

Erlebnisse und Ergebnisse von Ballonhochfahrten.¹⁾

Von Professor Dr. R. SÜRING.

(Hierzu Tafel I.)

Im vorhergehenden Jahre wurde in dieser Gesellschaft von berufenster Seite, von Herrn Geheimrat ASSMANN-Berlin, ein Vortrag gehalten über den Stand der modernen wissenschaftlichen Luftschiffahrt. In Ergänzung hierzu werde ich mein Thema etwas persönlicher und spezieller fassen. Den Kernpunkt meines Vortrages bilden Ballonhochfahrten, und ich muß daher zunächst diesen Ausdruck etwas erklären.

Ähnlich wie unter den Alpenfreunden die Hochtouristen eine besondere Gruppe bilden, kann man auch Ballonhochtouren von den üblichen Luftfahrten absondern, aber entsprechend der Mühelosigkeit, mit der man im Ballon Höhen erreicht, rückt auch die Grenze dessen, was man in der Luftschiffahrt Hochtouren nennt, höher hinauf als im Gebirge. Während man in den Alpen vielfach schon den einen Hochtouristen nennt, welcher die Grenze des ewigen Schnees oder einen Berg von 3000 m erreicht hat, beginnt man in der Aëronautik erst dann von Hochfahrten zu sprechen, wenn sie das Doppelte, also etwa 5—6000 m übertreffen. Es ist dies keine willkürliche Zahl, sondern die Natur selbst zieht hier — sowohl in physiologischer wie in physikalischer Hinsicht — eine ziemlich deutliche, wenn auch natürlich nicht scharf festgelegte und in jedem einzelnen Fall gültige Grenze. Ungefähr in dieser Region wird auch ein widerstandsfähiger Körper in seiner Leistungsfähigkeit beschränkt, wenn nicht künstliche Hilfsmittel dagegen angewendet werden; infolge der Luftverdünnung stellen sich besonders Störungen des Atmungsmechanismus ein. Für die Meteorologie liegt in dieser Höhe insofern eine Grenze, als unter 5000 m in den weitaus meisten Fällen alle diejenigen atmosphärischen Vorgänge sich abspielen, welche mit der Beschaffenheit der Erdoberfläche in Beziehung stehen: aufsteigende Luftströmungen und deren Wolkenbildungen, Unterschied von Wasser und Land, Gebirge und Ebene u. dergl., also alle sekundären und tertiären Störungen des Witterungsverlaufes, während über 6000 m der große Kreislauf der Atmosphäre mit seinen in unsern Breiten so wichtigen Schicht- und Wirbelbildungen sich zeigt, welcher, abgesehen von Wolkenmessungen, nur durch aëronautische Hilfsmittel zu erforschen ist.

Dieser zwiefachen Bedeutung der Höhen über 5—6000 m liegt auch die Zweiteilung meines Vortrages zu Grunde. Als Laie in medizinischen

1) Vortrag, gehalten in der Sitzung am 3. Januar 1902 zur Feier des 159jährigen Bestehens der Naturforschenden Gesellschaft zu Danzig.

Dingen teile ich über die physiologische Wirkung der Höhe größtenteils nur persönlich Erlebtes mit und im Anschlusse daran kurz das, was Fachleute daraus geschlossen haben. Unter den Ergebnissen versuche ich das Wichtigste der Beiträge zusammenzufassen, welche meine engeren Fachgenossen für die Physik der Atmosphäre geliefert haben. Ich würde die persönlichen Erlebnisse nicht so in den Vordergrund gestellt haben, wenn es nicht meinem Kollegen BERSON und mir vergönnt gewesen wäre, am 31. Juli 1901 eine Ballonfahrt bis auf 10 800 m zu unternehmen, also bis zu einer Höhe, welche um etwa 1500 m jene Grenze übertrifft, welche bisher von Menschen erreicht war. Die Vorkommnisse bei dieser Fahrt haben daher einiges Interesse erregt. Ich bemerke vorweg, daß ich mich bemühen werde, eine nach bestem Wissen möglichst korrekte, also vielleicht etwas nüchterne Beschreibung dieses Aufstieges zu geben, denn nur aus solcher einfachen Schilderung lassen sich wissenschaftliche Schlüsse ziehen und damit ältere, falsche Vorstellungen beseitigen.

Gerade über Ballonhochfahrten sind so viele, teils bewußt, teils unabsichtlich verbreitete Irrtümer vorhanden, daß ich bei meiner Schilderung etwas weiter zurückgreifen muß. Es liegt ja die Versuchung nahe, über das, was Andere nicht leicht kontrollieren können, also in diesem Falle über die Erlebnisse in sehr großen Höhen, phantastisch und übertrieben zu berichten, aber es ist dies vor nahezu 100 Jahren leider so ausgiebig geschehen, daß die Märchen, welche die Aëronauten damals ihren Zeitgenossen aufgebunden haben, sich noch heute in dem Wissensschatze fast eines Jeden, der etwas von Luftschiffahrt gehört hat, finden. Dahin gehört vor allem die Sage, daß den Luftschiffern in großen Höhen Blut aus Nasen und Ohren, wohl gar aus den Augen träte. Ungefähr das Gegenteil ist der Fall. Eines der ersten sichtbaren Zeichen der Höhenkrankheit, die nur eine Abart oder Steigerung der Bergkrankheit ist, sind der blasse, wachsfarbene Gesichtsausdruck und die bleichen Lippen; dies steigert sich zur Leichenfarbe, d. h. die Bleichsucht geht über in Blausucht. Trotz der allgemeinen Verbreitung dieser Geschichte vom Blutaustritt habe ich nur einen Luftschiffer gefunden, der dafür verantwortlich zu machen ist. Das ist ROBERTSON, der in den Jahren 1804 bis 1807 in verschiedenen größeren Städten Aufstiege machte und so fabelhafte Geschichten herunterbrachte, — z. B. behauptete er, sein Kopf sei ihm so stark angeschwollen, daß er seinen Hut nicht habe aufsetzen können — daß die Gelehrten der damaligen Zeit sofort seine Glaubwürdigkeit anzweifelten. Da er aber die Reklame mit einer geradezu modernen Virtuosität handhabte, so ist es offenbar nur den Zeitungen und Journalen zu verdanken, daß sich seine Geschichten länger als sein Name erhalten haben.

Im Laufe des vorigen Jahrhunderts sind aber auch zahlreiche sorgfältig vorbereitete, streng wissenschaftliche Fahrten ausgeführt, von denen hier nur zwei erwähnt werden sollen, die eine, weil bei ihr die Maximalhöhe meist um 2000 m zu hoch angegeben wird, die zweite, weil sie infolge eines falschen

Experiments ein tragisches Ende fand und so eine richtige Theorie der Höhenkrankheit um etwa 20 Jahre in ihrer Anerkennung zurückhielt.

