

Moderne Probleme der Wettervorhersage.

Von Univ.-Doz. Dr. Heinz Reuter, Wien.

Vortrag, gehalten am 23. Februar 1955.

Die Meteorologie ist die Wissenschaft, die sich mit den physikalischen Vorgängen in der Atmosphäre beschäftigt. Sie hat sich vor etwa 100 Jahren aus einem ursprünglichen Teilgebiet der Physik zu einer selbständigen Disziplin entwickelt. Trotz gewaltiger Leistungen auf dem Gebiete der beschreibenden Wetterkunde, als auch auf dem der theoretischen Meteorologie sind wir derzeit noch nicht in der Lage, eine in jeder Hinsicht befriedigende Lösung des schwierigen Problems der Wettervorhersage gefunden zu haben. Es wäre auch wohl vermessen, selbst gemessen mit dem Maßstab der rasanten technischen Entwicklung unseres Jahrhunderts, glauben zu können, daß hundert Jahre Forschung genügen, um den äußerst komplizierten Mechanismus der atmosphärischen Prozesse bereits genügend genau durchschaut haben zu können. Aber unbeirrt durch die teilweise recht gehässige Kritik der Öffentlichkeit werden auf der ganzen Welt von zahlreichen Forschern mühsam die Bausteine für eine Vervollkommnung des Gebäudes unserer Naturerkenntnis zusammengetragen.

Dadurch weist auch die Wetterprognose eine stetige, wenn auch nur sehr langsame, Verbesserung auf.

Die Grundlage für jede wissenschaftliche Wetterforschung bildet das Wetterbeobachtungsnetz. Nur wenn dieses entsprechend dicht ist und wenn die Beobachtungen genügend sorgfältig durchgeführt werden, kann das Studium der Wetterabläufe mit der von der Wissenschaft geforderten Genauigkeit durchgeführt werden. Auch die zeitgerechte, d. h. möglichst rasche, Übermittlung der an den verschiedenen Punkten der Erdoberfläche angestellten Messungen vom Beobachtungsort zu den die Ergebnisse auswertenden Wetterdienststellen ist für die Erstellung einer Wettervorhersage von ausschlaggebender Bedeutung. Ungeheure organisatorische Arbeit mußte von der W.M.O. (World Meteorological Organisation) geleistet werden, um ein solches die ganze Erdoberfläche überdeckendes, nicht zu weitmaschiges Netz von Beobachtungsstationen zu errichten und durch Einsatz der modernsten Nachrichtenmittel die Verbreitung der Beobachtungen in kurzer Zeit zu ermöglichen. Alle Kulturstaaten der Erde haben hierbei in beispielhafter Weise ihren Beitrag geleistet. Auf dem bewohnten Festland war die Lösung dieser Aufgabe noch relativ einfach. Aber erst nach dem zweiten Weltkrieg ist es gelungen, durch Einrichtung ortsfester Wetterschiffe die empfindlichen Lücken im Beobachtungsnetz auf den Weltmeeren zu verringern, da die wenigen Inselstationen nicht in

der Lage waren, ein einigermaßen genaues Bild des Wetterablaufes über dem Ozean zu vermitteln. Aber auch in die unwegsamen Gebiete der Arktis wurde in jüngster Zeit ein Vorstoß unternommen. Hatten die Meteorologen aus diesen Teilen der Erdoberfläche in früheren Jahren nur durch gelegentliche Expeditionen Wetternachrichten erhalten, so sind heute bereits zahlreiche Polarstationen in Betrieb, die uns laufend mit Wetterbeobachtungen versorgen. Als ganz besonderer Fortschritt muß jedoch die seit etwa zwei Jahrzehnten in Angriff genommene systematische Erschließung der „dritten Dimension“ für die meteorologische Forschung gewertet werden. Man hatte schon frühzeitig erkannt, daß den Vorgängen in der freien Atmosphäre, insbesondere in Höhen zwischen 5.000 und 10.000 m, für die Wetterentwicklung große Bedeutung zukommt. Aber lange Zeit war man beim Studium dieser Probleme auf die spärlichen Meldungen von Bergobservatorien und gelegentliche Ballonaufstiege angewiesen. Erst die moderne Radiotechnik schuf hier durch Konstruktion der sogenannten Radiosonden, das sind selbstregistrierende, von kleinen Ballonen getragene Meßinstrumente, die mit einem kleinen Kurzwellensender versehen sind, Abhilfe. Heute melden auf der nördlichen Hemisphäre etwa 400 Radiosondenstationen mehrmals täglich den physikalischen Zustand der freien Atmosphäre bis zu Höhen von über 20.000 m.

