universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Meteorologie

Trabert, Wilhelm

Berlin [u.a.], 1918

Einleitung

urn:nbn:at:at-ubi:2-5058

Einleitung.

§ 1. Begriff der Meteorologie.

Außer der Astronomie wird wohl von Seite der Öffentlichkeit keiner Naturwissenschaft ein so lebhaftes Interesse entgegengebracht, wie der Meteorologie. Man wird jedoch kaum fehlgehen, wenn man dieses Interesse weniger dieser Wissenschaft an und für sich zuschreibt, als vielmehr der mannigfachen Beziehung ihres Gegenstandes, der Atmosphäre und deren Veränderungen, zum praktischen Leben. Das Wetter ist ja nicht bloß für den Spaziergänger von Wichtigkeit, ist für den Touristen nicht selten geradezu eine Lebensfrage: der Seemann, der Landwirt hängen in ihrer ganzen Existenz von den Verhältnissen der Atmosphäre ab.

Was aber Meteorologie eigentlich ist, und welches ihre Aufgabe, darüber sind meist irrige Ansichten verbreitet. Man glaubt vielfach, Meteorologie sei die Lehre vom Wetter und hält für ihr eigentliches Ziel die Wetterprognose. Tatsächlich ist dieser Wissenschaft vielmehr die Aufgabe gestellt, den Zusammenhang der Erscheinungen in unserer Atmosphäre aufzudecken, d. h. die in derselben erfolgenden Veränderungen zu erklären. Meteorologie ist, kurz gesagt, Physik der Atmosphäre. Die Lehre vom Wetter, eine besondere Anwendung der allgemeinen meteorologischen Gesetze, bildet allerdings vorläufig noch einen Zweig der Meteorologie, wird aber zweifellos gleich der Lehre vom Klima, der Klimatologie, sich im Lauf der Zeit zu einer eigenen Wissenschaft entwickeln.

§ 2. Die Atmosphäre.

Gegenstand der Meteorologie ist die Lufthülle unseres Erdballs, die Atmosphäre, nach des Aristoteles Ausdruck „ta Meteora“, die Dinge über der Erde. Was unsere Atmosphäre sei, davon konnte man sich erst eine richtige Vorstellung machen, als Torricelli den nach ihm benannten fundamentalen Versuch ausgeführt hatte.

Füllt man eine Flasche mit irgendeiner Flüssigkeit bis zum Rande an, verschließt die Öffnung mit dem Daumen, kehrt die Flasche sodann um und taucht deren Hals so weit in ein anderes mit derselben Flüssigkeit gefülltes Gefäß ein, daß die Öffnung der Flasche unter den Spiegel der Flüssigkeit M N (Fig. 1) zu liegen kommt, so wird, auch wenn man den Daumen von der Flaschenöffnung wegzieht, kein Tropfen aus derselben ausfließen. Man erklärte diesen Vorgang durch die Annahme eines „horror vacui“ (Abscheu vor dem leeren Raum). Man glaubte nämlich, die Körper hätten das Bestreben, jeden leeren Raum auszufüllen, und setzten deshalb dem Entstehen eines solchen einen Widerstand entgegen.

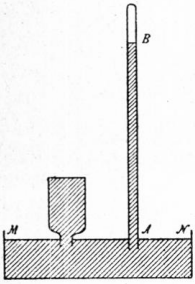

Fig. 1. Torricellis Versuch.

Diese Annahme erwies sich jedoch als ein Irrtum, der gründlich widerlegt wurde, als auf Veranlassung Torricellis Viviani im Jahre 1643 den Versuch derart abänderte, daß er statt der Flasche eine etwa 1 m lange, einseitig geschlossene Glasröhre und als Flüssigkeit Quecksilber anwandte. Es zeigte sich, daß dann allerdings ein Teil des Quecksilbers aus der Röhre austrete, daß aber das in derselben verbleibende nie unter einem gewissen Stand, B (Fig. 1), etwa 76 cm über dem Niveau A des Quecksilbers im Gefäß, sinke.

Der über dem Quecksilber in B befindliche Teil der Röhre ist tatsächlich ein leerer Raum, das sogenannte Torricellische Vakuum.

Viviani gab auch die Erklärung dieser merkwürdigen Erscheinung, indem er die seither durch unzählige Versuche als richtig bestätigte Vermutung aussprach, daß die Luft ein schwerer Körper sei, und daß der Druck, den die Luft auf die Flüssigkeitsoberfläche M N ausübt, die Ursache sei, daß das Quecksilber zu einer solchen Höhe im leeren Glasrohr emporgetrieben werde, bis das Gewicht der Quecksilbersäule dem Druck der Luft das Gleichgewicht zu halten vermöge.

