11. *Eine Beobachtung über Luftwogen; von R. Emden.*

Am 7. November 1896 veranstaltete der Münchener Verein für Luftschiffahrt eine seiner Fahrten, bei der ich als Ballonführer thätig war.¹⁾ Diese Fahrt gab Gelegenheit zu einer Beobachtung und Messung der speciellen Art von Luftbewegung, auf die Helmholtz in seiner Abhandlung „Ueber atmosphärische Bewegungen II“ (Gesammelte Abhandlungen III, p. 309) zuerst aufmerksam machte und deren Theorie er entwickelte. Helmholtz hat gezeigt, dass, wenn eine obere, wärmere, also leichtere Luftschicht über eine untere, kältere, also schwerere Luftschicht hinwegstreicht, dieselben Bedingungen gegeben sind, wie wenn der Wind über eine horizontale Wasserfläche bläst. Wie die Wasseroberfläche zu Wellenbildung veranlasst wird, so bilden sich Wellen derselben Art an der Oberfläche der unteren, schwereren Luftschicht, Wellen, die senkrecht stehen auf der Richtung des Windes und in regelmässigen Abständen aufeinanderfolgend in Richtung desselben fortschreiten. Diese Luftwogen können ganz ausserordentliche Dimensionen annehmen. „Da wir bei den am Erdboden vorkommenden mässigen Windstärken oft genug (Wasser-)Wellen von einem Meter Länge haben, so würden dieselben Winde, in Luftschichten von 10° Temperaturdifferenz übersetzt, also 2 bis 5 km Länge erhalten. Grössere Meereswellen von 5—10 m würden Luftwellen von 15—30 km entsprechen können, die schon das ganze Firmament des Beschauers bedecken und den Erdboden in einer Tiefe, die kleiner als die Wellenlänge ist, unter sich haben würden, also den Wellen in seichtem Wasser zu vergleichen wären, die das Wasser am Grunde schon erheblich in Bewegung setzen . . .“ „Dass dergleichen Wellensysteme an den Grenzflächen verschieden schwerer Luftschichten

1) Die vollständige Bearbeitung dieser Fahrt findet sich unter dem Titel „Die Fahrt vom 7. November 1896; von Dr. R. Emden“ im Jahresbericht des Münchener Vereins für Luftschiffahrt für das Jahr 1896.

ausserordentlich häufig vorkommen, erscheint mir nicht zweifelhaft. wenn sie uns auch in den meisten Fällen unsichtbar bleiben. Wir sehen sie offenbar nur dann, wenn die untere Schicht so weit mit Wasserdampf gesättigt ist, dass die Wellenberge, in denen der Druck geringer ist, Nebel zu bilden anfangen. Dann erscheinen streifige, parallele Wolkenzüge in sehr verschiedener Breite, sich zuweilen über breite Himmelsflächen in regelmässiger Wiederholung erstreckend . . .“ „Die von mir angestellten Rechnungen zeigen ferner, dass bei den beobachteten Windstärken sich im Luftkreise nicht nur kleine Wellen, sondern auch solche von mehreren Kilometern Wellenlänge ausbilden können, die, wenn sie in Höhen von einem oder mehreren Kilometern Höhe über dem Erdboden hinziehen, die unteren Luftschichten in Bewegung setzen und sogenanntes böiges Wetter hervorbringen müssen. Das Eigenthümliche derselben sehe ich darin, dass Windstösse, oft von Regenschauern begleitet, nach ziemlich gleichen Zwischenzeiten und in ziemlich gleichem Verlauf mehrmals des Tages an demselben Orte wiederkehren.“¹⁾

