. Der rel. T.E. ergibt sich dann zu $-0,5\text{‰ pro } ^\circ\text{C}$. Zur Abschätzung des Temperatureinflusses für Dahlem und Graz wurden die von

⁸ F. Baur, Z. Angew. Math. Mech. 9, 231 [1929].

⁹ Das geodynamische Meter (gdm)¹⁰ ist ein Energiemaß. Durch passende Wahl des Maß-Systems ist erreicht, daß die Maßzahl des geodynamischen Meters bis auf etwa 2% mit der des metrischen Meters übereinstimmt. Die rel. Top. der 500-mb-Fläche gibt die Potentialdifferenz zwischen der 500-mb-Fläche und der 1000-mb-Fläche an.

¹⁰ S. P. Ch r o m o w, Einführung in die synoptische Wetteranalyse.

Kolhörster veröffentlichten Werte mit einem $H.E._{1000}^{500}$ von $-0,025\text{‰ pro gdm}$ für die an diesen Stationen auftretenden Schwankungen der rel. Top. 500 korrigiert (Abb. 2); auch hier ist der Einfluß gering und ändert wenig am Verlauf der Intensität (s. auch Kolhörsters Diskussion über den Einfluß der Temperatur¹¹).

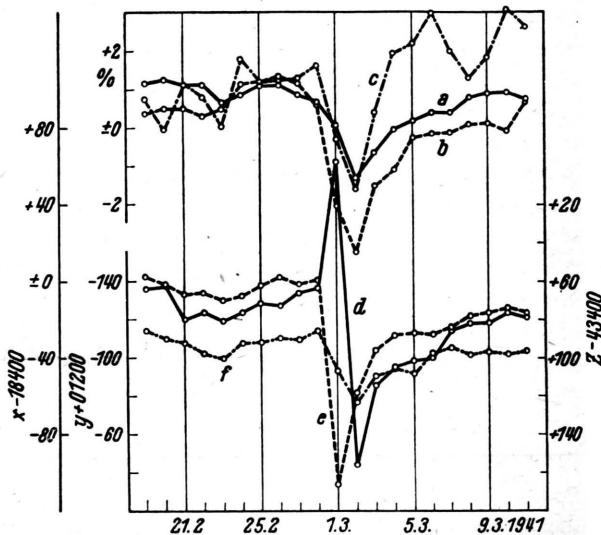


Abb. 3. Ultrastrahlung B.E. und $H.E._{1000}^{500}$ korrigiert:

- a Freiburg i. Br., b Dahlem, c Graz.
Magnetische Intensität: d Nordkomponente, e Vertikal-komponente, f Ostkomponente (Tageswerte).

In Abb. 3 sind in den Kurven *a*, *b* und *c* die Verläufe der relativen Schwankungen der B.E. und $H.E._{1000}^{500}$ korrig. Intensität der 3 Stationen für den Zeitraum vom 19. Febr. bis 11. März 1941 zusammengezeichnet. Dabei wurden die Werte für Freiburg auf eine Intensität von $1,2 \mu\text{FV}/\text{sec}$ bezogen. Abgesehen von der Amplitude stimmt der Verlauf der Kurven recht gut überein. Besonders ausgeprägt und besser als bei den gleichartigen

¹¹ Der Vergleich der Temperaturverläufe der unteren Troposphäre zeigt übrigens für alle 3 Stationen sehr gleichartigen Verlauf in Phase und Amplitude, was für den Verlauf der Bodentemperatur von Dahlem und Graz nicht zutrifft. Das zeigt, daß 1. die Bodentemperatur zumindest nicht immer ein Maß für die Temperatur der freien Atmosphäre ist und daher wenig geeignet ist, um damit Intensitätskorrekturen durchzuführen, und daß 2. im Bereich Deutschlands nicht ohne weiteres die Gewähr gegeben ist, durch Vergleich entfernter Meßorte die meteorologischen Einflüsse auszuschalten. Es wird deshalb doch darauf ankommen, die meteorologischen Effekte möglichst einwandfrei festzustellen und auszukorrigieren.

Apparaturen von Dahlem und Graz ist der Gleichlauf von Freiburg und Dahlem für den Zeitraum vom 23. Febr. bis 9. März. Bei beiden Stationen steigt die Intensität vom 23. bis 26. Febr. zunächst etwas an. Dann beginnt schon mehrere Tage vor der magnetischen Störung der Abfall, der bis zum 2. März anhält. Danach klingt die Störung langsam wieder ab. In der Größe der Amplituden der Störung unterscheiden sich Freiburg und Dahlem erheblich, eher stimmt sie für Freiburg und Graz überein, wenn bei Graz nur der Verlauf bis zum 2. März berücksichtigt wird. Wieweit die Unterschiede im Intensitätsverlauf und im Ausmaß der Schwankung durch die Lage der Stationen bedingt sind, oder ob hier auch noch prinzipielle Unterschiede zwischen Ionisationskammern und Zählrohrkoinzidenzanordnungen eine Rolle spielen, können erst weitere Vergleiche zeigen¹².