Nehmen wir eine Röhre von 1 qcm Querschnitt an, so würde eine Quecksilbersäule von 76 cm Höhe, da 1 ccm Quecksilber 13,60 g wiegt, $13{,}60 \times 76 = 1033$ g oder rund 1 kg wiegen. So stark wäre also der Druck, welchen die Atmosphäre auf eine Fläche von 1 qcm ausübt.

Ist diese Erklärung aber richtig, so schloß schon wenige Jahre nach dem Bekanntwerden des Torricellischen Versuches (übrigens, wie es scheint, auf Veranlassung von Descartes) der berühmte Mathematiker und Philosoph Pascal, dann müßte, wenn man diesen Versuch auf einem Berg anstellen würde, wo ja ein großer Teil der Atmosphäre unterhalb des Beobachters liegt, der Druck der Atmosphäre schwächer, deshalb auch die Höhe der Quecksilbersäule geringer sein.

Zur Entscheidung dieser Frage wurde von Clermont aus eine Expedition auf den Puy-de-Dôme unternommen. Mit größter Spannung sah man dem von Périer, Pascals Schwager, angestellten Versuch entgegen, und in der Tat fand man den Quecksilberstand oben um etwa 10 cm niedriger als unten in Clermont.

Durch diesen Versuch war der zweifellose Beweis erbracht, daß die Atmosphäre eine aus einem schweren Stoff bestehende Hülle bildet, die den Erdball allseitig umgibt.

§ 3. Bestandteile der Luft.

Über die eigentliche Beschaffenheit der Luft, jenes Stoffes, welcher die Hülle des Erdballs bildet, war man freilich zu Torricellis Zeiten noch ganz im unklaren. Erst im nächstfolgenden Jahrhundert, im Jahr 1773, gelang es Scheele, den Nachweis zu liefern, daß die reine, trockene Luft aus zwei verschiedenen Gasarten bestehe, welche wir heute mit dem Namen Sauerstoff und Stickstoff bezeichnen. Wie die Beobachtungen lehren, ist die Mischung dieser beiden Gase eine sehr gleichmäßige. Fast überall in den unteren Schichten der Atmosphäre und zu allen Zeiten wurde ein Verhältnis von 21 Raumteilen Sauerstoff und 79 Raumteilen Stickstoff gefunden, so daß das Gewicht eines Kubikmeters Luft etwa 1,293 kg beträgt.

In neuerer Zeit haben dann Lord Rayleigh und W. Ramsay gefunden, daß das, was man bisher Stickstoff genannt hat, außer dem reinen Stickstoff noch andere Gase enthält, das Argon, Neon und Krypton. Dieselben machen etwa 1% des atmosphärischen Stickstoffes aus.

Außerdem zeigt die atmosphärische Luft eine Reihe anderer gasförmiger und fester Bestandteile, wenn auch in geringer Menge. In erster Linie kommt hier der Wasserdampf in Betracht, der in sehr wechselnden Mengen von den kleinsten Werten bis zu etwa 4 Raumprozent in der Atmosphäre vorkommt.

Geringer, aber gleichfalls von hoher Bedeutung namentlich für das Leben auf der Erdoberfläche ist der Kohlensäuregehalt der Luft. Im Mittel beträgt derselbe etwa 0,03% des gesamten Volumens. Er ist größer in den Nachtstunden, kleiner im Laufe des Tages, da unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen die Pflanzen Kohlensäure zersetzen. Er ist ebenso größer bei fallender Temperatur und fallendem Luftdrucke, da dann das Austreten der Bodenluft, die durch die Zersetzung

organischer Substanzen überreich an Kohlensäure ist, wesentlich gefördert ist. Auch in Städten ist der Kohlensäuregehalt naturgemäß viel größer als auf dem Lande; in London z. B. erreicht er bei nebligem Wetter 0,14%. An manchen Orten ist derselbe oft noch weit größer: in Zigarrenfabriken ist ein Kohlensäuregehalt bis zu 0,44% beobachtet worden.

In weit geringeren Mengen kommen in der Luft Ammoniak, Ozon und verschiedene Säuren vor. Ammoniak bildet sich bei der Zersetzung organischer Substanzen; nach neueren Beobachtungen in Montsouris entfallen davon auf den Kubikmeter Luft etwa 0,02 mg; an manchen Orten jedoch, besonders in größeren Städten, wurden weit höhere Beträge gefunden. Durch den Niederschlag gelangt es bald wieder zum Erdboden zurück.

Noch kleiner ist der Gehalt eines Kubikmeters Luft an Ozon, einer besonderen Modifikation des Sauerstoffs, die sich unter dem Einfluß elektrischer Entladungen in der Atmosphäre bildet. Es entfallen auf 1 cbm im Durchschnitt nur 0,016 mg Ozon, nach Gewittern etwa 0,02 bis 0,03 mg.