Die Fahrt fand am Morgen des 7. November 1896 statt. Der Ballon Akademie, mit 1300 cbm Leuchtgas gefüllt, trug ein 200 m langes Schlepptau, das vor der Abfahrt auf der Erde ausgebreitet lag. Der abgewogene, bemannte Ballon wurde dem Gewicht des Schlepptaus entsprechend um 4 Sack Ballast (à 12 kg) erleichtert und erhob sich um 9^h 50 bei völlig bedecktem Himmel und beinahe völliger Windstille rasch in die Lüfte. Vom Schlepptau lagen nur noch wenige Meter auf der Erde, da stockte plötzlich der weitere Aufstieg des Ballons, der im gleichen Augenblicke mit grosser Geschwindigkeit nach Osten davontrieb, das Ende des Schlepptaus auf der Erde nach sich ziehend. In wenigen Minuten waren drei Sack Ballast (36 kg) ausgegeben und noch immer haftete das Schlepptau auf der Erde. Erst ein weiterer halber Sack Ballast löste den Ballon von der Erde los. Ueber die Hemmungsursache des Auftriebs konnten wir nicht lange im Unklaren sein, fühlten wir uns doch plötzlich in eine ungleich wärmere Luftschicht versetzt, die infolge ihres geringeren specifischen Gewichts den

1) Helmholtz, l. c.

Auftrieb des Ballons verminderte. Die Lufttemperatur, die bei der Abfahrt $2,7^{\circ}$ betrug, ergab sich in 400 m über der Erde zu $9,2^{\circ}$. Wir gehen kaum fehl, wenn wir den raschen Temperatursprung von $2,7$ auf $9,2^{\circ}$ aus dem Verhalten des Schlepptaus zu schliessen bei 200 m über der Erde annehmen, denn die Luftströmung, in die wir eingedrungen waren, ergab sich im weiteren Verlauf der Fahrt bis 1300 m Höhe als vollständig isotherm. Dazu kommt noch, dass in München durch die meteorologische Centralstation folgende Temperaturen beobachtet wurden:

8 ^h a	3,9 ^o
10 a	4,7
12 a	12,3
4 p	11,1
8 p	9,1.

Im Laufe des Vormittags fand also ein plötzlicher Temperaturwechsel statt. Nehmen wir an, dass sich die Luftschicht von $9,2^{\circ}$ aus 200 m Höhe zur Erde gesenkt hätte, so ergiebt sich ihre potentielle Temperatur, d. h. die Temperatur, die sie durch adiabatische Compression erhält, zu $11,2^{\circ}$, was den oben erwähnten raschen Temperaturwechsel auch quantitativ erklärt. Die Geschwindigkeit dieser warmen Luftströmung ergab sich durch Ausmessung der Fahrcurve des Ballons zu 12,5 m pro Secunde, ihre Richtung genau von Westen nach Osten. Halten wir also fest: Eine Luftströmung von $9,2^{\circ}$, die mit 12,5 m pro Secunde in Richtung W-O über eine ruhende Luftschicht von $2,7^{\circ}$ dahinstreicht.

Vom Morgen des 7. November meldeten fast sämtliche meteorologische Beobachtungsstationen Bayerns Nebel, die Centralstation München speciell: Früh starker Nebel. Als der Ballon 9^h 50 in dem unmittelbar vor der Stadt gelegenen Oberwiesenfeld aufstieg, hatten wir nebelfreie Luft über uns. Als wir aber 17 Minuten rasch dahingefahren waren und 10^h 7 von Aschheim aus in einer Höhe von 550 m über der Erde nach München zurückblickten, sahen wir München und Umgebung von einer grossen Nebelhaube bedeckt. Der Nebel bildete ungefähr ein Quadrat mit stark abgerundeten Ecken; die Seiten desselben gingen parallel, desgleichen senkrecht zur Fahrriichtung. Die Längenausdehnung dieser Nebelmasse in