In den sechziger Jahren wurden 28 wissenschaftliche Ballonfahrten durch die Engländer GLAISHER und COXWELL ausgeführt. Dabei wurde auch versucht, so hoch wie möglich vorzudringen, und es gelang GLAISHER im September 1862 noch in 8500 m Höhe eine Ablesung seiner Instrumente vorzunehmen. Unmittelbar darauf fiel er infolge der dünnen Luft in Ohnmacht, sein Ballonführer COXWELL wollte Ventil ziehen, jedoch seine beiden Hände waren erfroren. Er ergriff die Ventilleine mit den Zähnen, und es gelang ihm, den Ballon zum Abstieg zu zwingen. GLAISHER erwachte bald und nahm sofort seine Beobachtungen wieder auf. Aus der Fallgeschwindigkeit des Ballons beim Wieder-Erwachen und aus der Angabe eines Minimumthermometers berechnete GLAISHER die Maximalhöhe seiner Fahrt zu 11300 m. Wäre diese Angabe richtig, dann wären GLAISHER und COXWELL diejenigen, welche am höchsten in die Atmosphäre emporgedrungen wären. Aber schon seit ca. 15 Jahren hat man diese Höhenberechnung angezweifelt — nicht etwa, weil man sie für absichtlich übertrieben hielt, sondern weil falsche Voraussetzungen, die bei den damaligen geringeren aeronautischen Kenntnissen ganz begreiflich waren, zu Grunde gelegt worden sind — und man nimmt jetzt allgemein an, daß GLAISHER höchstens 9000 m erreicht hat.

Die zweite der hier zu erwähnenden Fahrten ist die von TISSANDIER, SIVEL und CROCÉ-SPINELLI am 15. April 1875. Trotzdem nur etwa 8000 m erreicht wurden, und trotzdem zur künstlichen Atmung Sauerstoff mitgenommen wurde, büßten zwei der Teilnehmer ihr Leben unter Erstickungserscheinungen ein. Über 7000 m trat bei Allen größere Erschlaffung ein; von Zeit zu Zeit erwachte Einer aus der schlafähnlichen Betäubung, und in einem solchen lichten Augenblick, als der Ballon schon im Abstieg war, warf CROCÉ-SPINELLI, da ihm der Fall zu schnell dünkte, Alles was in seiner Nähe war — Sandsäcke, Instrumente, Decken — über Bord. Der Ballon ging rapide in die Höhe, alle Teilnehmer fielen in Ohnmacht, aus der beim Abstieg nur TISSANDIER erwachte; seine Begleiter lagen mit blauschwarzem Gesicht leblos im Korbe. Der Sauerstoff bei dieser Fahrt war mitgenommen auf Grund der Empfehlungen des Pariser Physiologen PAUL BERT, welcher in dem Sauerstoffmangel der höheren Luftschichten die alleinige Ursache für die hier eintretenden Beschwerden sah. Der Mißerfolg sprach natürlich gegen die Sauerstoff-Theorie, und doch kann jetzt als erwiesen gelten, daß nur die unzweckmäßige Anordnung oder vielleicht auch Anwendung der Sauerstoffatmung der Grund für die Katastrophe war.

Nach etwa dreißigjähriger Pause gelangten Ballonhochfahrten erst dann wieder in ein neues Stadium, als in Berlin durch Geheimrat ASSMANN wissenschaftliche Aufstiege ins Leben gerufen wurden, deren Ausführung durch die reiche Unterstützung und das lebhafte persönliche Interesse Seiner Majestät des deutschen Kaisers in besonders großartiger Weise ermöglicht war. Dabei

wurden Höhen bis zu 9150 m erreicht. Damit war die Atmosphäre bis hinauf in die Region der Cirruswolken erforscht, aber die interessanten Einblicke, welche man hierbei in die Natur der obern Luftschichten erhielt, erzeugten nur die Begierde nach weiteren Aufschlüssen.

Wie hoch man mit einem Ballon kommt, darf man nicht einfach als eine sportliche, auch nicht als eine persönliche Leistung auffassen, sondern das ist eigentlich eine Geldfrage und hängt zunächst ab von der Größe des Ballons. Bisher hatte man, wenigstens bei uns, alle Ballons voll ausgenutzt; man kam eben nicht höher, weil der Ballon nicht höher steigen konnte. Der Mensch war noch nicht an die Grenze seiner Leistungsfähigkeit gelangt, denn BERSON hatte sich in 9150 m noch leidlich wohl, wenigstens noch genügend arbeitsfähig erwiesen. Im Jahre 1901 kam nun das preußische meteorologische Institut durch Schenkung des Baumeisters ENDERS in Potsdam in den Besitz eines Ballons, der einen siebenmal so großen Inhalt wie die üblichen Militärballons, einen mehr als dreimal so großen Inhalt wie die größten bisher von uns benutzten Ballons hat¹⁾. Damit konnte bei Wasserstoff-Füllung eine Höhe von mindestens 12000 m erreicht werden; das sind etwa 3000 m mehr, als bisher möglich war, also ein recht weites, neues Forschungsgebiet, das die Aufwendung bedeutender Mittel wohl lohnte. Es war von vornherein zweifelhaft, ob der Mensch noch $\frac{1}{3}$ mehr an Höhe leisten könne als bisher; es war sogar wahrscheinlich, daß diesmal die Rückkehr zur Erde notwendig würde, nicht weil der Ballon, sondern weil der Mensch nicht höher kommen könne. Es galt also den Kampf mit der Natur bis auf das Äußerste zu treiben, und in dem Bewußtsein dieses Kampfes liegt zum großen Teil das Interesse gegründet, welches der letzten Hochfahrt von BERSON und mir in so weiten Kreisen entgegengebracht wurde. Eine kurze Schilderung dieser Fahrt soll im folgenden gegeben werden.

Ich übergehe die vielfachen, zeitraubenden Vorarbeiten und Vorbereitungen. Alles konnte sehr gründlich und ohne ängstliche pekuniäre Beschränkung ausgeführt werden, denn der deutsche Kaiser hatte wieder sehr reichliche Geldmittel für diesen Zweck zur Verfügung gestellt. Vor Allem galt es, noch einmal zu untersuchen, welchen Gefahren man in der Höhe ausgesetzt ist, und wie man ihnen am besten begegnet. Daher wurde durch den Wiener Physiologen Dr. HERMANN VON SCHRÖTTER im Laboratorium unter der Luftpumpe der Einfluß verdünnter Luft an uns experimentell festgestellt, und die Versuche wurden dann im Ballon bei einer Probefahrt bis zu 7500 m Höhe von uns wiederholt. Mitte Juli war Alles zur Hauptfahrt bereit, aber die Ausführung mußte wegen der Ungunst der Witterung bis zum 31. Juli verschoben werden.