Die Abb. 3 enthält in den Kurven *d*, *e* und *f* auch noch den Verlauf der erdmagnetischen Elemente nach den Registrierungen des Geophysikalischen Institutes Potsdam-Niemegk, für deren Überlassung ich Hrn. Prof. Bartels zu besonderem Dank verpflichtet bin. Vom 2. März ab ergibt sich eigentlich für alle 3 Elemente (am ausgeprägtesten wohl für die Nord- und Vertikalkomponente des erdmagnetischen Feldes) ein gleichartiger Verlauf mit der Ultrastrahlung in Freiburg in dem Sinne, daß sich in großen Zügen die magnetischen Elemente und die Ultrastrahlung in gleichen Zeiten und mit etwa gleichem Verlauf auf ihre normalen Intensitätswerte erholen. Vor dem 2. März und auch in den Einzelheiten ist eine Gleichartigkeit der Gänge kaum vorhanden. Wahrscheinlich sind einfache Zusammenhänge zwischen Ultrastrahlung und Magnetfeld am Erdboden auch gar nicht zu erwarten, weil für die Ultrastrahlung wohl mehr die Feldänderungen durch Ringstromeffekte außerhalb des Ringstromgebietes maßgebend sind, wofür die am Erdboden gemessenen Änderungen der magnetischen Elemente kein unmittelbares Maß sind¹³. Die Verhältnisse werden noch komplizierter, wenn ein direkter Einfluß eines Sonnenfeldes angenommen werden muß.

Es wurde noch der Versuch gemacht, die Ultra-

strahlung in Beziehung zur Sonnentätigkeit zu setzen, wie sie sich aus den relativen Fleckenzahlen nach Beobachtungen in Zürich ergibt¹⁴. Die Sonnentätigkeit ist dadurch gekennzeichnet, daß seit dem letzten Maximum der Fleckenzahlen rund 4 Jahre vergangen sind und die jährliche Fleckenzahl auf etwa 40% des maximalen Jahreswertes gesunken ist. Ein Zusammenhang der Intensität der Ultrastrahlung mit der Fleckenzahl ergibt sich nicht. Als Besonderheit ist in dem betrachteten Zeitraum der Durchgang einer starken Fleckengruppe (bzw. einzelner großer Flecken, Kennzeichnung *b* im Kennbuchstabensystem von Zürich) durch den Zentralmeridian am 27. Febr. festzustellen, da-

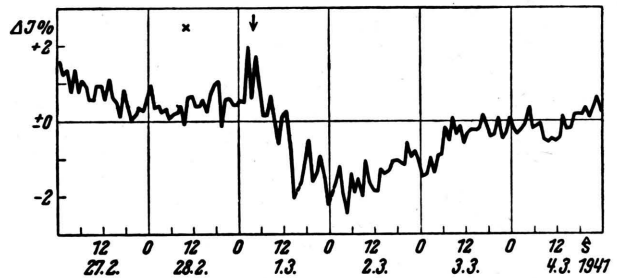


Abb. 4. Ultrastrahlung B.E. und H.E. $\frac{500}{1000}$ korr. für Freiburg i. Br. (Stundenwerte).

× U.-V. Ausbruch, ↓ magnetischer Sturmeinsatz.

gegen sind Durchgänge mittlerer Gruppen, Neubildungen oder Eintritte größerer Herde auf der sichtbaren Scheibe ziemlich häufig¹⁵. Es wäre möglich, daß Sonnenvorgänge, die mit dieser Fleckengruppe zusammenhängen, den Verlauf der Ultrastrahlung ab 23. Februar, den U.-V.-Ausbruch am 28. Februar und den magnetischen Sturm am 1. März bedingen. Hierüber kann aber erst weiteres Material entscheiden, besonders solches aus Zeiten geringerer Sonnentätigkeit, wo sich die Kopplungen besser erkennen lassen als in dem betrachteten Zeitraum, der durch rege Sonnentätigkeit im ganzen 1. Vierteljahr von 1941 ausgezeichnet ist. Zur Vervollständigung des Materials ist in Abb. 4 der Verlauf der Stundenwerte der korr. Intensität für Frei-

¹⁴ Meteorol. Z. 1942, 238.

¹² Allgemein scheinen bei den bisher von verschiedenen Stationen gleichzeitig erfaßten magnetischen Stürmen die magnetischen Effekte in Ionisationskammern um etwa den Faktor 2 kleiner auszufallen als bei Koinzidenzanordnungen; E. G. Steinke u. A. Sittkus, Naturwiss. 26, 461 [1938].

¹³ I. Bartels, Z. Geophysik 14, 297 [1938].