Ebenso bildet sich unter dem Einfluß von Blitzentladungen durch Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff, wohl aber auch infolge der Einwirkung von Ozon auf Ammoniak bei der Zersetzung organischer Stoffe salpetrige Säure und Salpetersäure. Außerdem finden sich Spuren von schwefliger Säure, Schwefelsäure, Wasserstoffsuperoxyd und Wasserstoff. Die Anwesenheit des letztgenannten, sehr leichten Gases in der Luft ist deshalb von großem Interesse, weil es den größten Einfluß auf die Zusammensetzung der Luft in den höchsten Schichten der Atmosphäre haben muß. In den größten Höhen der Atmosphäre nimmt man jetzt die Anwesenheit eines noch leichteren Gases als Wasserstoff an, das man Geokoronium nennt und das sich in der grünen Spektrallinie des Polarlichtes kundgibt.

Unsere Atmosphäre enthält aber auch Fremdkörper der verschiedensten Art, die in ihr schweben und je nach ihrer Zahl und Größe eine Trübung der Luft hervorrufen. Die kleinen Fremdkörper bezeichnet man gewöhnlich mit dem Namen „Staubteilchen", obwohl sie nach neueren Untersuchungen vielfach nicht feste Bestandteile, sondern z. T. flüssiger Natur sind. Die Zahl der Staubteilchen ist eine ganz erstaunlich große. Selbst auf dem Lande und an der Meeresküste sind deren mehrere Tausend in einem Kubikzentimeter Luft enthalten, in Städten natürlich weit mehr, z. B. in Edinburg bei trübem Wetter 250 000 pro Kubikzentimeter. Auch auf dem Eifelturm, auf dem Rigi und Ben Nevis in Schottland wurden, wenn der Wind nicht vom Tale her wehte, mehrere hundert Staubteilchen in dem gleichen Luftraum gemessen; kam der Wind aus dem Tale, so stieg auch hier deren Zahl auf viele Tausend.

Besonders stauberzeugend wirken Gasflammen. So fand man, daß in einem Zimmer, worin der Staubgehalt 426 000 pro Kubikzentimeter betrug, derselbe bis zu etwa 46 Millionen stieg, als vier Gasflammen zwei Stunden lang gebrannt hatten! Wird gar noch geraucht, so steigt der Betrag schier ins Unmeßbare; die Zahl der Staubteilchen, die ein Zigarettenraucher in einem Zuge aussendet, wird auf etwa 4000 Millionen geschätzt.

Wie war es nun möglich, diese Zahlen zu ermitteln und die Staubteilchenzahl in einer so kleinen Luftmenge zu berechnen? Die Lösung dieses Problems ist erst vor einigen Jahren dem englischen Physiker Aitken gelungen. Ein bestimmtes Luftvolumen kann (vgl. § 34) bei einer gewissen Temperatur und unter einem gewissen Druck nur eine bestimmte Menge Wasserdampf aufnehmen. Ist die Luft mit Wasserdampf „gesättigt", so genügt eine geringe Abkühlung oder Ausdehnung, um eine Kondensation des Wasserdampfes

hervorzurufen. Eigentümlicherweise aber scheidet sich dieser Wasserdampf nicht ohne weiteres aus der Luft aus, sondern schlägt sich an den Wänden des Gefäßes, worin die Luft eingeschlossen ist, oder an darin enthaltenen Körperchen, vor allem an den „Stäubchen", nieder. Es genügt daher, die auf ihren Staubgehalt zu untersuchende Luft mit Wasserdampf zu sättigen und dann durch eine kleine Ausdehnung mittels einer Luftpumpe Kondensation eintreten zu lassen. Jedes Staubteilchen wird dann zu einem Kondensationskern, wächst zu einem kleinen Tröpfchen an und sinkt unter dem Einfluß der Schwere nieder. Läßt man diese Tröpfchen auf eine Platte, auf der ein Quadratmillimeternetz eingeätzt ist, oder, wie dies Aitken tat, auf einen Silberspiegel fallen, so ist es nicht schwer, mit Hilfe eines Mikroskops die Zahl der Tröpfchen zu ermitteln, welche aus einer Luftsäule von bestimmter Höhe (etwa 1 cm) auf 1 qcm auffallen. Dies ist dann die Anzahl, welche in einem Kubikzentimeter enthalten ist. Diese Zahlen sind so groß, daß die zu untersuchende Luft nicht unmittelbar in den Apparat eingeführt werden darf; man muß vielmehr zuerst einen Teil derselben mit einer größeren, aber genau bekannten Menge reiner, vollkommen staubfreier Luft aufs innigste mischen und nun mit dieser verdünnten Staubluft die Messungen anstellen. Sonst wäre die Anzahl der Tröpfchen, welche auf 1 qmm entfallen, so groß, daß an eine Zählung derselben nicht zu denken wäre.