Es ist verständlich, daß die Methodik der Wetterprognose immer vom jeweiligen Stand des Wetterbeobachtungsnetzes abhängig ist. So waren die Meteorologen in den ersten drei Jahrzehnten unseres Jahrhunderts im wesentlichen auf die Bodenbeobachtungen angewiesen. Es ist daher ein großer Fortschritt, daß wir heute in der Lage sind, durch eingehendes Studium der Strömungsverhältnisse in der mittleren und hohen Troposphäre (5.000—10.000 Meter Höhe) unsere Kenntnisse über den Mechanismus der das Wetter bestimmenden Prozesse wesentlich erweitern zu können. Diesbezügliche Erfolge für die Methodik der Wetterprognose haben sich auch in letzter Zeit eingestellt.

Um dies besser verstehen zu können, ist es notwendig, einen kurzen Einblick in die Methodik der wissenschaftlichen Wettervorhersage vorzunehmen. Es ist wohl allgemein bekannt, daß die Meteorologen der sogenannten Luftdruckverteilung, speziell den Gebieten hohen und niedrigen Luftdruckes (Hochdruck- und Tiefdruckgebiete) besondere Beachtung schenken und auch abseits stehende Kreise haben sich vielfach schon angewöhnt, von einem „Hochdruckwetter“ oder einem „Tiefdruckwetter“ zu sprechen. Tatsächlich ist der Luftdruck ein physikalisch eindeutig definiertes, mit großer Genauigkeit meßbares Element, dessen flächenmäßige Verteilung für den Wetterablauf von großer Wichtigkeit ist. Dies kommt daher, daß aus der Luftdruckverteilung zu-

nächst ziemlich genaue Rückschlüsse auf die Windströmungen und deren Änderungen gezogen werden können, wodurch es weiters möglich wird, die Verlagerung der für die Wetterentwicklung so bedeutungsvollen verschieden temperierten Luftmassen zu erkennen. Aus der Luftdruckverteilung läßt sich auch auf vertikale Luftströmungen schließen, so daß die wolkenbildenden oder auflösenden Prozesse verfolgt werden können. Kurz gesagt, in der Luftdruckverteilung steckt, für den Fachmann ersichtlich, sozusagen in konzentrierter Form, das wesentlichste Wettergeschehen drinnen. Eine Voraussage der Luftdruckverteilung ist bei jeder Wetterprognose der erste und gleichzeitig bedeutungsvollste Schritt.

Das Studium der Höhenströmung, von dem früher die Rede war, hat nun ergeben, daß den Vorgängen in der Höhe bei der Verlagerung der Druckgebilde, insbesondere der Hoch- und Tiefdruckgebiete, eine besondere Rolle zukommt. Die Höhenströmung ist viel großräumiger, ausgeglichener und zeitlich viel weniger rasch veränderlich als das Bodendruckfeld. Das ist aber prognostisch von großem Wert. Man kann nämlich annehmen, daß gewissermaßen die Vorgänge in der Höhe steuernd auf das Wettergeschehen nahe der Erdoberfläche einwirken. Tatsächlich ist es auf diese Weise gelungen, Methoden auszuarbeiten, die es ermöglichen, die Bodendruckverteilung nahezu objektiv an Hand der Höhenströmung vorauszusagen, wenn auch in

manchen Fällen gewisse empirisch gewonnene Erfahrungen noch eine Rolle spielen. Dadurch wurde gegenüber der älteren Meteorologie ein wesentlicher Fortschritt erzielt und die Methodik der Wettervorhersage auf eine neue exaktere Basis gestellt. Schon während des zweiten Weltkrieges war diese Konstruktion von sogenannten „Vorhersagekarten“ ein nicht mehr wegzudenkender Bestandteil jeder Wettervorhersage und nach dem Krieg wurde die Methodik noch wesentlich vervollkommt. Dabei zeigte sich, daß gerade in den Kriegsjahren unabhängig voneinander in den verschiedensten Ländern, vornehmlich in Deutschland, England und Amerika etwas abweichende Konstruktionsmethoden entwickelt worden waren, die aber alle mehr oder weniger von der früher erwähnten Tatsache Gebrauch machen, daß den Strömungsverhältnissen in größerer Höhe bei der Wetterprognose eine große Bedeutung zukommt.

