

Karl-Heinz Bernhardt

Die Entdeckung der Stratosphäre - ein Ereignis der Berliner Wissenschaftsgeschichte¹

In Mitteilungen vom 28. April des Jahres 1902 an die Französische bzw. vom 1. Mai des gleichen Jahres an die Preußische Akademie der Wissenschaften berichteten L. Teisserenc de Bort (1855-1913) und R. Assmann (1845-1918) über den Nachweis einer warmen Luftschicht in Höhen oberhalb etwa 10 km.

Die Entdeckung der seit dem Jahre 1908 so genannten Stratosphäre gehört somit gleichermaßen der Pariser wie der Berliner Wissenschaftsgeschichte an, mit der sie ideengeschichtlich durch die Beiträge großer Berliner Physiker des 19. Jahrhunderts (H.W. Dove, H.v. Helmholtz, W.v. Bezold u.a.) zur Begründung der Meteorologie als exakter Wissenschaft, institutionengeschichtlich durch das 1847 gegründete, 1885 reorganisierte Preußische Meteorologische Institut und dessen seit Oktober 1899 in Reinickendorf betriebene Aeronautische Observatorium verknüpft ist, dem noch der 1881 gebildete "Deutsche Verein zur Förderung der Luftschiffahrt in Berlin" erwähnend hinzuzufügen wäre.

Die von Sir Napier Shaw im Jahre 1926 rückblickend als "the most surprising discovery in the whole history of meteorology" apostrophierte Entdeckung der Stratosphäre fiel zeitlich annähernd mit den großen Entdeckungen der experimentellen (Röntgenstrahlen, Elektron, Radioaktivität) und den Umwälzungen im Weltbild der theoretischen Physik (Quantenhypothese, Relativitätstheorie, statistische Physik) um die Jahrhundertwende zusammen. Die genannte Entdeckung selbst erfolgte demgegenüber mit klassischen physikalischen Meßmethoden an Bord unbemannter Registrierballone und überschritt in keiner Weise die Begriffs- und Vorstellungswelt der klassischen Physik, bezeichnete aber für die Meteorologie einen Meilenstein in der Erschließung der dritten Dimension, die sich im weiteren als Ereignis- und Nachweisfeld globalen Wandels (solar-terrestrische Einflüsse über photochemische Prozesse und

¹ Zusammenfassung eines Vortrages, gehalten vor der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 20. Januar 1994

dynamische Koppelung verschiedener Atmosphärenschichten) und als von existentieller Bedeutung für den irdischen Lebensraum erweisen sollte (stratosphärische Ozonschicht).

Die Erforschung der freien Atmosphäre hatte mit den zu wissenschaftlichen Zwecken unternommenen Freiballonfahrten begonnen, wie sie Lavoisier gemeinsam mit anderen französischen Gelehrten noch im Jahre 1783, dem Jahr der ersten Ballonaufstiege überhaupt, vorgeschlagen hatte. Besondere Aufmerksamkeit galt während des gesamten 19. Jahrhunderts dabei der Suche nach einem einfachen Gesetz für die vertikale Temperaturabnahme in der Atmosphäre bzw. der Diskussion verschiedener formelmäßiger Ansätze, die eine Temperaturabnahme nach Art einer arithmetischen oder einer geometrischen Reihe mit der Höhe oder etwa als lineare Funktion des Luftdruckes postulierten. Unregelmäßigkeiten im vertikalen Temperaturprofil, wie z.B. die bereits während einer Ballonfahrt von Gay-Lussac im September 1804 über Paris beobachteten Inversionsschichten (Temperaturzunahme mit der Höhe), wurden von den meisten Bearbeitern als Störungen des normalen Temperaturverlaufs mit der Höhe betrachtet und bei der statistischen Aufbereitung der Meßwerte eliminiert. Erst Assmann und Berson teilten bei ihrer Bearbeitung des voluminösen Datenmaterials der "Berliner Wissenschaftlichen Luftfahrten" (1888-1899, "Hauptfahrten" 1893/94) nicht nur alle Meßwerte in extenso mit, sondern widmeten den "Störungsschichten" im vertikalen Temperaturverlauf als einem Element des Schichtenbaus der Atmosphäre - nach heutiger Terminologie vornehmlich im Bereich der unteren Troposphäre - besondere Beachtung.

