

Luftfahrzeugbau und -Führung

Hand- und Lehrbücher des Gesamtgebietes

In selbständigen Bänden, unter Mitwirkung von

R. Basenach †, Ingenieur, Berlin. **A. Baumann**, Ingenieur, Professor für Luftfahrt, Flugtechnik und Kraftfahrzeugbau an der Techn. Hochschule Stuttgart. **P. Béjeuhr**, Ingenieur, Assistent der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen. **Dr. A. Berson**, Professor, Berlin. **Dr. G. von dem Borne**, Professor für Luftfahrt an der Techn. Hochschule Breslau. **Dr. F. Brähler**, Chemiker, Assistent a. d. Kgl. Militärtechn. Akademie Berlin. **G. Christians**, Dipl.-Ingenieur, Rheinau-Baden. **R. Clouth**, Fabrikbesitzer, Paris-Neuilly. **Dr. M. Dieckmann**, i. Assistent am Physik. Institut der Techn. Hochschule München. **Dr. H. Eckener**, Friedrichshafen a. B. **Dr. Flemming**, Stabsarzt a. d. Kaiser-Wilhelms-Akademie Berlin. **R. Gradenwitz**, Ingenieur, Fabrikbesitzer, Berlin. **J. Hofmann**, Preußischer Regierungsbaumeister, Kaiserlicher Reg.-Rat a. D., Genf. **Dr. W. Kutta**, Professor a. d. Techn. Hochschule Aachen. **Dr. F. Linke**, Dozent für Meteorologie u. Geophysik am Physikal. Verein u. d. Akademie Frankfurt a. M. **Dr. A. Marcuse**, Professor an der Universität Berlin. **Dr. A. Meyer**, Assessor, Frankfurt a. M. **St. v. Nieber**, Exzellenz, Generalleutnant z. D., Berlin. **Dr. ing. E. Roch**, Dipl.-Ingenieur, Berlin. **E. Rumpler**, Ingenieur, Direktor, Berlin. **O. Winkler**, Oberingenieur, Berlin u. a.

herausgegeben von

Georg Paul Neumann

Hauptmann a. D.

I. Band



München und Berlin

Verlag von R. Oldenbourg

1911

Aeronautische Meteorologie

von

Dr. Franz Linke

Dozent für Meteorologie und Geophysik am Physikalischen Verein
und der Akademie zu Frankfurt a. M.

I. Teil

Mit 43 Textabbildungen und 8 Tabellen



München und Berlin
Verlag von R. Oldenbourg
1911

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechtes vorbehalten

Copyright 1911 by F. B. Auffahrt, Frankfurt a. M.

Vorwort.

Mit vorliegendem Buch kommt der Verfasser den immer lauter werdenden Wünschen einer grossen Zahl von berufsmässigen und sportlichen Luftfahrern nach, welche bei der schnellen Entwicklung der Luftfahrt in den letzten Jahren das Bedürfnis nach einer gründlicheren Ausbildung in der Meteorologie dringend empfinden.

Das Buch soll ein Lehrbuch der Meteorologie für Luftfahrer sein — und zwar für Freiballonfahrer, Motorluftschiffer und Flieger — und soll die Errungenschaften dieser Wissenschaft der praktischen Luftfahrt dienstbar machen. Es verfolgt aber noch einen weiteren Zweck, welcher von dem genannten gar nicht zu trennen ist: es soll nämlich die Luftfahrer mit den Bestrebungen der Meteorologen in Fühlung bringen, damit die kostbare Gelegenheit, wichtige Beobachtungen festzuhalten, zur Förderung der Wissenschaft ausgenutzt werden kann.

Der gewaltige Einfluss, den die Anwendung der Meteorologie auf die Schifffahrt gehabt hat, lässt erhoffen, dass die Verbreitung von meteorologischen Kenntnissen in der Luftfahrt sich als noch viel fruchtbarer erweisen wird. Die Unbillen des Wetters müssen entweder durch technische Vervollkommnungen überwunden oder durch organisatorische Massnahmen vermieden werden. Konstruktion, Navigation und Organisation müssen nach meteorologischen Gesichtspunkten erfolgen.