Wenn auch die eben geschilderte neue Methode der Konstruktion von Vorhersagekarten als ein bedeutsamer Schritt nach vorwärts auf dem dornigen Weg zu einer exakten Wettervorhersage anzusehen ist, haften ihr dennoch viele Unzulänglichkeiten an, da sie auf „Regeln“, aber nicht auf strengen Gesetzmäßigkeiten beruht. Es erscheint daher die Frage nur allzu berechtigt, ob nicht rein mathematisch-physikalische Methoden zu einer wirklichen „Vorausberechnung“ des Wetters angewendet wer-

den können, da wir eingangs betont haben, daß die Meteorologie ein Teilgebiet der Physik darstellt, mithin in die exakten Naturwissenschaften eingereicht gehört. Von Kritikern der Wetterprognose wird in diesem Zusammenhang bekanntlich gerne auf die exakten astronomischen Vorhersagen verwiesen, etwa die minuziöse Berechnung von Sonnenfinsternissen, die den Meteorologen ein Beispiel sein sollte. Es ist doch bei der hochentwickelten modernen Mathematik und mit Kenntnis der Gesetze und Prinzipien der theoretischen Physik sicherlich möglich, auch die Prozesse in der Atmosphäre mathematisch zu formulieren. Oder mangelt es etwa den Meteorologen an hinreichender theoretischer Vorbildung? Haben sich vielleicht noch nicht entsprechend fähige Theoretiker mit dem Problem einer mathematischen Wettervorhersage beschäftigt? Diese Vorwürfe sind entschieden zurückzuweisen. Schon bei der Geburt der modernen wissenschaftlichen Wetterkunde standen die Theoretiker Pate und auch für den Meteorologen ist es das höchste Ziel, die von ihm beobachteten Naturvorgänge durch die Gesetze der Physik zu erfassen und dergestalt einer mathematischen Behandlung zu unterwerfen. Aber bereits die ersten diesbezüglichen Versuche zeigten die ungeheuren Schwierigkeiten bei Beschreiten dieses Weges auf. Worin liegen nun gerade diese Schwierigkeiten, die so groß sind, daß auch die moderne Mathematik nicht ausreicht, sie zu überwinden? Schließlich hat die

Mathematik nicht nur bei der Himmelsmechanik, d. h. bei der Beschreibung der Bahnen der Himmelskörper, sondern auch bei vielen anderen äußerst komplizierten Naturvorgängen Triumphe gefeiert. Oder ist vielleicht das Problem der Vorausberechnung des Wetters kein eindeutig lösbares? Spielen hierbei etwa noch nicht bekannte Naturgesetze eine Rolle? Tatsächlich war es die erste Aufgabe der theoretischen Meteorologie, die eindeutige Determinierung des Wettergeschehens zu beweisen. Dies gelingt dann, wenn man zeigen kann, daß zur Lösung der verschiedenen unbekanntenen Größen genügend viele Gleichungen vorhanden sind. Schon vor etwa 50 Jahren hat der berühmte norwegische Theoretiker V. Bjerknes in dieser Hinsicht das Problem der mathematischen Wettervorhersage formuliert. Er konnte zeigen, daß es im Prinzip möglich ist, sieben räumlich und zeitlich veränderliche Größen, nämlich die Windrichtung und Windstärke, die vertikale Luftströmung, die Temperatur, den Luftdruck, die Luftdichte und den Wasserdampfgehalt, durch sieben Gleichungen der Physik in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit zu erfassen. Damit müßte grundsätzlich auch eine Vorausberechnung dieser Größen als erwiesen angesehen werden können. Gelingt es, die Gleichungen zu lösen, so ist die Wetterprognose auf eine exakte Basis gestellt, da die eben erwähnten sieben Größen im wesentlichen den komplizierten Naturvorgang beschreiben, den wir unter dem Sam-