Die genannten wissenschaftlichen Luftfahrten bezeichneten aber auch insofern eine neue Qualität in der Erforschung der freien Atmosphäre, als erst mit Hilfe des von Assmann konstruierten und noch im Jahre der entsprechenden Akademiemitteilung (1887) erstmals bei einer Freiballonfahrt erprobten Aspirationspsychrometers - bis heute ein Standardinstrument für die meteorologische Temperatur- und Feuchtemessung - eine einwandfreie Lufttemperaturbestimmung im Freiballonkorb möglich und bei allen folgenden bemannten Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten realisiert wurde.

Bei den vorangegangenen wissenschaftlichen Ballonfahrten waren demgegenüber Strahlungsschutz und Ventilation der Temperaturmeßfühler, von wenigen Ausnahmen abgesehen, unzureichend, was als Folge intensiver Sonnenbestrahlung und fehlender Luftbewegung im Ballonkorb, evtl.

noch zusätzlich der Körperwärme des Beobachters, zu einer erheblichen Überhöhung der Temperaturmeßwerte gegenüber der wahren Lufttemperatur in Fahrhöhe geführt hatte, welcher Umstand lange Zeit unbeachtet blieb. Die Zunahme dieses systematischen Temperaturmeßfehlers mit der Höhe, verursacht durch Abnahme der Luftdichte und der Steiggeschwindigkeit des Ballons bei im Mittel zunehmender Insolation, täuschte eine Abnahme des vertikalen Temperaturgefälles mit der Höhe vor und nährte die Annahme, die Temperatur näherte sich mit zunehmender Höhe in der Atmosphäre asymptotisch dem Wert an ihrer Obergrenze bzw. der "Weltraumkälte", was immer man darunter verstehen wollte.

Die im Rahmen der Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten ausgeführten Temperaturmessungen mit außerhalb des Ballonkorbes installiertem Aspirationspsychrometer mit doppeltem Strahlungsschutz und federwerkgetriebenem Zentrifugalaspirator, die praktisch frei von Strahlungsfehlern waren, zeigten dagegen eine bis in die größten Aufstiegs Höhen unverändert starke oder mit der Höhe sogar noch gesteigerte Temperaturabnahme. Den Bearbeitern der Aufstiegsdaten war zwar klar, daß sich die beobachtete Temperaturabnahme nicht unbegrenzt fortsetzen konnte, da ansonsten in 30 oder 40 km Höhe der absolute Nullpunkt der Temperatur erreicht wäre; jedoch griffen sie zur Lösung dieses Widerspruches wiederum nur auf die Hypothese einer asymptotischen Temperaturabnahme mit der Höhe oberhalb eines vermuteten Wendepunktes der Temperaturprofilkurve zurück, offenbar ohne die Existenz einer Schichtgrenze nach Art der - in heutiger Bezeichnungsweise - Tropopause in Betracht zu ziehen. Letztere hätte als Untergrenze der Stratosphäre bei den Aufstiegs Höhen der bemannten Freiballonfahrten des 19. Jahrhunderts (maximal 9155 m bei der Alleinfahrt von A. Berson mit Sauerstoffbeatmung am 4. Dezember 1894) freilich nur unter besonders günstigen Umständen erreicht werden können.

Tatsächlich aber drangen bereits im vergangenen Jahrhundert unbemannte Ballone mit Registriergeräten an Bord in die Stratosphäre ein, ohne daß die zur Erde zurückgelangten Aufzeichnungen richtig interpretiert worden wären.