¹⁵ Nach Mitteilung der Station Greenwich-Arbeiter (Observatory London 64, 82–86 [1941, Nr. 802, Juni 1941]) befand sich zur Zeit des Sturmes ein ziemlich großer Fleck (500 · 10⁻⁶) nicht weit vom Zentralmeridian. Am 27. und 28. Febr. wurden Ionosphärenstörungen (fade outs) beobachtet, die heftigste am 28. Febr. von 09.00 bis 10.30 (s. auch J. Bartels, Z. Geophysik 17/18, 56 [1941/42]).

burg für den Zeitraum vom 27. Februar bis 4. März angegeben. Auffallend ist das Aufhören des langsamen Abfalles der Intensität etwa zur Zeit des U.-V.-Ausbruches auf der Sonne und das Auftreten starker Schwankungen schon etwa 2 Std. vor Ausbruch des magnetischen Sturmes. Der weitere Gang der Strahlungsintensität entspricht etwa den schon

früher beschriebenen Verläufen (vergl. Steinke u. Sittkus¹²). Im Vergleich mit Kolhörsters Kurven der gefilterten Strahlung ergeben sich mit Ausnahme des 1. März rund 45% der Stundenwerte als gleichlaufend. Am Sturmtage selbst ist der Gleichlauf der Apparaturen mit 73% der Stundenwerte wesentlich höher.

Die Expansion von Gasen im Zentrifugalfeld als Kälteprozeß

Von RUDOLF HILSCH

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Erlangen

(Z. Naturforschg. 1, 208—214 [1946]; eingegangen am 22. Februar 1946)

Es wird gezeigt, daß durch wirbelnde Entspannung von Gasen beachtliche Abkühlung erreicht werden kann. Die Konstruktion eines Wirbelrohres mit guter Kälteausbeute wird angegeben, quantitative Messungen in Abhängigkeit von den in Frage kommenden Variablen werden mitgeteilt. Die theoretische Ausbeute wird mit der praktischen verglichen. Anwendungen des Wirbelrohres werden erwähnt.

§ 1. Einleitung

Die adiabatische Expansion eines Gases mit äußerer Arbeitsleistung ist der wirksamste Kälteprozeß zur Erzielung einer Temperaturerniedrigung. Die Expansion kann in einer Kolbenmaschine oder in einer Turbine stattfinden. Dies bedingt einen erheblichen technischen Aufwand. Besonders im Gebiet sehr tiefer Temperaturen sind viele technische Schwierigkeiten zu überwinden. Deshalb wird in der Technik der Gasverflüssigung vielfach auf die Anwendung der Expansion mit Arbeitsleistung verzichtet und der überaus einfache Drosseleffekt benutzt, der keinerlei mechanisch bewegte Teile erfordert. Dieser ungünstigere Kälteprozeß ist bekanntlich nur wegen der Abweichung vom idealen Verhalten der Gase möglich.

Bei dieser Sachlage erscheint die Untersuchung einer Anordnung wichtig, die Georges Ranque¹ 1933 beschrieben hat. Druckluft tritt durch eine tangential Düse in einen Wälzbehälter ein, der aus einem beiderseitig offenen Rohr von 12 mm \varnothing besteht. Aus den offenen Rohrenden entweicht dann eine schraubenförmige Strömung. Im Rohrinnen wird durch die Drehströmung an der Wand ein Gebiet des Überdrucks, in Achsennähe Unterdruck erzeugt. Wird an einem Rohrende nun der Luftaus-

tritt nur aus der zentralen Öffnung einer angebrachten Ringblende erlaubt und am anderen Rohrende der Luftaustritt geeignet gedrosselt, so strömt die eintretende Luft aus der Blende mit verringerter, aus dem anderen Rohrende mit erhöhter Temperatur aus. Mit Druckluft von 6 atü und 20° C wird eine maximale Temperaturdifferenz von 70° zwischen beiden Strömen erzielt. Als tiefste Temperatur wird bei geeignetem Anteil des Kaltluftstroms —12° C beobachtet.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit soll sein, Bedingungen für eine wirksamere Anordnung dieser Art so zu finden, daß ein Kälteprozeß mit möglichst großem Nutzeffekt entsteht. Dieser Nutzeffekt soll bestimmt werden.

§ 2. Bau und Wirkungsweise eines „Wirbelrohres“

Das Ergebnis vieler Vorversuche sei zunächst vorweggenommen. Zur Erzielung eines günstigen Kälteeffektes muß die Blende so nah wie möglich an die Düsenöffnung gelegt werden. In der Nähe der Düse und der Blende muß die Drehströmung möglichst rotationssymmetrisch zur Rohrachse sein. Dies wird durch eine besondere einschleichende Lufteinführung ermöglicht, die aus Abb. 1b und 1c ersichtlich ist. Mit Ringmutter und Flan-

¹ J. Physique Radium (7) 4, 112 S, [1933].