In dem Buche soll der Luftfahrer für die meteorologischen Erscheinungen, die während der Fahrt seine Aufmerksamkeit erregen, Aufklärung finden; er soll hier die Handhabung der neuesten Instrumente, ihre Fehler und Prüfungsmethoden kennen lernen. Er kann andererseits auch erfahren, welche Beobachtungen der Wissenschaft von Nutzen sein können; der bei jedem denkenden Luftfahrer erwachende Forschungstrieb wird dadurch in die rechten Bahnen gewiesen. Den Meteorologen erwachsen durch solche gelegentliche Beobachtungen neue Probleme, wie aus der Entwicklungsgeschichte der Meteorologie in den letzten Jahrzehnten erfreulich zutage tritt.

So ist zu hoffen, dass beide, Aeronautik und Meteorologie aus dieser Zusammenstellung Vorteile schöpfen und die naturgemässe Verbindung zwischen beiden sich immer inniger gestaltet.

Natürlich war es nicht möglich, von dem neuen Zweige der meteorologischen Wissenschaft ein abgerundetes und erschöpfendes Bild zu geben und der Leser möge nicht vergessen, dass es sich um einen ersten Versuch handelt. Der Verfasser würde es dankbarst begrüßen, wenn dieser Versuch freundliche Aufnahme fände, und Erfahrungen, welche den in diesem Buche niedergelegten zuwiderlaufen oder darin nicht enthalten sind, ihm für etwaige spätere Erweiterungen mitgeteilt würden.

Frankfurt a. M. im November 1910.

Dr. Franz Linke.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
Kapitel I. Allgemeine Eigenschaften der Atmosphäre	2
1. Die Luft	2
2. Die Sonnenstrahlung	3
3. Die Dreiteilung der Atmosphäre	14
4. Trübungen der Luft	18
Kapitel II. Der Luftdruck	22
1. Messungs- und Berechnungsmethoden	22
2. Barometrische Höhenmessung	30
3. Messung der Änderung des Luftdrucks	34
4. Mittlere Luftdruckverhältnisse und periodische Änderungen	36
5. Isobaren	40
Kapitel III. Die Luftbewegungen	41
1. Allgemeines	41
2. Die Messung der Windgeschwindigkeit vom Erdboden aus	44
3. Die Abhängigkeit des Windes von der Luftdruckverteilung	55
4. Die Windrichtung und ihre Änderung mit zunehmender Höhe	57
5. Die Windgeschwindigkeit und ihre Änderung mit zunehmender Höhe	62
6. Vertikale Luftströmungen	68
7. Die Struktur des Windes nahe der Erdoberfläche	72
8. Periodische Änderungen des Windes	79
Kapitel IV. Die Lufttemperatur	84
1. Messung der Lufttemperatur	85
2. Ergebnisse der Temperaturmessungen	90
3. Temperaturabnahme mit der Höhe	94
4. Tägliche Schwankung der Temperatur	105

VIII

	Seite
Kapitel V. Luftfeuchtigkeit und Niederschläge	108
1. Messungs- und Berechnungsmethoden	108
2. Ergebnisse der Feuchtigkeitsmessungen	113
3. Die Kondensationsvorgänge	115
4. Die Niederschläge	125
Anhang. Tabellen	128

Einleitung.