¹⁾ Der Ballon hat einen Inhalt von 8400 cbm, das entspricht einem Durchmesser von 25 m. Vom obern Ventil bis zum Boden der Gondel hat das Luftschiff eine Höhe von ungefähr 40 m. Voll gefüllt mit Wasserstoff trägt es außer seiner eigenen Last von 3000 kg noch 7000 kg, d. h. es kann ca. 100 Mann à 70 kg, also eine ganze Kompanie Soldaten, bequem in die Höhe heben.

Auch dann war das Wetter noch so zweifelhaft, daß erst am selben Tage um 6 Uhr Morgens von uns die Fahrt beschlossen wurde. Die Füllung und Montierung des Riesenballons hatte das Militär-Luftschiifer-Bataillon übernommen und führte diese Arbeit in der fabelhaft kurzen Zeit von $4\frac{1}{2}$ Stunden aus. Für das Bataillon war dies jedenfalls eine ganz wertvolle Übung, zu der nicht nur die ganze Truppe und sämtliche Fahrzeuge, sondern noch Hilfsmannschaften vom Eisenbahn-Regiment erforderlich waren; für uns aber war diese Hilfe eine Notwendigkeit, und das Gelingen der Fahrt verdanken wir daher zum nicht geringen Teile dem Entgegenkommen und der Geschicklichkeit des Luftschiifer-Bataillons. Obgleich wir uns um die Füllung des Ballons garnicht zu kümmern brauchten, fanden wir während der Vorbereitungen doch nicht viel Ruhe, und so stiegen wir denn bereits etwas ermüdet kurz vor 11 Uhr vormittags auf. Es war ein heißer, ruhiger Sommertag; der Ballon stieg nahezu senkrecht in die Höhe.

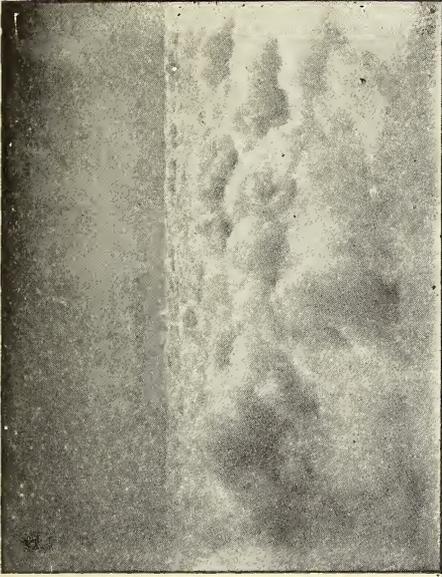
In 5000 m Höhe, die in 40 Minuten erreicht waren, begann die ernste Arbeit. Die Temperatur, welche unten 25° C betrug, war auf -7° gesunken; es wurde Zeit, daß man sich auf die großen Höhen vorbereitete. Die Pelze (schwere Renntierpelze, wie sie für die Südpolar-Expedition hergestellt sind) wurden hervorgeholt; in die Taschen und in die weiten Filzschuhe wurden Thermophorkörper gesteckt, welche stundenlang eine Temperatur von 30 bis 40° behalten; die Atmungsschläuche wurden klar gemacht. Die künstliche Atmung geschieht einfach dadurch, daß man aus einer Stahlflasche mit reinem, auf 100 Atmosphären komprimiertem Sauerstoff durch ein Reduktionsventil und Gummischläuche den Sauerstoff langsam in den Mund einströmen läßt. Das in die Lungen eintretende Luftgemisch kann man durch Stellung der Hähne beliebig regulieren. In 6000 m Höhe, wo das Thermometer auf -12° gesunken war, war das Befinden noch immer tadellos, aber es stellte sich schon etwas Schläfrigkeit ein. Der Ballon bewegte sich hier in horizontaler Richtung abnorm langsam; Berlin schien noch immer fast direkt unter uns zu liegen. Die Luft war sehr rein und durchsichtig. Sehr kleine Haufenwolken hinderten den Blick nach unten kaum, so daß man dort die Landschaft genau erkennen und sich orientieren konnte, aber am Horizont schoben sich diese Wölkchen zu dichten Bänken zusammen, so daß man trotz der klaren Luft keine weite Fernsicht hatte. Gerade dies hätte vielleicht erfrischend und belebend gewirkt, denn ein Rundblick aus großen Höhen ist überwältigend. Aus 10 000 m Höhe kann man theoretisch ein Gebiet von der Größe des Königreichs Preußen (ca. 400 000 qkm) überblicken.

Um $2\frac{3}{4}$ Uhr — 4 Stunden nach dem Aufstieg — bei 9000 m und -30° hatten wir das stolze Bewußtsein, höher als alle Erhebungen der Erde zu sein, aber es machte wenig Eindruck. Schematisch wurde das vorgeschriebene Arbeitspensum erledigt; zur Unterhaltung spürte keiner von uns Lust; es war auch schwer, sich bei den über die Ohren gezogenen Pelzkappen verständlich zu machen. Eine Verschlechterung des Befindens war noch immer nicht fest-