Aitken hat mit diesem sinnreichen Verfahren bereits an den verschiedensten Orten Messungen unternommen, deren Ergebnisse vollkommen übereinstimmten. Aus den hohen Ziffern, wie wir sie oben kennenlernten, kann man einen Begriff von der außerordentlichen Kleinheit dieser „Stäubchen" gewinnen, die auch mit den besten Mikroskopen niemals wahrzunehmen wären. 100 000 Staubteilchen pro Kubikzentimeter sind in Städten gar nichts Besonderes, und in manchen Wohn-

räumen hat Aitken noch viel größere Zahlen gefunden. Trotzdem beträgt der Staubgehalt eines Kubikmeters Luft in einem Wohnzimmer durchschnittlich nur 1,6 mg. Hundert Staubteilchen würden hiernach noch weniger als ein Billiontel Gramm wiegen! In Fabrikräumen kommen allerdings größere Gewichtszahlen vor: in dem Putzraum eines Eisenwerks wurden 100 mg Staub pro Kubikmeter, in einer Filzschuhfabrik 175 mg ermittelt, und man darf annehmen, daß in solchen Räumen auch weit größere Staubteilchen vorhanden sind, welche die Luft verunreinigen.

Der Staub, der sich bis zu den Gipfeln unserer Berge, ja selbst auf dem Meere vorfindet und eine gewisse Trübung der Atmosphäre hervorruft, ist zweifelsohne auf die Zerreibung der festen Substanzen unserer Erdoberfläche und deren Verwehung, aber auch auf die Tätigkeit der Vulkane, welche (vgl. § 50) beträchtliche Mengen vulkanischen Staubs in ungeheure Höhen der Atmosphäre emporschleudern, zurückzuführen.

Die Frage nach der Natur der Aitkenschen „Stäubchen" ist erst in den letzten Jahren befriedigend beantwortet worden. Man hat beobachtet, daß unter gewissen Bedingungen auch bei sehr staubfreier Luft Kondensation eintreten kann; die Kondensation erfolgt hierbei an Kernen, die sich unter Einwirkung der Sonnenstrahlen rasch bilden. Die chemische Natur dieser Kondensationskerne steht jetzt ziemlich fest. In den hohen Schichten der Atmosphäre kommen hauptsächlich wässerige Tröpfchen von Stickstoffoxyden, von Wasserstoffsuperoxyd, ferner von Ammoniak und Nitraten in Betracht, in den unteren Schichten mehr hygroskopische Verbrennungsprodukte, die Oxyde des Schwefels und Rauch.

Der „Staub" mineralischer und organischer Natur spielt nach Wigand bei der Kondensation nicht jene wichtige Rolle, die ihm früher zugesprochen wurde; vor allem steht es fest,

daß man mit dem Aitkenschen Apparat nicht diese Stäubchen zählen kann, die in ihm gar nicht zur Wirkung gelangen. Dem Apparat gebührt demnach mehr der Name „Kernzähler“ statt Stäubchenzähler.

Nach Humphreys unterscheidet man bei der Staubtrübung der Atmosphäre drei Schichten. Die unterste, die bis etwa 1 km Höhe reicht, enthält die gröbsten Teilchen, die durch Verwehung und Zerreibung fester Substanzen entstehen; die zweite erstreckt sich bis zu einer Höhe von 3 bis 4 km und ist bedingt durch die während der Tageszeit auftretenden aufsteigenden Luftströme, welche die leichteren Teilchen weiter emportragen. Die dritte, welche die Schichte bis etwa 11 km umfaßt, hat ihren Grund in den großen Luftdruckstörungen der Atmosphäre.

In noch höheren Schichten finden sich gelegentlich nur äußerst feine Staubtrübungen vulkanischen und jene kosmisch-meteorischen Ursprungs.

Nicht so beträchtlich als die Zahl der Staubteilchen, aber immerhin recht groß ist die Zahl der die Luft bevölkernden Bakterien. Zu Montsouris und in Paris wird seit einigen Jahren der Gehalt der Luft an Bakterien gezählt, und die sich ergebenden Zahlen weisen deutlich auf den großen Unterschied zwischen Stadt und Land. Während in Montsouris nur 300 auf den Kubikmeter entfallen, beträgt ihre Zahl im Innern von Paris über 5400, im Sommer sogar noch viel mehr. Im Monat August entfallen auf Paris 8256, auf Montsouris 555, während im Januar nur 3074 bzw. 185 auf 1 Kubikmeter kommen.

§ 4. Physikalische Eigenschaften der Luft.