„Meteorologie“ ist die allgemeine Bezeichnung für eine Wissenschaft, welche die Vorgänge in der Atmosphäre behandelt, die Wissenschaft von dem, was „in der Luft schwebt“, in wörtlicher Übersetzung des griechischen $\mu\epsilon\tau' \acute{\epsilon}\omega\sigma\alpha$. Mit „Meteorologie im engeren Sinne“, oder „Physik der Atmosphäre“ bezeichnet man denjenigen Zweig der Meteorologie, welcher sich mit den theoretischen und physikalischen Grundlagen befasst. Die praktischen Anwendungen werden von zwei anderen Zweigen behandelt, nämlich der „Klimatologie“ und der „Wetterkunde“. Die erstere betrachtet die aus langjährigen Beobachtungen berechneten mittleren Zustände in bestimmten Gegenden, die letztere fusst auf der Betrachtung der durch gleichzeitige Beobachtungen an vielen Punkten dargestellten augenblicklichen Witterung mit der Absicht, daraus Schlüsse auf die zu erwartende Witterung zu ziehen. Seit einigen Jahren ist ein anderer Zweig sehr gefördert worden, die „Aerologie“, die Wissenschaft von den Vorgängen in den höheren Luftschichten, wie sie in aerologischen Observatorien mittels Drachen-, Registrier-Ballonen und Freiballonen betrieben wird. Die „Aeronautische Meteorologie“, welche hier zum ersten Male als solche in Erscheinung tritt, ist als Gegenstück zur „Maritimen Meteorologie“ aufzufassen. Sie soll die Ergebnisse der Physik der Atmosphäre, der Klimatologie, der Wetterkunde und der Aerologie, soweit sie für die Luftfahrt Interesse haben, zusammenfassen.

Kapitel I.

Allgemeine Eigenschaften der Atmosphäre.

1. Die Luft.

Das Medium, in dem sich die Luftfahrt abspielt, die Luft, ist ein Gasgemisch, das in trockenem Zustande aus 78,03 Volumprozenten Stickstoff, 20,99% Sauerstoff, 0,94% Argon, 0,03% Kohlensäure, 0,01% Wasserstoff, 0,00015% Helium und noch kleineren Spuren anderer Gase, die nicht sehr interessieren, besteht. Für die der Luftfahrt durch die Natur vorgeschriebenen Grenzen kann diese Zusammensetzung praktisch als unveränderlich betrachtet werden. Die meteorologischen Vorgänge in der Atmosphäre werden in der Hauptsache durch physikalische Einflüsse bedingt, nämlich durch Druck, Temperatur und Bewegung der Luft. Das sind die für die Luftfahrt hauptsächlichsten meteorologischen Elemente, welche vor allem betrachtet werden müssen; von diesen drei in manchen Fällen abhängig ist ein anderer wesentlicher Faktor, nämlich der Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Dieser interessiert den Luftschiffer ganz besonders, wenn er zu Wolkenbildung und Niederschlägen Anlass gibt.

2. Die Sonnenstrahlung.

Der quantitative Wert dieser meteorologischen Elemente, deren Wechsel die Witterung, besonders unserer Breiten, so veränderlich macht, wird in letzter Linie bedingt durch die Sonnenstrahlung, diese Urquelle alles irdischen Seins. Da aber nun die Sonne auf alle Gegenden derselben geographischen

Breite gleichmässig hernieder strahlt und auch zeitlich genommen — soviel wir bis jetzt wissen — die Veränderungen der Sonne nur langsam erfolgen, so müsste die Witterung einen sehr viel ruhigeren und gleichmässigeren Verlauf zeigen. Dass dem nicht so ist, liegt an der ungleichmässigen Verteilung von Wasser und Land, wodurch die Wirkung der Sonnenstrahlen in sehr verwickelter Weise beeinflusst wird.

Es gibt zwar für unsere Erde noch weitere Wärmequellen: Die Strahlung von Mond, Planeten und Sternen, das heisse Erdinnere, sowie die an der Erdoberfläche fortwährend vor sich gehenden Zersetzungen und Verbrennungen. Aber es hat sich