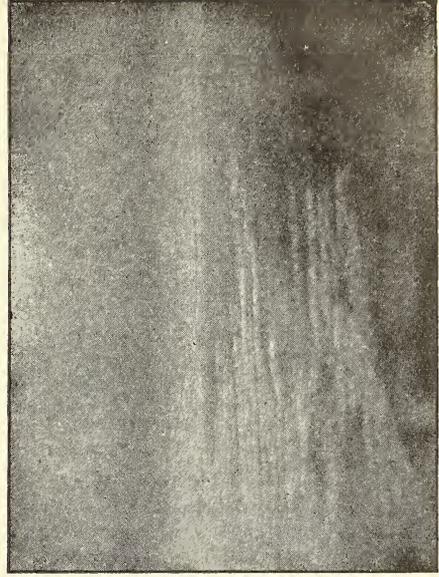
zustellen, aber es wurde immer schwerer, die Müdigkeit zu bekämpfen. Mir fielen sogar einmal die Augen zu, aber, wieder aufgewacht, fühlte ich mich vollkommen frisch, und wir führten zwischen 9000 und 10000 m in Abständen von ca. 6 Minuten noch vier Beobachtungsreihen aus. Die Temperatur betrug hier zwischen 30 und 40° Kälte. Ein anscheinend nebensächlicher Umstand beförderte nun vielleicht die Abnahme unserer Kräfte: das registrierende Barometer, welches uns die Höhe des Ballons durch den Luftdruck selbstständig anzeigte, war eingefroren, sowohl das Uhrwerk wie die Dinte. BERSON bemühte sich — wie vorauszusehen war vergebens —, die Apparate wieder in Ordnung zu bringen; ich hatte in der Zwischenzeit nichts zu tun; meine Müdigkeit wurde daher wieder größer. Nachdem diese Versuche aufgegeben waren, machten wir noch eine gemeinschaftliche Ablesung in 10230 m Höhe. Bemerkenswert — weil abweichend von früheren Erfahrungen — ist die Sicherheit, man kann fast sagen Mühelosigkeit, mit welcher diese Beobachtung ausgeführt werden konnte. Die meisten Berichte von früher stimmen darin überein, daß Körper und Geist dem Willen nicht mehr ganz gehorchten. Die Ablesungen waren schwer durchführbar, dem Beobachter wurde zeitweise schwarz vor den Augen, und mit nahezu unleserlicher Schrift kritzelte er schließlich seine Aufzeichnungen an irgend eine ganz falsche Stelle seines Beobachtungsformulars. Nichts von alledem bei dieser um mehr als 1000 m höheren Ablesung, als früher möglich gewesen war. Die Einstellung und Beobachtung des Quecksilberbarometers, welche eine ganz ruhige und etwas unbequeme Stellung verlangte, war exakt durchführbar; der Stand der Thermometer, welcher durch ein astronomisches Fernrohr, also mit umgekehrtem Bilde, abgelesen wurde, war klar erkennbar, und das Beobachtungsprotokoll konnte von mir mit größerer Sauberkeit geführt werden als bei mancher anderen Fahrt. Der Grund für das Wohlbefinden waren offenbar die konsequent durchgeführte Sauerstoff-Atmung und der gute Schutz gegen die Kälte; man kam infolge dessen garnicht erst in den Zustand von Atemnot und Schwäche, man hatte garnicht das so gefährlich abstumpfende Kältegefühl. Kein Wunder, daß man glaubte, noch viel mehr ertragen zu können! Und doch befand sich der Körper nicht mehr im normalen Gleichgewicht.

Über 10250 m Höhe werden plötzlich die bis dahin so deutlich in der Erinnerung haftenden Vorgänge unklar; die Erinnerungen sind infolge dessen bei uns beiden scheinbar etwas abweichend. Zweifellos fest steht, daß BERSON das Ventil zog und dadurch den Ballon zum Fallen brachte. Kurz vorher hatte er mit schnellem Blick am Barometer einen Luftdruck von 202 mm — das entspricht einer Höhe von 10500 m — abgelesen. Diese Höhe ist somit sicher festgestellt. Naturgemäß hat das Ventilziehen nicht sofort gewirkt, um so weniger, weil unmittelbar vorher Ballast geworfen war. Der Ballon ist also noch gestiegen — wir nehmen aus verschiedenen Gründen an bis zu etwa 10800 m —, aber das ist eben nur eine Schätzung, keine Tatsache. BERSON zog das Ventil, weil er auf Anruf und Schütteln von mir keine Antwort

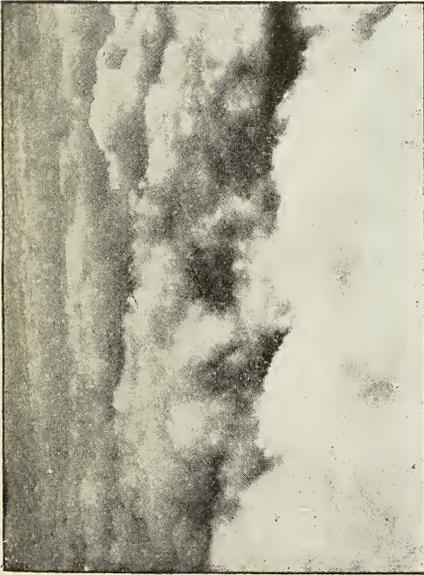
erhielt und daher eine Katastrophe befürchtete; das Ventilziehen verbrauchte aber den Rest seiner Kräfte, er brach erschöpft zusammen und fiel in eine lange, schwere Ohnmacht. Meine Erinnerungen besagen, daß ich meinen Kollegen anscheinend schlafend in sitzender Stellung vorfand, als ich — anscheinend noch ganz frisch — mich nach ihm umsah, um zu einer neuen Beobachtungsreihe aufzufordern. Schütteln war vergeblich; auch als ich ihm meinen Atmungsschlauch in den Mund steckte, um ihm mehr Sauerstoff zuzuführen, blieb er regungslos. Ich wollte daher das Ventil ziehen, dessen Leine für mich ziemlich schwer zu erreichen war, mußte aber wieder umkehren, um zunächst meinen bei BERSON zurückgelassenen Atmungsschlauch zu holen. Mit der noch ganz deutlichen Erinnerung, daß die Kräfte rapide abnehmen, ergriff ich auch noch den Schlauch, aber dann schwand das Bewußtsein. Ob das vor oder nach BERSON's Ventilziehen war, ist ziemlich nebensächlich; jedenfalls waren wir schließlich beide ohnmächtig. Indessen fiel der Ballon, und ziemlich gleichzeitig, aber erst nach einer halben bis dreiviertel Stunde, erwachten wir in ca. 6000 m Höhe aus der Ohnmacht, bzw. dem daran sich anschließenden Schläfe. Jetzt war das Befinden ein ganz anderes als vorher: Nichts von anscheinender Frische, sondern zunächst Atemnot und Angstgefühl, die allerdings nach starker Sauerstoffatmung bald wieder verschwanden, dann aber eine bleierne Müdigkeit, Kopfschmerzen und Schläffheit, eine Art Seekrankheit oder richtiger Luftkrankheit, die auch ihren Tribut verlangte. Es kostete eine sehr bedeutende Überwindung, jetzt die notwendigsten Arbeiten zu tun, also vor allem den übermäßig schnellen Absturz des Ballons durch Sandwerfen zu verlangsamen, sich selbst aus den Pelzen herauszuwickeln, die Instrumente zu verpacken u. dgl. Aber alles gelang; wir bekamen den Ballon vollkommen in unsere Gewalt und fuhren noch etwa zwei Stunden, bis der Ballon ganz sanft auf ein abgeerntetes Feld aufsetzte. Wo wir waren, wußten wir vor der Landung nicht. Bis fast zu den größten Höhen hatten wir unsern Weg ziemlich genau verfolgt; wir waren durchschnittlich nach S bis SSW gefahren und mußten, wenn wir diese Richtung beibehielten, etwa bei Wittenberg über die Elbe kommen. Als wir aus der Ohnmacht erwachten, sahen wir eine ganz veränderte Landschaft; viel Wasser, besonders Seen waren zu erblicken, aber wir suchten vergebens die Elbe. Wie sich nachher herausstellte, waren wir, im Gegensatz zu der schwachen Luftströmung bis 8000 m, darüber plötzlich in einen stürmischen Westwind geraten, der uns in einer Stunde etwa 100 km nach Ost versetzte. In ganz sicherer Weise läßt sich dies durch die zu gleicher Zeit am Potsdamer Observatorium angestellten Messungen von Höhe und Geschwindigkeit der Cirruswolken kontrollieren, denn bei 10 000 m Höhe notierten wir, daß wir uns in annähernd gleicher Höhe mit den Cirruswolken befanden. Wir gelangten infolge dieser Richtungsänderung der oberen Luftströmungen also nicht an die Elbe, sondern nach dem Spreewald, und landeten bei Briesen unweit von Kottbus. Hilfe zum Verpacken des Riesenballons war sofort zur Stelle, aber unsere Kräfte reichten für diese mühselige und lang-