Die atmosphärische Luft ist somit im wesentlichen ein Gemenge von verschiedenen permanenten Gasen und Wasserdampf. Für die trockene Luft müssen daher ganz dieselben

Gesetze gelten wie für Gase überhaupt: es wird sich auch die Luft, wenn die Temperatur bei gleichbleibendem Drucke um 1° C steigt, um etwa $^1/_{273}$ ihres Volumens ausdehnen, während sich ihr Volumen vergrößern oder verkleinern wird, je nachdem der Druck ab- oder zunimmt. Temperatur, Druck und Volumen stehen eben bei jedem Gas in einer ganz bestimmten, durch das Mariotte-Gay-Lussacsche Gesetz ausgedrückten Beziehung, so daß durch zwei dieser Größen (etwa die beiden ersten) der Zustand des Gases vollkommen bestimmt ist. Im allgemeinen ist nun eine Zustandsänderung eines Gases nur durch Wärmezufuhr oder Wärmeentzug möglich, so daß, wenn man eine bestimmte Wärmezufuhr eintreten läßt, dann nur noch eine der Größen willkürlich geändert werden kann. So ist es möglich, jede Wärmezufuhr oder -abfuhr auszuschließen und nur den Druck zu verändern. Damit ist aber von selbst eine Änderung der Temperatur gegeben.

Wir können somit auch ohne Wärmezufuhr die Temperatur eines Gases durch bloße Vermehrung des Druckes erhöhen. Dieses letztere Gesetz ist für die Physik der Atmosphäre von außerordentlicher Wichtigkeit. Erhöht sich der Druck derart, daß er nicht mehr bloß einer Quecksilbersäule von 76 cm Höhe, sondern einer solchen von 77 cm das Gleichgewicht halten kann, so steigt schon deswegen die Temperatur der trockenen Luft um 1° C, und sie fällt um ebensoviel, wenn der Druck um dieselbe Größe, kurz ausgedrückt: „um 1 cm (oder 10 mm)", abnimmt.

Die feuchte Luft verhält sich anders, und darin besteht nun ein grundsätzlicher Unterschied zwischen trockener und feuchter Luft, ein Unterschied, welcher, wie besonders von Hann klargelegt worden ist, in der Meteorologie eine große Rolle spielt. Wir haben ja gesehen, daß eine gewisse Menge Luft bei einer bestimmten Temperatur nur eine gewisse

Menge Wasserdampf zu fassen vermag. Es wird sich also, sobald wir mit Wasserdampf gesättigte Luft abkühlen, notwendig ein Teil des Wasserdampfes ausscheiden müssen. Was ist aber die Folge dieser Kondensation des Wasserdampfes? Die Physik lehrt, daß eine Verdampfung des Wassers nicht möglich ist, wenn nicht eine gewisse, ziemlich beträchtliche Wärmemenge dem zu verdampfenden Wasser zugeführt wird. Rund 600 Kalorien[1]) sind nötig, um 1 g Wasser zu verdampfen; ebensoviel Wärme wird aber auch wieder frei, wenn sich 1 g Wasser aus der Dampfform kondensiert.

Lassen wir also an Stelle der trockenen Luft 1 kg feuchter, mit Wasserdampf gesättigter Luft treten und verringern wieder den Druck, ohne von außen Wärme zu- oder wegzuführen. Wird nun bei einer Druckabnahme um 10 mm die Temperatur wieder um 1° sinken? Keineswegs! Denn, wenn das Kilogramm gesättigter Luft sich um 1° abkühlt, so wird ein Teil, etwa 0,4 g, Wasser kondensiert. Da aber bei der Kondensation von 1 g Wasser 600 Kalorien, d. h. eine Wärmemenge frei wird, welche genügt, um 1 kg Luft um 2,5° C zu erwärmen, so muß in dem betrachteten Kilogramm gesättigter Luft eine Wärme frei werden, welche hinreicht, um diese Luftmenge um $0{,}4 \times 2{,}5 = 1°$ C zu erwärmen. Wenn wir nun den Fall vor uns haben, daß trotzdem durch Druckverminderung sich die Luft um 1° C abgekühlt hat, so war offenbar hier die doppelte Druckabnahme nötig, um diese Wirkung hervorzubringen. Bei gesättigter Luft müssen wir somit zuerst den Druck um 10 mm verringern, bloß um die bei der Kondensation freiwerdende Wärme, welcher ja eine Temperaturerhöhung von 1° entspricht, aufzubrauchen, worauf wir zur eigentlichen Abkühlung um 1° noch eine weitere

[1]) Wärmeeinheiten. 1 Kalorie ist jene Wärme, die nötig ist, um 1 g Wasser von 0° auf 1° C zu erhöhen.

Druckabnahme von 10 mm, alſo im ganzen eine ſolche von 20 mm, bedürfen. Dieſelbe Druckabnahme vermag alſo bei feuchter, geſättigter Luft nur eine Abkühlung um etwa den halben Betrag wie bei trockener Luft zu erzielen. Bei ſehr kalter, dampfarmer Luft iſt der Unterſchied viel geringer.