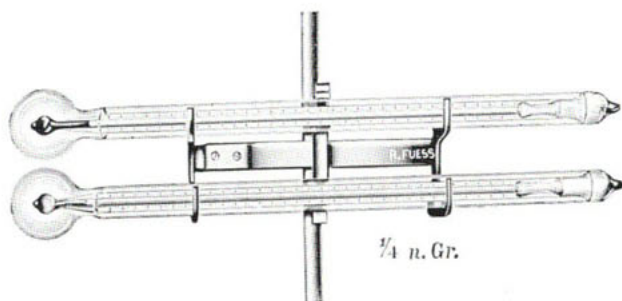


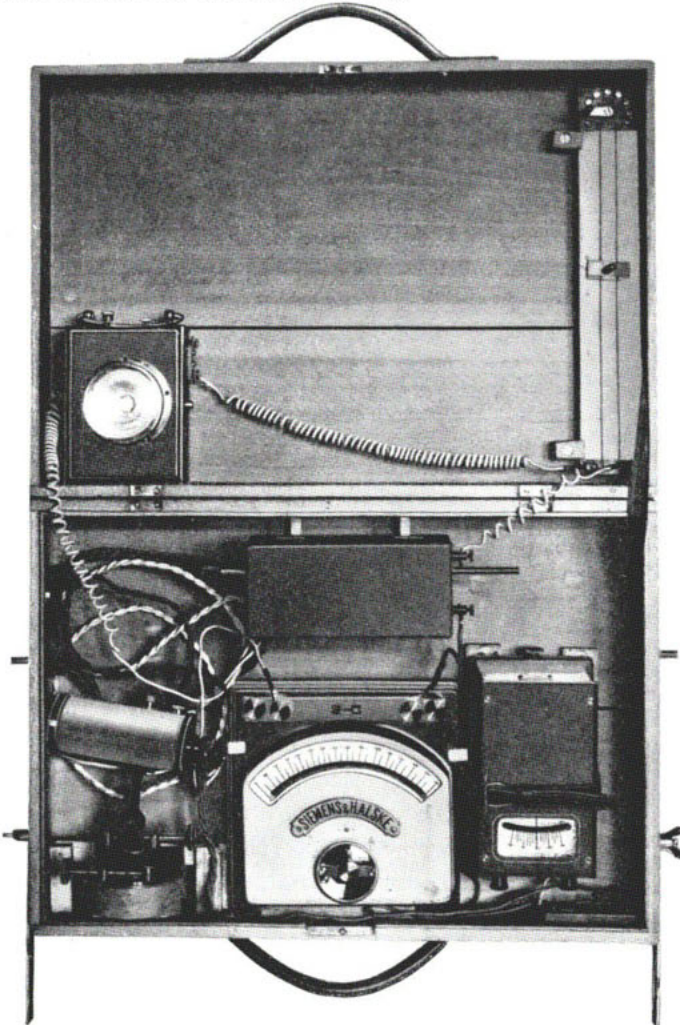
Fig. 1. Strahlungsthermometer.

gezeigt, dass alle dadurch hervorgerufene Wärme gegenüber der durch Sonnenstrahlung bewirkten kaum in Betracht kommt. Praktisch ist die Sonne deshalb für die Erde und die Atmosphäre die einzige Energiequelle.

Den Betrag der Sonnenstrahlung zu messen, ist noch nicht vollkommen gelungen. Die wechselnde Durchlässigkeit der Atmosphäre macht alle instrumentellen Verbesserungen illusorisch. Der einfachste Apparat zur Messung der Sonnenstrahlung ist das Schwarzkugelthermometer. (Fig. 1.)

Das Quecksilbergefäss eines Thermometers wird aussen mit Russ geschwärzt und mit einer weiten, luftleer gepumpten Hohlkugel aus feinem Glase umgeben. Der luftleere Raum soll verhindern, dass die umgebende Luft die Temperatur des Quecksilbers durch Wärmeleitung beeinflusst. Der Russ hat die Eigenschaft, einen grossen Teil der Wärmestrahlung des

Sonnenlichtes zu absorbieren. Das Schwarzkugelthermometer zeigt also bei Sonnenstrahlung einen höheren Stand als ein gewöhnliches Thermometer, welches die Temperatur der Luft angibt, und dieser Überschuss der Temperatur ist ein Mass für die Sonnenstrahlung.



Figur 2a. Angströms Kompensations-Pyrheliometer, von Dr. Coym für Ballonbeobachtungen eingerichtet.