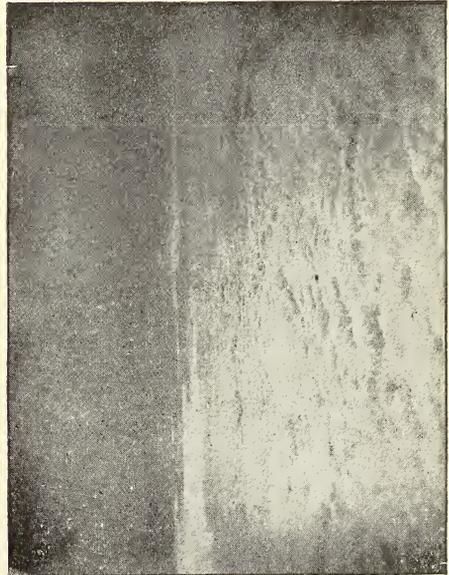
No. 2. Oberfläche von Haufenwolken. (2000 m.)



No. 4. Wolkenwogen. Höhe: 1250 m.



No. 1. Wolken-Oberfläche, Höhe 2000 m.



No. 3. Wolkenmeer aus 6000 m Höhe.

wierige Arbeit doch nicht mehr aus. Um so mehr wußten wir die herzliche und unermüdlich sorgsame Pflege im Hause des Herrn Pastor BOLTE in Briesen zu würdigen. Dank dieser freundlichen Aufnahme fühlten wir beide uns am nächsten Tage wieder vollkommen frisch, sodaß das Verpacken und Verladen des Ballons verhältnismäßig schnell von statten ging.

Ich gehe nun dazu über, einiges von den Ergebnissen der Ballonhochfahrten mitzuteilen. In erster Linie interessierten sich die Physiologen für unsere Hochfahrt, wo die Leistungsfähigkeit des Körpers bis aufs Äußerste angespannt wurde. Das Wesen der Höhenkrankheit mußte sich hier besonders rein zeigen, da bei Experimenten im Gebirge meist die körperliche Anstrengung des Bergsteigens als störendes Moment hinzukommt. Unsere Aufzeichnungen über die physiologische Wirkung der Höhenluft sind — wenigstens für weitere Kreise — insofern überraschend gewesen, als sie in ihrer Gesamtheit ergaben, daß alle diejenigen Erscheinungen, welche man meist als typisch für die Höhenkrankheit ansah: Atemnot und Herzbeschwerden, im Ballon bei künstlicher Atmung verschwanden, während das, was man in erster Linie auf die Anstrengung beim Bergsteigen schob, nämlich die allgemeine Erschlaffung, zwar auch im Ballon zunächst durch Sauerstoffatmung gehoben wurde, in den größten Höhen aber als wesentlichste, vielleicht einzige Krankheitserscheinung bestehen blieb. Während durch Luftverdünnung bei Sauerstoff-Atmung Pulsfrequenz, Blutdruck, Tiefe der Atmung u. dgl. nicht erheblich beeinflußt werden, tritt immer ein sich stetig steigender Mangel an Energie ein. Die Erfahrungen bei Ballonhochfahrten haben sicherlich dazu beigetragen, eine große Zahl von Theorien über die Ursachen der Bergkrankheit zu beseitigen. Insbesondere gilt dies von den sogenannten mechanischen Theorien, welche als Krankheitsursache die großen Druckdifferenzen innerhalb und außerhalb des Körpers oder veränderte Lungenstellung oder geänderte Blutverteilung u. dgl. annehmen. Dagegen erscheint die Anschauung von PAUL BERT, wonach für das Verhalten des Organismus bei Luftverdünnung nur die Spannung des Sauerstoffs entscheidend ist, nunmehr völlig bestätigt. Der Sauerstoff ist also der wesentliche pathologische Faktor der Höhenkrankheit. Mit zunehmender Höhe nimmt — nach den Untersuchungen von SCHRÖTTER'S — die Dauer der günstigen Wirkung des Gases ab. Die Atmung wird flacher, die Anreicherung der Lungen mit Sauerstoff hält weniger lange vor, ihre Wirkung wird durch Muskelarbeit, welche sich eben doch nicht ganz vermeiden läßt, schneller vernichtet als unten¹⁾.

¹⁾ Zur weiteren Orientierung über diese Frage dürften vor allem folgende beiden Abhandlungen geeignet sein:

HERMANN VON SCHRÖTTER. Zur Kenntnis der Wirkung bedeutender Luftverdünnung auf den menschlichen Organismus. Sonderabdruck aus: Die medizinische Woche, No. 38. 1901.

H. VON SCHRÖTTER und N. ZUNTZ. Ergebnisse zweier Ballonfahrten zu physiologischen Zwecken. PFLÜGER'S Archiv für Physiologie. Band 92. S. 479. 1902.

Es ist nun von Physiologen die Frage aufgeworfen, weshalb wir denn trotz genügenden Sauerstoff-Vorrates ohnmächtig geworden sind, und es ist darauf geantwortet: Weil wir nicht gezwungen waren, Sauerstoff zu atmen, sondern nach Belieben die Atmung aussetzen konnten. Dies würde also zu dem Schlusse führen, daß man bei gesteigerter, kontinuierlicher Sauerstoffzufuhr noch höher steigen könnte. Es ist das vielleicht richtig, hat aber doch wohl mehr theoretisches als praktisches Interesse, denn von dem Augenblicke an, wo man nicht mehr die Kraft und die Fähigkeit hat, seine Atmung selbst zu regulieren, ist man nicht im stande, eine einwurfsfreie wissenschaftliche Beobachtung zu machen, und dann ist, wenigstens für meteorologische Forschungen, der unbemannte, nur mit Registrier-Instrumenten versehene Ballon dem Menschen überlegen.