Richtung W-O, die der Ballon einschlug, ergab sich durch Vergleich mit der Karte zu ca. 7,5 km. Diese Nebelmasse nun zeigte keine homogene Structur, sondern der Nebel hatte sich, sit venia verbo, zu ungeheuren Nebelwürsten zusammengeballt. Diese riesigen Nebelrollen lagen alle in gleichen Abständen auf der Erde, genau in Richtung S-N, also senkrecht zur Fahr- bez. Windrichtung. Wir zählten 15 solcher Rollen. Der dichte Nebel dieser Rollen entzog das von jeder Rolle bedeckte Terrain unseren Blicken vollständig; zwischen diesen liegenden Nebelcylindern hindurch war die Erde deutlich sichtbar. Den Verticaldurchmesser dieser Rollen genau festzustellen war nicht möglich; augenscheinlich aber waren die mittleren Rollen dicker als die äusseren. Denn die 100 m hohen Frauenthürme waren vom Nebel vollständig bedeckt und unsichtbar, während eine äussere Nebelrolle, über die Kirche von Giesing gelagert, deren in ungefähr gleicher Höhe befindliche Kirchthurmspitze frei liess. Wahrscheinlich ragte der Nebel nicht bis zu 200 m empor, da in dieser Höhe bereits eine sehr beträchtlich wärmere Luft angetroffen wurde. Die obere Grenze des Nebels war also sicher über 100, wahrscheinlich unter 200 m gelegen. Sehr genau bestimmbar aber war der gegenseitige Abstand der Nebelrollen. Derselbe betrug, da wir 15 Rollen auf 7,5 km Erstreckung zählten, 540 m.

Diese Structur der Nebelmasse spricht aufs Ueberzeugendste dafür, dass wir es hier mit einer Erscheinung zu thun haben, die mit den Helmholtz'schen Luftwogen in unmittelbarem Zusammenhange steht. Waren doch an diesem Morgen alle Bedingungen zum Zustandekommen dieser Wogen gegeben. Ueber der Erde eine ruhende, kalte Luftschicht, in 200 m Höhe darüber hinwegstreichend, genau in Richtung W-O ein rascher, warmer Luftstrom. Noch überzeugender wird der Zusammenhang, wenn wir die Wellenlänge der unter solchen Umständen möglichen Luftwogen berechnen. Helmholtz¹⁾ giebt folgendes Zahlenbeispiel. Gegeben ein Luftstrom, der mit 10 m Geschwindigkeit pro Secunde über einen 10° kälteren Luftstrom hinwegstreicht. Es sind dann Wellen möglich, deren Wellenlänge 550 m beträgt. Die in unserem Falle be-

1) Helmholtz, l. c.

obachtete Temperaturdifferenz betrug $9,2^{\circ} - 2,7^{\circ} = 6,5^{\circ}$, die mittlere Fahrgeschwindigkeit war ca. 12,5 m pro Secunde, die untere Luftschicht ruhend, also Temperatur- und Geschwindigkeitsdifferenzen ähnlich wie in dem Helmholtz'schen Beispiele, und der beobachtete Abstand der Nebelrollen wurden zu 540 m gemessen, also eine Uebereinstimmung, wie sie vollständiger nicht verlangt werden kann.

Wie sich der Process dieser Nebelrollenbildung im Speciellen abgespielt hat, lässt sich nicht verfolgen. Haben diese Nebelrollen erst die Wellenberge der unteren Luftschicht gekrönt und sind dann wieder in die Tiefe zurückgesunken? Oder haben die warmen Wellenthäler der oberen Luftschicht auflösend auf eine homogen auf der Erde ausgebreitete Nebelschicht gewirkt? Oder hat, da die Trennungsfläche der beiden Luftschichten nur 200 m über der Erde lag (eine bedeutend kleinere Distanz als die Wellenlänge von 540 m), die Wellenbewegung rein mechanisch in die Tiefe gewirkt und die Structurbildung bewirkt? Um dies zu entscheiden müsste die Wellenhöhe bekannt sein, die sich nicht rechnerisch bestimmen lässt, sondern in jedem Falle durch Beobachtung bestimmt werden muss, was in diesem Falle nicht möglich war. Ob solche Beobachtungen mit genügender Genauigkeit sich anstellen lassen, muss die Zukunft lehren. Mit Befriedigung aber können wir darauf zurückblicken, dass wir hier zum ersten Male eine Erscheinungsform der Helmholtz'schen Luftwogen wenigstens in Bezug auf die in erster Linie maassgebende Grösse, die Wellenlänge, messend verfolgen und Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Theorie constatiren konnten.

(Eingegangen 23. Juli 1897.)