Messungen haben ergeben, dass an vollkommenen wolkenlosen Tagen und hohem Sonnenstande, also im Sommer und um Mittag, die Strahlungstemperatur an der Erde in unseren Breiten bis zu 25 Grad betragen kann. Sie nimmt mit der Höhe bedeutend zu, so dass man bei Hochfahrten annähernd 50 Grad beobachten konnte. Bei vorhandener Bewölkung, aber noch un-

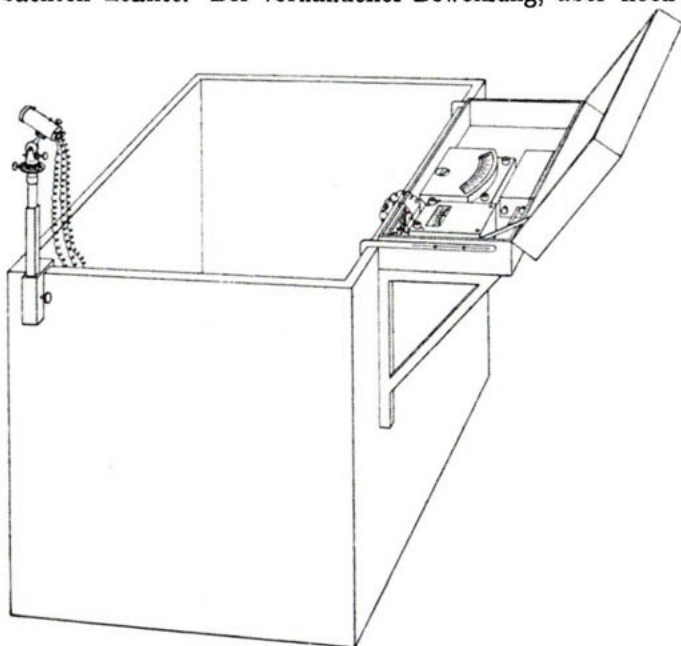


Fig. 2b. Anbringung des Kompensations-Pyrheliometer am Ballonkorbe.

verhüllter Sonne, sind die Temperaturen schon geringer, weil die vorhandenen Wolken schon einen Teil der Strahlung wegnehmen. Die grössten Beträge erreicht die Sonnenstrahlung direkt über hellen Eiswolken; sie übersteigt hier zeitweise noch 50 Grad. Hier wirkt das von den Wolken reflektierte Sonnenlicht mit.

Für genauere Messungen muss man sorgsam konstruierte Aktinometer anwenden, von denen Angströms Pyrheliometer sich nach Dr. Coym's Erfahrungen ganz gut für Ballonmessungen eignet (Fig. 2a und 2b).

Das Prinzip des Instrumentes ist folgendes: Zwei sehr dünne, vollständig gleiche Metall-Lamellen sind in einem viereckigen Rahmen in einigen Millimetern Entfernung von einander befestigt. Die Bänder sind an der Seite, welche der Sonne zugekehrt sind, geschwärzt, auf der anderen Seite sind die beiden Lötstellen eines Thermoelementes befestigt. Das Thermoelement ist mit einem sehr empfindlichen Mikrovoltmeter verbunden, so dass man feststellen kann, wann die Temperaturen der beiden Bänder die gleichen sind. Während nun das eine der beiden Bänder der Strahlung ausgesetzt wird, wird das andere durch einen Schirm abgeblendet und durch einen elektrischen Strom so stark erwärmt, bis es die gleiche Temperatur hat, wie das bestrahlte. In diesem Augenblick ist also die Intensität der Sonnenstrahlung gleich der elektrischen Energie, welche der anderen, nicht bestrahlten, Lamelle zugeführt wird. Die zugeführte Elektrizität wird durch einen Präzisionsampèremeter gemessen. Da das Pyrheliometer mit den beiden Metall-Lamellen stets genau auf die Sonne gerichtet sein muss, so hat im Ballon der eine Beobachter wegen des fortwährenden Drehens des Ballonkorbes dieses Pyrheliometer richtig einzustellen, während der andere das Mikrovoltmeter und Ampèremeter abliest.