Vom meteorologischen Standpunkte aus betrachtet, hat diese Hochfahrt, von der ich berichtete, keine unmittelbar unerwarteten Resultate ergeben; sie ist vielmehr nur als ein Glied in der systematisch entwickelten Kette von wissenschaftlichen Ballonfahrten zu betrachten und hat wie jede andere Fahrt nur einige Bausteine zu der Erforschung der Atmosphäre geliefert. Sie hatte vor allem instrumentelle Bedeutung dadurch, daß sie zur Kontrolle der Apparate in den gleichzeitig aufgelassenen unbemannten Ballons diente. Die Registrierinstrumente der letzteren arbeiten in großen Höhen häufig unzuverlässig; erstens, weil die Elastizität der Metalle bei sehr niedrigen Temperaturen zuweilen plötzliche Veränderungen erfährt, und zweitens, weil die in der dünnen Luft sich steigende Intensität der Sonnenstrahlung die Instrumente über die Lufttemperatur erwärmt, falls nicht für eine sehr ausgiebige Lüfterneuerung gesorgt ist. Die Thermometer wirken dann gleichzeitig als Strahlungsmesser, geben also zu hohe Temperaturen an. Den unausgesetzten Bemühungen, diese Instrumente zu verbessern, wobei sich vor allem Professor ASSMANN Verdienste erworben hat, ist es zu danken, daß z. B. bei unserer letzten Hochfahrt bis zu 10 000 m Höhe im bemannten und im unbemannten Ballon nahezu identische Temperaturen aufgezeichnet wurden. Die Unterschiede gehen kaum über einen Grad hinaus.

Von den meteorologischen Ergebnissen dieser einzelnen Hochfahrt vom 31. Juli will ich also nicht weiter sprechen, dagegen dürfte es Interesse bieten, ganz kurz etwas von dem hervorzuheben, was wir jetzt über die Meteorologie der oberen Luftschichten wissen, also gewissermaßen die Klimatologie dieser wenig zugänglichen Höhen zu skizzieren. Ich schicke eine kleine Tabelle voraus, welche die mittleren Jahreswerte von Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit und Wind für je 1000 m bis zu 10 000 m Höhe enthält. Die für den Erdboden angegebenen Werte entsprechen ungefähr den klimatischen Verhältnissen im mittleren Nord-Deutschland.

Höhe in m.	Luftdruck in mm.	Temperatur °C.	Feuchtigkeit g Wasser im kg Luft.	Windstärke m pro Sekunde.
0	762	10	5.9	5
1 000	675	5.5	4.5	9
2 000	597	0.5	3.1	10
3 000	527	-5	2.2	12
4 000	464	-10	1.7	14
5 000	407	-16	1.2	17
6 000	355	-23	0.7	20
7 000	309	-31	0.3	23
8 000	268	-39	0.2	26
9 000	231	-46	—	29
10 000	198	-53	—	32

Die Luftdruckwerte dieser Tabelle sind natürlich nicht beobachtet — es sind ja umgekehrt die Höhen erst aus den Barometerangaben abgeleitet —, sondern nach der barometrischen Höhenformel unter Benutzung der beistehenden Temperaturen berechnet worden; sie dienen zur Belebung des Bildes, sind aber auch physikalisch lehrreich. Man sieht aus ihnen, daß in etwa 5500 m Höhe der Barometerstand nur halb so groß ist wie unten; hier lastet also über uns nur eine halbe Atmosphäre und in 10 000 m nur noch eine Viertel-Atmosphäre. Da die Zusammensetzung der Luft bis in große Höhen hinauf anscheinend ziemlich die gleiche bleibt, so erhält man in 10 000 m bei einem Atemzuge auch nur $\frac{1}{4}$ so viel Sauerstoff wie unten. Hieraus folgt u. a., wie wichtig es ist, daß man die ruhige, gleichmäßige Atmung in der Höhe beibehält und jede Aufregung vermeidet. Da jedermann bei seinen ersten Ballon-Aufstiegen erregt sein wird durch die Großartigkeit der ungewohnten Eindrücke, so sollte man sich erst dann an Hochfahrten wagen, wenn man das Ballonfahren mit einer beinahe geschäftsmäßigen Ruhe betreibt. Auch auf die körperliche Konstitution kommt es an; Fettmassen erschweren die Atmung, korpulente Leute sind daher für Hochfahrten fast durchweg ungeeignet.

Die Luftdruckwerte erhalten dadurch noch eine besondere Bedeutung, daß sie uns im Zusammenhang mit den gleichzeitigen Temperaturen Aufschluß geben über die in verschiedenen Höhen zur Geltung kommenden Wärmemengen. Lufttemperatur und Luftwärme sind nicht als identische Begriffe anzusehen. Stiege z. B. in der ganzen Luftsäule von 0 bis 5500 m die Temperatur um den gleichen Betrag, etwa von -20° bis 0° , so ist dazu am Erdboden doppelt so viel Wärme nötig als in 5500 m Höhe, denn hier beträgt der Luftdruck nur eine halbe Atmosphäre und die zur Erwärmung eines gleichen Luftvolumens um 1° notwendige Wärme ist dem Luftdruck proportional. Für den Wärmeaustausch in der Atmosphäre sind also Temperaturschwankungen in den oberen Luftschichten viel weniger bedeutungsvoll als unten.

Die Temperaturwerte der vorstehenden Tabelle sind hauptsächlich auf grund der neueren Ballonfahrten abgeleitet und nach den Aufzeichnungen unbemannter Ballons für die größeren Höhen ergänzt. Von der mittleren

Jabrestemperatur in Berlin mit 10° ausgehend, haben wir in 4000 m im Jahresmittel -10° , in 8000 m -40° zu erwarten. Es ist erst im letzten Jahrzehnt festgestellt, daß es in den obern Luftschichten so kalt ist, wie unsere Tabelle besagt; man glaubte vorher, die Temperatur nähme über 5000 m nur noch ganz langsam ab und bliebe schließlich ganz konstant, so daß dort oben Temperaturen unter -50° überhaupt nicht mehr vorkämen. Nach GLAISHERS Beobachtungen während der sechziger Jahre nahm man bis vor kurzem die Temperatur in 8000 m um etwa 25° zu hoch an (-15° statt -40°). Der prinzipielle Fehler, den man früher machte, beruht darauf, daß man im Ballon eine freie Luftzirkulation annahm. Der Ballon schneidet aber nicht wie ein Schiff durch immer andere Teile des Luftozeans, sondern er schwimmt ja in der Luft, die ihn weiter führt, bleibt also unter Umständen — wenn man von vertikalen Änderungen absieht — immer in derselben Luftmasse, und die Instrumente werden dann nicht nur durch die Lufttemperatur, sondern auch durch künstliche Erwärmung infolge der Rückstrahlung von Ballonkorb, Insassen u. dgl. beeinflußt. Will man einwandfreie Resultate erzielen, so muß man eine künstliche Ventilation der Thermometer einführen, und das ist ja in dem bekannten ASSMANNschen Aspirationspsychrometer verwirklicht. Auf der ersten internationalen aëronautischen Konferenz für Luftschiffahrt in Straßburg im Frühjahr 1897 wurde daher beschlossen, im bemannten Ballon nur noch diese Aspirationspsychrometer zu benutzen.