melbegriff „Wetter“ verstehen. Wir könnten dann Windrichtung und Windstärke vorausberechnen, wir könnten Temperaturänderungen, aber auch Wolkenbildungen und Niederschlag rechnerisch erfassen. Und warum kann man die Gleichungen derzeit nicht lösen? Abgesehen davon, daß sie derart kompliziert sind, daß die meisten bekannten mathematischen Lösungsmethoden versagen, besteht noch eine grundsätzliche Schwierigkeit. Eine Vorausberechnung irgend einer physikalisch meteorologischen Größe, wie etwa der Temperatur oder des Luftdruckes, setzt voraus, daß ihre Verteilung zu Beginn der Berechnung hinreichend bekannt ist. Wir haben eingangs erwähnt, daß in letzter Zeit das Wetterbeobachtungsnetz zwar erheblich verdichtet wurde, doch sind die Lücken für eine wirklich kontinuierliche Erfassung noch zu groß. Weiters bereiten große Schwierigkeiten die sogenannten „Randbedingungen“ an der Erdoberfläche. Hier wird nämlich durch die verschiedenen orographischen Verhältnisse eine Modifikation der Luftströmungen vorgenommen, die in mathematischer Weise exakt zu formulieren, wohl unmöglich ist. Trotzdem sind auch in dieser Hinsicht im Laufe der Jahre gewaltige Fortschritte erzielt worden. Vor allem das Studium der „atmosphärischen Turbulenz“ in den Schichten nahe der Erdoberfläche zeigte Wege auf, diese einer mathematischen Behandlung so unzugänglichen Prozesse, dennoch in angenäherter Form rechnerisch zu erfassen.

Bei den ungeheuren Schwierigkeiten, die sich der Lösung des Problems der mathematischen Wettervorhersage entgegenstellten, war es verständlich, daß man zunächst versuchte, relativ einfache Teilprobleme zu behandeln. Wie wir früher erwähnt haben, ist ein wesentlicher Schritt bei jeder Wetterprognose die Voraussage der Luftdruckverteilung. Läßt sich nun nicht anstelle der oben geschilderten semi-empirischen Konstruktionsmethode die Luftdruckverteilung rein mathematisch aus dem gegebenen Anfangszustand etwa für 24 oder 48 Stunden vorausberechnen? Tatsächlich hat man dieses Problem in jüngster Zeit in Angriff genommen. Dazu versuchte man vorerst, die Verhältnisse nach Möglichkeit zu vereinfachen. Aus den oben angeführten Gründen beschränkte man sich bei diesen Berechnungen auf die Verhältnisse in der freien Atmosphäre, d. h. genügend hoch über der „Brandungszone der Erdoberfläche“. Man weiß aus Erfahrung, daß der Reibungseinfluß der Erdoberfläche nur in den seltensten Fällen noch eine wesentliche Modifikation der Luftströmung in Höhen über 3000—5000 m bedingt. Ausnahmen treten natürlich im Bereich höherer Gebirge auf. Wenn wir uns also die Aufgabe stellen, die Änderungen der Strömungsverhältnisse in solchen Höhen vorauszuberechnen, so können wir mit ganz wesentlich vereinfachten Gleichungen operieren. Natürlich handelt es sich dabei nur um ein Teilproblem der mathematischen

Wettervorhersage. Doch ist die prognostische Bedeutung von frühzeitig erkennbaren Änderungen in der Höhenströmung nicht zu unterschätzen, da wir früher betont haben, daß den Vorgängen in der freien Atmosphäre gewisse steuernde Eigenschaften für den Wetterablauf in Bodennähe zukommen.

Trotz der Beschränkung auf das eben geschilderte Teilproblem der Vorausberechnung der Luftdruckverteilung, bzw. der Strömungsverhältnisse in größerer Höhe waren die in den Gleichungen verbliebenen mathematischen Schwierigkeiten noch äußerst groß. Es bedurfte des Scharfsinnes namhafter Gelehrter, die Gleichungen derart umzuformen, daß sie auch tatsächlich gelöst werden konnten. Es ist seit langem in der Mathematik bekannt, daß es möglich ist, Gleichungen, die nicht mit einfachen Lösungsmethoden behandelt werden können, durch eine sukzessive Approximation anzunähern. Es gelingt dann durch diese sogenannte „Numerische Integration“ auf etwas umständliche Weise, doch lediglich unter Verwendung bekannter Rechenoperationen, jede noch so komplizierte Gleichung zu lösen. Einen Nachteil hat allerdings diese Methode. Auf Kosten der Vereinfachung der Rechenoperationen steigt die Mehrarbeit gewaltig an. Das mag bei manchen Problemen der modernen Technik keine allzu große Rolle spielen. Wird beispielsweise die Berechnung der Druck- und Spannungsverhältnisse an einem modernen Staudamm benötigt, so müssen die