Erinnern wir uns an die Abnahme des Luftdrucks bei der Expedition Périers auf den Puy-de-Dôme! Um 100 mm war dort oben der Luftdruck geringer. Denken wir uns nun, es würde eine Luftmenge von der Erdoberfläche zur Höhe des Puy de Dôme erhoben. Infolge der Druckabnahme würde ſich dieſelbe, wenn ſie aus trockener Luft beſtünde, um 10° C abkühlen; dagegen würde, wenn ſie an der Erdoberfläche geſättigt wäre, der Druckabnahme um 100 mm nur eine Abkühlung von etwa 5° C, d. i. gerade die Hälfte, entſprechen. Eine Luftmenge, die vom Puy-de-Dôme herabgebracht würde, ſei ſie nun trocken oder feucht, wird ſich, da keine Kondenſation eintritt, umgekehrt um 10° C erwärmen. Unter dieſen Umſtänden erſcheint das Vorhandenſein des Waſſerdampfes in unſerem Luftmeere für die Dynamik der Atmoſphäre von der größten Wichtigkeit.

Bei trockener und feuchter Luft wird beim Abſteigen derſelben die Temperaturabnahme 1° pro 100 m betragen. Beim Aufſteigen haben wir für trockene Luft auch dieſen Betrag, aber für feuchte Luft iſt die Temperaturabnahme beim Aufſteigen nur etwa $^1/_2$° C, ſie iſt aber unter Umſtänden, wenn die Luft ſehr feucht iſt, noch geringer, wenn die Luft nur wenig Waſſerdampf enthält, dagegen etwas größer.

§ 5. Aufgabe der Meteorologie.

Nach dem Bisherigen können wir nun auch die Aufgabe der Meteorologie näher beſtimmen. Wir beobachten nicht bloß örtlich, ſondern auch zeitlich beträchtliche Unterſchiede im Zuſtand der Atmoſphäre. Wir beobachten Unterſchiede in der

Temperatur, im Druck, in der Zusammensetzung, insbesondere im Feuchtigkeitsgehalte, sowie endlich den Ortswechsel der Luft auf der Erdoberfläche. Woher kommen denn diese örtlichen Unterschiede und die Veränderungen im Laufe der Zeit? Die Auffindung ihrer Ursachen und der Gesetze, welche alle diese Unterschiede und Veränderungen bestimmen, sowie die Erforschung ihres Zusammenhanges — das ist die Aufgabe der Meteorologie.

Es ist ein allgemein physikalisches Gesetz, daß, wo immer fortlaufend und ohne Abschwächung Veränderungen sich zeigen, eine Zufuhr von Energie von außen in Form von Wärme oder in anderer Form stattfinden muß. Nach dieser äußeren treibenden Kraft, nach dieser Urquelle aller Verwandlungen im Luftmeer werden wir auch bezüglich der Atmosphäre zu suchen haben. Der vielfach periodische Verlauf dieser Veränderungen, wie die unmittelbare sinnliche Wahrnehmung wiesen den Menschen schon in den frühesten Zeiten auf die Sonne als auf diese Energiequelle und letzte Ursache aller Veränderungen in der Atmosphäre hin.

Somit wird die Behandlung der Strahlung, anscheinend des einzigen Weges, auf dem ein Energieaustausch zwischen Himmelskörpern möglich ist, speziell der Strahlung der Sonne, unsere erste Aufgabe sein müssen. Erst dann, wenn wir die letzte Ursache der atmosphärischen Vorgänge besprochen, können wir daran gehen, auch die Wirkungen dieser Energiezufuhr von der Sonne zu erörtern; wir können dann die Unterschiede in der Strahlung mit den Unterschieden in Temperatur und Druck in Zusammenhang bringen. Wir können ferner die Bewegungserscheinungen, den in letzter Linie gleichfalls auf Rechnung der Sonnenstrahlung zu setzenden Kreislauf des Wassers, seine Verdunstung und Kondensation, wie seine Rückkehr zur Erdoberfläche im Niederschlag erörtern, worauf wir uns zum Schluß den optischen, den elektrischen

Erscheinungen und dem Wetter zuwenden werden. Bei jeder einzelnen Erscheinung wird sich uns die Frage nach dem Warum aufdrängen; auf jede derselben die Antwort zu finden, das wird einen Teil unserer Aufgabe bilden.

§ 6. Die meteorologischen Beobachtungsnetze.