Die zuerst von Hermite und Besançon in Frankreich seit 1892 erfolgreich gestarteten volumenkonstanten Registrierballone aus Papier oder Goldschlägerhaut zeigten eine mit der Höhe abnehmende Steig- und damit Ventilationsgeschwindigkeit am Temperaturmeßfühler, was wiederum

einen erheblichen Strahlungsfehler in großen Höhen - ganz besonders während des "Schwimmens" des Ballons in Gipfelhöhe - nach sich zog. So erbrachte die Barothermographenregistrierung während des vermutlich ersten Stratosphärenaufstieges der Geschichte vom 21. März 1893 (angegebene Steighöhe 16 km, nach Neuberechnung ca. 14,5 km) oberhalb 12,5 km Höhe keine brauchbaren Temperaturaufzeichnungen.

Assmann führte im Rahmen der Berliner wissenschaftlichen Luftfahrten in den Jahren 1894-97 insgesamt 9 Registrierballonaufstiege unter Einsatz einer photographischen Registrierung für Luftdruck und -temperatur sowie einer selbsttätigen Aspirationseinrichtung durch, von denen erstmals die Aufstiegskurve vom 7. Juli 1894 und später noch weitere Registrierungen eindeutig das Eindringen des Ballons in die Stratosphäre belegen. Assmann selbst aber deutete die von ihm veröffentlichten Meßdaten als strahlungsverfälscht, glaubte an ein Versagen der künstlichen Aspiration und stellte die vermeintlich gescheiterten Versuche, einwandfreie automatische Temperaturregistrierungen aus großen Höhen zu erhalten, schließlich ein!

Teisserenc de Bort begann im Jahre 1896 an seinem Privatobservatorium in Trappes bei Paris mit Registrierballonaufstiegen unter Verwendung mechanisch registrierender Barothermographen, wobei durch regulierte Ballastabgabe eine gleichmäßige Steiggeschwindigkeit gewährleistet werden sollte und überdies zur Vermeidung des Strahlungsfehlers zahlreiche Nachtaufstiege durchgeführt wurden. So erreichte im Rahmen der ersten internationalen wissenschaftlichen Ballonfahrten ein französischer Ballon in der Nacht vom 13. zum 14. November 1896 unzweifelhaft die Stratosphäre, ohne daß T. de Bort oder die anderen Autoritäten jener Zeit die wahre Bedeutung der Meßergebnisse erkannt hätten.

In seiner eingangs genannten Akademiemitteilung konnte sich Teisserenc de Bort schließlich auf eine große Zahl von Registrierballonaufstiegen aus den Jahren 1899-1902 berufen, von denen 236 eine Höhe von 11 km überschritten hatten, so daß der Autor bereits die unterschiedliche Höhenlage der "isothermen Zone" in den einzelnen Sektoren der Hoch- und Tiefdruckgebiete erkannte und insofern am Anfang einer Tropopausenklimatologie steht.

Assmann hingegen war im Jahre 1901 zur Verwendung geschlossener Gummiballone übergegangen, die mit steigender Geschwindigkeit bis zur Platzhöhe steigen und so eine ausreichende natürliche Ventilation des Temperaturmeßfühlers trotz mit der Höhe abnehmender Luftdichte sicher-