Die neueren Temperaturwerte für die oberen Luftschichten deuteten zunächst anscheinend darauf hin, daß allerdings die Temperatur nach oben rasch abnähme, daß aber in einem und demselben Niveau immer annähernd dieselben Temperaturen vorkämen, daß also in 8000 m Höhe das ganze Jahr hindurch gleichmäßig etwa -40° herrschten. Als jedoch das Beobachtungsmaterial, namentlich bei häufigerer Benutzung unbemannter Ballons, größer wurde, zeigte sich, daß in 10 000 m Höhe noch fast ebenso große Temperaturschwankungen vorkommen wie unten. Von den diesbezüglichen Ermittlungen will ich nur zwei Punkte, welche mir von besonderem Interesse erscheinen, hervorheben. Die Erwärmung der Erde geht hauptsächlich von der Oberfläche aus und pflanzt sich von hier aus nach oben in die Luft, nach unten in den Boden fort. Diese Fortpflanzung braucht Zeit, besonders im schlecht leitenden Boden, und das Eintreten der jährlichen Temperaturextreme verzögert sich daher um so mehr, je tiefer man in den Erdboden eintritt. In 4 m Tiefe ist es im Herbst am wärmsten und in 6 m Tiefe werden die höchsten Temperaturen im Dezember oder Januar, die niedrigsten im Juli oder August abgelesen. Etwas Ähnliches, wenn auch zum Teil aus andern Ursachen, findet nach oben hin statt. Der Juli ist durchaus nicht in der ganzen Atmosphärenschicht die wärmste Zeit des Jahres, sondern je höher wir hinaufsteigen, desto mehr bleiben die Jahreszeiten zurück. In 5000 m Höhe z. B. ist es am sommerlichsten Ende September oder Anfang Oktober, am winterlichsten Anfang April. Durch solche Verschiedenheiten erklärt sich zum Teil der bei uns so verschiedene Witterungs-

charakter von Frühling und Herbst. Das Gleichgewicht einer Luftmasse ist dann am beständigsten, wenn die relativ warmen, also leichten Schichten oben liegen, dagegen die schweren, kalten Schichten unten. Im Herbst haben wir oben relativ warme Luft, demnach beständiges Wetter, im Frühling oben relativ kalte Luft, also unbeständiges Wetter. Das sogenannte „April-Wetter“ erklärt sich demnach teilweise durch die vertikale Temperaturverteilung. Andererseits haben die Hochfahrten — hier allerdings besonders die unbemannten — ergeben, daß einige Witterungsstörungen, z. B. die Kälterückfälle des Mai nicht ein ganz lokales, auf die untersten Luftschichten beschränktes Phänomen sind, sondern daß sie sich durch die ganze Atmosphäre mindestens bis zu 10000 m Höhe erstrecken. Man ist dadurch darauf aufmerksam geworden, daß bei Witterungsumschlägen den oberen Luftschichten eine erhöhte Aufmerksamkeit zuzuwenden ist.

Neben der Temperatur interessieren uns noch die Windverhältnisse und die Feuchtigkeitsverteilung in den oberen Luftschichten. Bezüglich des Windes fällt sofort die rasche Zunahme nach oben hin auf. Schon in 2000 m Höhe ist der Wind doppelt so stark wie unten, und in 5000 m weht er im Jahresdurchschnitt mit Sturmesstärke. — die Meteorologen definieren als Sturm eine Windgeschwindigkeit von 16—20 m p. s. —; dieser Wert wird bei uns nur an etwa 4—5 Tagen des Jahres erreicht. Eine Windgeschwindigkeit von über 30 m. p. s., die für 10000 m das Normale ist, gehört auf dem Festlande zu den allergrößten Seltenheiten. Die große mechanische Energie der oberen Luftschichten, welche sich in diesen Zahlen ausspricht, ist früher, als man annahm, daß die Witterungsveränderungen sich im wesentlichen auf Schichten von 6—7000 m Mächtigkeit beschränken, viel zu wenig berücksichtigt worden. Die Zunahme der Windgeschwindigkeit nach oben ist jedoch keineswegs eine stetige, sondern erfolgt sprungweise. Besonders dort, wo sich die untern Wolken entwickeln — zwischen 1500 und 3000 m — bleibt die Windstärke nahezu konstant oder nimmt sogar ab, wenn man emporsteigt. Auch die Windrichtung übt hierbei großen Einfluß aus. Westliche Winde zeigen eine rasche und stetige Zunahme nach oben, so daß in 5000 m die Geschwindigkeit viermal so groß ist wie unten; bei östlichen Winden ist hier die Windstärke nur $1\frac{1}{2}$ mal so groß wie unten.

Die Feuchtigkeitswerte in unserer Tabelle sind in einer bisher allerdings noch wenig gebräuchlichen, aber in der für diese Zwecke wissenschaftlich allein korrekten Weise angegeben; sie bezeichnen die Zahl der Gramm Wasser, welche ein Kilogramm Luft im Jahresdurchschnitt enthält. Auch hier fällt vor allem die rasche Abnahme des Feuchtigkeitsgehalts nach oben hin auf; in 6000 m Höhe beträgt die Feuchtigkeitsmenge nur noch $\frac{1}{10}$ von der am Erdboden und noch höher hinauf werden die Beträge so gering, daß unsere Apparate zu einer genügend sicheren Messung nicht ausreichen. Dementsprechend sind auch die Wolken in den größten Höhen — die Cirruswolken — fast durchweg sehr dünn und meist nur so zarte Eisnadelgebilde, daß man kaum merkt, wenn

man sich in denselben befindet, ganz im Gegensatz zu den untern Wolken, die zuweilen mehrere 1000 m dick sind, so daß der Ballon Mühe hat, sich hindurch zu kämpfen.