Ausgleichzeitigen Messungen mit solchen Aktinometern in verschiedenen Meereshöhen, aber von Berggipfeln aus, hat man gefunden, dass die Intensität, mit welcher die Sonnenstrahlung an der äusseren Grenze unserer Atmosphäre anlangt, 2 bis 3 Grammkalorien pro Quadratcentimeter und Minute beträgt. Man nennt diese Grösse die „Solarkonstante.“ Einem Quadratcentimeter würde also an der äussersten Grenze unserer Atmosphäre in jeder Minute soviel Wärme zugeführt, dass ein Gramm Wasser dadurch um 2 bis 3° erwärmt werden könnte. Es wird nur durch die Beihilfe der Luftfahrt möglich sein, diese fundamentalen Beobachtungen mit grösserer Genauigkeit anzustellen, daher soll hier weiteres über diesen Gegenstand mitgeteilt werden.

Von dieser Energie wird selbst bei heiterem Himmel etwa die Hälfte schon verbraucht, ehe die Sonnenstrahlung zur Erdoberfläche gelangt, hauptsächlich in den untersten, besonders trüben Schichten. Nach neueren Messungen hat die Sonnenstrahlung aber in etwa 2000 m Höhe noch den 1½fachen Betrag der am Erdboden anlangenden. Dies ist für die Luftfahrt sehr wichtig. — Wolken hindern die Wärmestrahlung nach der Erdoberfläche fast ganz.

Durch die in der Luft stets vorhandene Trübung werden

die Sonnenstrahlen diffus zerstreut, so dass die ganze Atmosphäre dadurch in den Stand gesetzt wird, Licht und Wärme auszustrahlen. Diese diffuse Sonnenstrahlung, der wir es verdanken, dass auch in beschattete Räume Licht fällt, kann ungefähr die Hälfte der direkten Sonnenstrahlung ausmachen.

Je grössere Strecken der Atmosphäre das Licht durchlaufen muss, um so mehr werden die blauen Strahlen des Spektrums absorbiert, bis schliesslich bei Sonnenuntergang nur noch rote Strahlen vorhanden sind. In grösseren Höhen ist die diffuse Reflexion sehr viel geringer; in 2400 m Höhe war der mittlere Koeffizient nach Messungen von Abney schon auf ein Sechstel gesunken. Oben ist auch das Sonnenlicht deshalb reicher an blauen und den chemisch wirksamen ultravioletten Strahlen. Messungen im Ballon fehlen leider fast gänzlich.

Infolge der stärkeren Zerstreung der blauen Strahlen ist die Farbe des Himmels blau, wie Lord Rayleigh nachgewiesen hat. Nur kann man im Zweifel darüber sein, ob diese Lichtbrechung durch die Luftmoleküle selbst oder durch die in der Luft enthaltenen Dunstteilchen hervorgebracht wird. Rayleigh neigt der ersteren Ansicht zu. In grösseren Höhen ist dieses Himmelsblau dunkler, weil in der darüber liegenden Luft sehr viel weniger diffuse Reflexion stattgefunden hat. Ausserhalb der Atmosphäre muss der Himmel schwarz erscheinen.

Bei diesen Einwirkungen der Luft auf die Lichtstrahlen sollte man annehmen, dass auch Wärmewirkungen der Sonne direkt auf die Luft ausgeübt würden, also die Luft durch die Sonnenstrahlung erwärmt würde. Dennoch ist in den untersten Schichten diese Wirkung ausserordentlich gering im Verhältnis zu der Erwärmung der Luft an der bestrahlten Erdoberfläche. Hingegen müssen mit grösserer Höhe fortschreitende Wärmewirkungen der direkten Sonnenstrahlung auf die atmosphärische Luft vorhanden sein.

An der Erdoberfläche wird also die Luft hauptsächlich durch die Berührung mit den erhitzten Gegenständen der Erdoberfläche warm, also durch Leitung, nicht durch Strahlung.