stellen. Seine Mitteilung "über die Existenz eines wärmeren Luftstromes in der Höhe von 10 bis 15 km" enthält eine detaillierte Diskussion von lediglich 6 Registrierballonaufstiegen, wobei Assmann zusätzlich auf die gute Übereinstimmung einer Temperaturregistrierung mit den simultanen Aspirationspsychrometermessungen verweisen konnte, die A. Berson und R. Stüring während ihres denkwürdigen Hochaufstieges vom 31. Juli 1901 angestellt hatten, der die Ballonfahrer im offenen Ballonkorb und mit einer primitiven Sauerstoffbeatmung zwar nicht bis in die Stratosphäre, wohl aber bis in eine von der bemannten Luftfahrt über nahezu drei Jahrzehnte nicht wieder erreichte Rekordhöhe von über 10500 m geführt hatte.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, daß von der erstmaligen zweifelsfreien Registrierung eines entsprechenden Temperaturprofils bis zur Publikation über die fundamentale Entdeckung einer wärmeren oder zumindest isothermen Atmosphärenschicht in großer Höhe fast 8 Jahre vergingen. Voraussetzung für diese Entdeckung waren die Entwicklung eines vom Strahlungseinfluß freien Temperaturmeßverfahrens in der freien Atmosphäre - also unter anderen als den geläufigen experimentalphysikalischen Laboratoriumsbedingungen - sowie der Einsatz selbstregistrierender Meßgeräte für unbemannte, freifliegende Ballone. Eine bedeutsame Rolle spielte dabei die Möglichkeit eines Vergleiches zwischen in situ Messungen durch erfahrene Forscher und mittels Registriergeräten, wenn auch die Stratosphäre selbst für bemannte Aufstiege zunächst noch unzugänglich blieb.

Die Anteile Teisserenc de Borts und Assmanns an der Entdeckung der Stratosphäre sind angesichts differenzierter Beiträge zur Meß- und Aufstiegstechnik sowie unterschiedlicher Verfügbarkeit, Bearbeitungsweise und Interpretation von Beobachtungsdaten als jeweils eigenständig zu werten. Im Gegensatz etwa zum erstmaligen Nachweis der Abnahme des Luftdruckes mit der Höhe im Jahre 1648, der zur experimentellen Bestätigung der neuen Lehre vom Luftdruck als Folge des Gewichtes der Luft geplant und geführt worden war, kam die Entdeckung der Stratosphäre gänzlich unerwartet. Sie verlangte nach einer theoretischen Deutung, die zunächst mit der Anwendung der Konzeption des Strahlungsgleichgewichtes durch Gold, Humphreys und vor allem durch Emden auf die Erdatmosphäre unternommen wurde, die später eine Erweiterung zur Theorie des strahlungskonvektiven Gleichgewichtes der Atmosphäre erfuhr.

Schließlich illustriert die Entdeckungsgeschichte der Stratosphäre den Charakter der Meteorologie als einer wesentlich empirisch begründeten Naturwissenschaft, der bis in unsere Zeit durch weitere, nicht minder überraschende und unvorhergesehene Entdeckungen bestätigt wird. Wir nennen in diesem Zusammenhang nur die ein halbes Jahrhundert nach der Stratosphäre von Scherhag entdeckten plötzlichen stratosphärischen Erwärmungen ("Berliner Phänomen", 1952), die annähernd 26-monatige Schwankung im Strömungsregime der äquatorialen Stratosphäre (QBO, 60er Jahre), den drastischen stratosphärischen Ozonabbau im antarktischen Frühling ("Ozonloch", 80er Jahre, in Bodenmeßdaten bis in die zweite Hälfte der 70er Jahre rückdatierbar) und die durch Eisbohrkern-daten nachgewiesene Existenz abrupter Klimaänderungen im Glazial-Interglazial-Zyklus.

Ausführliche Darstellung mit Aufstiegsdiagrammen und Literaturnachweisen in:

Bernhardt, K.: 100 Jahre Ballonflüge in der Stratosphäre? In.: Schröder, W., Colacino, M., (eds.): Geophysics: Past achievements and future challenges. Newsletters of the Interdivisional commission of IAGA, No. 24, 1994, 89-103.

Bernhardt, K.: Die Entdeckung der Stratosphäre. In: Hoffmann, D., Bevilacqua, F., Stuewer, R. (eds.): The emergence of modern physics. Proc. Conf. Commemorating Century Phys., Berlin 22-24 March 1995. La Goliardica Pavese, Pavia (1996), 327 - 346.