Die Feuchtigkeitsverhältnisse der oberen Luftschichten sind bisher wenig beachtet worden; sie lassen uns aber zum Teil besser als die Temperatur die Struktur der Atmosphäre erkennen. Die Abnahme der Feuchtigkeit nach oben, ebenso wie die der Windgeschwindigkeit und der Wolkenhäufigkeit erfolgt nämlich nicht gleichmäßig, sondern sprungweise, und es wird dadurch schon angedeutet, daß der natürliche Gleichgewichtszustand der Atmosphäre nicht nach einer allgemeinen Durchmischung der obern und untern Luftmassen strebt, sondern nach einer Schichtbildung, derart, daß immer über kalten, wolkigen Zonen trockene, relativ warme lagern. Es scheint, daß in dieser Schichtung der Grund für die so deutlich ausgesprochene Erhaltungstendenz des Wetters liegt, und die rechtzeitige Erkennung solcher Schichtung verspricht große praktische Bedeutung für die Wetterprognose zu gewinnen. Hier liegt auch vielleicht ein Feld für praktische Verwertung der Wolkenmessungen, nachdem die Versuche, schematisch aus dem Aussehen der Wolken oder deren Zugrichtung Schlüsse auf das kommende Wetter zu ziehen, sich als wenig lohnend erwiesen haben. Die Zonen maximaler Wolkenhäufigkeit — 2000, 4300, 6500, 8300 und 10 000 m — bezeichnen die durchschnittliche Höhenlage dieser Grenzschichten. Die Umbildung solcher Diskontinuitätsflächen in Wogen und Wirbel und die dadurch herbeigeführte Durchmischung der Atmosphäre ist durch VON HELMHOLTZ auch theoretisch verfolgt worden; ich muß mich jedoch hier mit einem Hinweis darauf begnügen.

Die Ergebnisse der aëronautischen Wolkenforschung lassen sich tabellarisch schlecht wiedergeben; ich beschränke mich auf einige kurze Hinweise über den Anblick der Wolken vom Ballon aus; die Veröffentlichung der beigegebenen Wolkenbilder (Tafel I, Fig. 1—4) geschieht mit liebenswürdiger Erlaubnis der Verlagsbuchhandlung von FRIEDRICH VIEWEG & SOHN in Braunschweig¹⁾. Sind wir an einem schönen, leicht bewölkten Sommertage aufgestiegen, so gelangen wir zunächst in die Haufenwolken. Der Eintritt in dieselben ist meist wenig deutlich: man ist ziemlich unerwartet von leichtem Nebel umgeben, so daß die Erde leicht verschleiert erscheint. Der Nebel wird schnell dichter, die Erde verschwindet; man spürt feinen Regen. Nähert man sich der oberen Grenze der Wolken, so nimmt die Stärke des Nebels wieder ab, und er wird schließlich so dünn, daß die ersten Spuren des Sonnenscheins bis zu 500 m in die Wolken eindringen. Trotzdem ist der obere Wolkenrand im Gegensatz zu dem unteren scharf abgegrenzt. Die zwei ersten Bilder (Fig. 1 und 2) zeigen den oberen Rand von solchen Cumuluswolken. Die glatte, obere Begrenzung, das Kennzeichen dafür, daß zwei Luftschichten von verschiedener Dichte über einander

¹⁾ Die Bilder sind dem großen dreibändigen, von ASSMANN und BERSON herausgegebenen Werke: Wissenschaftliche Luftfahrten, ausgeführt vom Deutschen Verein zur Förderung der Luftschiffahrt in Berlin, Braunschweig 1900, entnommen.

gelagert sind, tritt am deutlichsten auf dem zweiten Bilde hervor, das von einem etwas höhern Standpunkte aus aufgenommen ist. Eine solche Wolke löst sich häufig nachmittags von unten her auf, so daß nur eine Strato-Cumulus-Wolke oder gar nur eine trockene Dunstschicht übrig bleibt. Am nächsten Tage dringen dann häufig neue Cumuluswolken direkt durch diese Schichten hindurch und finden eventuell erst Widerstand an der nächst höheren Unstetigkeitsschicht in etwa 4000 m Höhe. Mehrere Wolkenschichten übereinander sind eine häufige Erscheinung. Das dritte Bild (Fig. 3) zeigt zwei solche Wolkenschichten. Schon hier ist erkennbar, wie die untere Wolkenschicht sich wellenförmig furcht, infolge der verschiedenen Luftdichte oben und unten. Sind die Dichtigkeitsunterschiede noch schroffer, so ist die Analogie mit den Wasserwellen eine vollkommene. Solche Wolkenwogen zeigt die Figur 4. Wolken dieser Art, zu deren näherer Verfolgung insbesondere die thermodynamischen Untersuchungen des Geheimrats von BEZOLD veranlaßt haben, sind häufig auch von unten in den sogenannten Schäfchenwolken zu sehen; nur stören hier manchmal die perspektivischen Verzerrungen. Nachdem durch Ballonfahrten die Struktur dieser Wolken genauer erforscht ist, gewinnen auch deren Höhenmessungen von unten erheblich an Wert. Oberhalb dieser Region der Schäfchenwolken finden sich — abgesehen von ausnahmsweise hohen Gewitterwolken — nur noch dünne Schichten von Eis- oder Schneegebilden, die aus der Nähe betrachtet kaum auffallen und daher photographisch schwer wiederzugeben sind. Die Ihnen bekannten phantastischen, abwechslungsreichen Formen der Cirruswolken verschwinden, je mehr man sich ihnen nähert; hier an der Grenze des Lebens wendet die Natur keine Verschönerungskünste an. Unbenutzt strömt die Fülle des Lichts und der Kraft der Sonne vorüber; farblos und kalt ist die Signatur der großen Höhen. —

Bei dem Überfluß an Stoff, welcher sich aufdrängt, sobald man etwas von den Ergebnissen der Ballonfahrten erzählt, ist es schwer das am meisten Interessierende auszuwählen. Ich habe mich bemüht, einen Einblick in das Arbeitsgebiet der aëronautischen Metereologen zu gewähren und zu zeigen, daß wir nicht Ballon fahren, nur um zu wissen, wie kalt und windig es da oben ist, sondern daß zahlreiche physikalische Probleme von Bedeutung ihre Lösung durch die Höhenforschung finden können. Ich habe mich auch bemüht, darauf hinzuweisen, wie die uns beschäftigenden Fragen auf andere Gebiete hinüberspielen, und es bedurfte keines Zwanges, um darzutun, wie sehr wir uns interessieren müssen für die Wolkenforschung, die gerade in Danzig eine so gute Pflegestätte und einen so unermüdlichen Förderer gefunden hat.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften der Naturforschenden Gesellschaft Danzig](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [NF_11_1-2](#)

Autor(en)/Author(s): Süring R.

Artikel/Article: [Erlebnisse und Ergebnisse von Ballonhochfahrten. 26-39](#)