Wie alle anderen Wissensfächer, so begann auch die Meteorologie sich zur Wissenschaft zu erheben, als die Möglichkeit gegeben war, die Veränderungen in der Atmosphäre, die den Gegenstand ihres Forschens bilden, zu messen. Bald nach der Erfindung von Barometer und Thermometer um die Mitte des siebzehnten Jahrhunderts wurde das erste meteorologische Beobachtungsnetz von dem Herzog Ferdinand II. von Toskana begründet. Es waren meist Privatleute Physiker, Geistliche, Lehrer u. a., welche sich schon damals dem Beobachtungsdienste unterzogen. Auch an den Sternwarten wurden meteorologische Beobachtungen angestellt; ihnen verdanken wir unsere längsten, bis über 200 Jahre zurückreichenden meteorologischen Beobachtungsreihen und die Pflege der Meteorologie, ehe sich dieselbe noch zu einer selbständigen Wissenschaft entwickelt hatte.

Erst als die Beobachtungsnetze sich in allen Ländern erweiterten, als die Bearbeitung und Veröffentlichung der Beobachtungen die Kräfte der Sternwarten überstiegen, stellte sich das Bedürfnis heraus, eigene staatliche meteorologische Zentralanstalten zu begründen, welche die Stationen mit einheitlichen, geprüften Instrumenten zu versehen, deren Beobachtungen zu sammeln, zu prüfen, zu bearbeiten und zu veröffentlichen hatten.

Fast in allen Ländern bestehen heutzutage zahlreiche derartige Stationen, an denen dreimal im Laufe des Tages, gewöhnlich um 7 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 9 Uhr abends, entweder alle oder doch ein großer Teil der „meteo-

rologischen Elemente", d. s. Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Windrichtung, Windstärke, Bewölkung und Niederschlag, beobachtet wird. Deutschland besitzt, abgesehen von jenen Stationen, an denen bloß Regen oder Gewitter beobachtet werden, über 300, Österreich an 500, die Schweiz etwa 100 meteorologische Stationen, die anderen Staaten stehen darin den genannten durchaus nicht nach. Es ist klar, daß eine so große Zahl von Stationen die Tätigkeit der meteorologischen Zentralanstalten fast ganz in Anspruch nimmt; deshalb hat man vielfach den Wettervorhersagen- und Sturmwarnungsdienst von dem Dienste der Zentralanstalten vollständig getrennt. Aber auch für solche Beobachtungen, die teils kompliziertere Apparate, teils wissenschaftliche Vorbildung erfordern, wie die regelmäßige Beobachtung und Messung der Sonnenstrahlung, der Luftelektrizität, der Polarisation des Himmelslichtes und anderer Erscheinungen, welche für die Meteorologie unerläßlich sind, verbleibt an unseren Zentralanstalten leider fast keine Zeit.

Immer dringender ward daher das Verlangen nach eigenen meteorologischen Beobachtungsinstituten; Preußen besitzt in dem mustergültig eingerichteten meteorologischen Observatorium in Potsdam, Rußland in dem Observatorium zu Pawlowsk bereits ein derartiges Institut. Auch Frankreich hat einige sehr tätige kleinere Observatorien. In Montpellier hat man regelmäßige Messungen der Sonnenstrahlung vorgenommen, und in dem einzig dastehenden städtischen Observatorium in Montsouris bei Paris hat man auch regelmäßige Beobachtungen über die Zusammensetzung der Luft, ihren Gehalt an Bakterien und anderen schädlichen Beimengungen angestellt. Es ist sehr zu bedauern, daß nicht auch andere Städte derartige Observatorien besitzen.

Wollen wir jedoch auch Aufschlüsse über die Vorgänge in höheren Luftschichten erhalten, so dürfen wir uns nicht auf

Beobachtungen an der Erdoberfläche, wo ja örtlicher Verhältnisse halber mannigfache Störungen unvermeidlich sind, beschränken, sondern müssen nach Möglichkeit Beobachtungen aus höheren Schichten unserer Atmosphäre zu gewinnen trachten. Man hat sich deshalb in allen Ländern die Errichtung von Gipfelstationen angelegen sein lassen; von diesen ist diejenige auf dem Sonnblick in den Hohen Tauern (3106 m) die höchste ständig bewohnte Gipfelstation Europas, welche vermöge ihrer günstigen Lage, trefflichen Einrichtung und überraschenden Ergebnisse unstreitig die erste Stelle einnimmt. Aber auch die Beobachtungen auf der Zugspitze (2965 m) in Bayern, dem Säntis (2467 m) in der Schweiz, dem Obir (2043 m) in Kärnten, dem Pic du Midi (2877 m) und Puy-de-Dôme (1463 m) in Frankreich, dem Wendelstein (1728 m) in Bayern und dem jetzt leider eingegangenen Ben Nevis (1343 m) in Schottland, ja auch die auf dem nur 300 m hohen Eiffelturm in Paris haben unsere Kenntnisse der Atmosphäre merklich bereichert.

Dabei ist unumgänglich erforderlich, daß auf einer solchen Station ein ständiger Beobachter weile; niemals hätte man aus den Beobachtungen auf dem Sonnblick so mannigfaltige, neue und wichtige Ergebnisse zu erzielen vermocht, wenn nicht daselbst ein so tüchtiger und gewissenhafter Beobachter, wie der bekannte Peter Lechner, fast sieben Jahre hindurch jahraus jahrein die täglichen Beobachtungen angestellt und die Instrumente auf das beste besorgt hätte. Stationen, wie die auf dem Montblanc (in 4365 m Höhe und auf dem Gipfel in 4800 m), oder die noch höheren auf dem Charcani (5080 m) und Misti (5850 m) in Peru, wo nur für kurze Zeit Beobachter weilen oder bloß selbstschreibende Apparate ihre Aufzeichnungen machen, haben einen weit geringeren Wert. Oft versagen ja auch die besten selbstschreibenden Apparate, und auf dem Misti geschah es, daß Indianer die wertvollen In-

strumente stahlen und so die mit vielen Kosten errichtete Station lahmlegten.

Indes werden auch Beobachtungen auf möglichst freiliegenden Berggipfeln die Verhältnisse der freien Atmosphäre nicht ganz richtig wiedergeben. Die Erhebung des Erdbodens wird ja manche Störungen mit sich bringen; man war deshalb vielfach bestrebt, die Beobachtungen auf Berggipfeln durch solche im Luftballon zu prüfen und zugleich Kunde aus noch höheren Schichten zu erhalten. Glaisher hat solche wissenschaftliche Fahrten, freilich mit völlig unzureichenden Instrumenten, in England angestellt; später sind solche mit der sorgfältigsten instrumentellen Ausrüstung von Berlin aus unternommen worden. Etwa 10 000 m ist die größte Höhe, bis zu welcher man bei künstlicher Sauerstoffatmung vordringen kann, schon in 8000 m wird der Aufenthalt für den Menschen gefährlich.

Und doch hat man nicht darauf verzichten können, auch aus noch höheren Luftschichten Beobachtungen zu erlangen. Man hat dieses Ziel mit Hilfe von „Registrierballons", unbemannten, aber mit selbstschreibenden Instrumenten ausgerüsteten Ballons, zu erreichen gesucht und hierbei besten Erfolg gehabt. Nahezu 30 000 m Höhe, woselbst der Luftdruck nur mehr wenige Prozente des Luftdruckes an der Erdoberfläche betrug, sind solche Ballons schon emporgestiegen. Auch mit Hilfe von Drachen hat man selbstschreibende Apparate in die freie Atmosphäre emporgesandt. Viele tausend Meter Höhe wurden schon von Drachen erreicht.

Ein wesentlicher Unterschied besteht aber doch zwischen den an den Berggipfelobservatorien gesammelten und den durch die Ballons und Drachen gelieferten Beobachtungen. Die Bergstationen sind hoch in die freie Atmosphäre emporgehobene Observatorien, an denen laufend, Stunde für Stunde die meteorologischen Elemente und ihre Verände-

rungen aufgezeichnet werden können. Die Ballon- und Drachenaufstiege haben, auch wenn sie täglich erfolgen, doch nur den Charakter von Einzelbeobachtungen, die uns für einen gegebenen Augenblick über den Zustand der Atmosphäre in verschiedenen Höhen orientieren.

Natürlich trachtet man danach, auch Drachen und Fesselballons womöglich täglich hochzulassen, so daß die Gründung eigener aerologischer Institute, wie z. B. jenes von Lindenberg bei Berlin, sich als immer dringendere Ergänzung der meteorologischen Anstalten herausstellt.

Die Strahlung von Sonne und Himmel.

§ 7. Begriff der Strahlung.

Wo immer ein wärmerer und ein kälterer Körper einander gegenüberstehen, beobachten wir, daß von dem ersteren auf den letzteren Wärme übergeht. In betreff der Art, wie dieser Übergang erfolgt, müssen wir zwei Vorgänge unterscheiden. Wir beobachten einmal, beispielsweise bei einer in einem Gefäß auf eine heiße Herdplatte gestellten Flüssigkeit, daß die von dem heißen Herde zur kälteren Flüssigkeit übergehende Wärme zuerst die dazwischenliegende Gefäßwand erwärmen muß, derart, daß eine stetige Abnahme der Temperatur von der Platte bis zur Flüssigkeit eintritt und die Wärme allmählich von Schichte zu Schichte „geleitet" wird.

Ein anderes Mal, wenn wir uns z. B. einem heißen Ofen nähern, beobachten wir einen Wärmeübergang auf unseren Körper, ohne daß deshalb die dazwischenliegende Luft eine besonders hohe Temperatur zu besitzen brauchte; ja wir können sogar ein plattenförmig gestaltetes Stück Eis zwischen uns und den Ofen einschalten: die Wärme geht ungehindert