entsprechenden Gleichungen auch durch „Numerische Integration“ gelöst werden. Aber hierbei spielt die Mehrarbeit, d. h. der dazu benötigte Zeitaufwand, keine allzu große Rolle. Selbst wenn die Berechnung mehrere Monate erfordert, ist das nur eine geringe Verzögerung des Baubeginnes. Bei unserem Problem der Vorausberechnung der Strömungszustände in der freien Atmosphäre ist dies aber anders. Hier muß die Rechnung in einem Bruchteil der Prognosezeit erledigt werden. Andernfalls kommt ihr keine prognostische Bedeutung zu und die Natur hat gewissermaßen das Problem rascher von selbst gelöst. Dieser Wettlauf mit der Zeit ist schon immer ein schier unüberwindliches Hindernis auf dem Wege zu einer mathematischen Wetterprognose gewesen. Hier hat erst die allerjüngste Zeit Abhilfe geschaffen. Wohl jeder hat durch immer wieder auftauchende Pressemeldungen von den modernen Elektronenrechenmaschinen gehört, die in unglaublich kurzer Zeit ein ganz außerordentlich großes Pensum an Grundrechnungsoperationen erledigen können. In etwas übereiltem Enthusiasmus über die ersten erstaunlichen Erfolge dieser modernen Wunderwerke der Technik, hat man von Elektronengehirnen gesprochen, denen man geradezu übermenschliche Eigenschaften zuschreiben zu müssen glaubte. Dies trifft nicht ganz zu. Dasjenige, was sozusagen „übermenschlich“ bei den Elektronenrechenmaschinen ist, ist die Geschwindigkeit, mit der die Rechnungen

erledigt werden. Die rein gedankliche Arbeit muß natürlich vom Menschen geleistet werden, der die Maschine zu bedienen hat. Für das in unserem Falle vorliegende Problem der Vorausberechnung der Strömungsverhältnisse in der freien Atmosphäre ist aber nach dem oben Gesagten gerade die Raschheit bei der Durchführung der Rechnungsoperationen von ausschlaggebender Bedeutung. Als man erstmalig im Jahre 1950 in Princeton am Institute for Advanced Study daran ging, für eine Fläche von rund 6000 km² mit Hilfe von Elektronenrechenmaschinen diejenigen Gleichungen zu lösen, die unter der vereinfachten Annahme einer rein horizontalen Strömung in einer reibungslosen, trockenen Atmosphäre die Änderung der Druckverteilung ergeben sollten, da mußte man feststellen, daß zur Berechnung einer nur zweistündigen Änderung eine Arbeit zu bewältigen war, die der Auflösung von rund 150 gewöhnlichen linearen Gleichungen mit ebensovielen Unbekannten gleichkommt. Und für eine 24-stündige Vorausberechnung mußte diese Rechenoperation 12-mal wiederholt werden. Eine ganz ungewöhnlich umfangreiche Arbeitsleistung! Man wird vielleicht die Frage stellen, warum man gleich die Berechnung für eine so große Fläche, wie 6000 km², anstellte und sich nicht mit einem kleineren Gebiet begnügte, wodurch auch das Arbeitspensum wesentlich verringert würde. Dazu ist zu sagen, daß bei einer 24- bis 36-stündigen Prognose dies nicht möglich ist, da in

solchen Zeiträumen bei den hohen Windgeschwindigkeiten in der freien Atmosphäre Luftmassenversetzungen von mehreren 1000 km möglich sind. Man kommt also nicht darum herum, die Berechnung für ein entsprechend großes Gebiet durchzuführen, um sicher zu sein, daß „Randstörungen“ nicht unkontrollierbare Fehler verursachen. Als man die eben geschilderte Rechnung in Princeton das erste Mal durchführte, fand eine Elektronenmaschine älterer Konstruktion Verwendung. Dabei zeigte sich, daß für eine 24-stündige Prognose beinahe dieselbe Zeit erforderlich, d. h. der Wettlauf mit der Natur noch nicht gewonnen war. Neuerdings konnte allerdings die Methodik durch Einsatz wesentlich verbesserter Maschinen weitgehend vereinfacht werden. Im Jahre 1952 und 1953 wurden entsprechende Rechnungen bereits in der erstaunlich kurzen Zeit von etwa einer halben Stunde bewältigt. Damit war der erste Schritt zu einer mathematischen Wettervorhersage getan. Sicherlich bleibt noch ein ungeheuer langer und mühsamer Weg zurückzulegen, bis wir das „Wetter“ werden wirklich vorausberechnen können. Aber man bedenke, daß auch die exakten astronomischen Vorhersagen erst nach jahrhundertelanger Forschung zu einem in jeder Hinsicht befriedigenden Ergebnis gelangt sind. In der theoretischen Meteorologie stehen wir erst am Anfang. Es wird zweifellos auch nicht an Rückschlägen fehlen, wenn die Forschung auf dem nun beschrittenen Wege

weitergeht. Aber das höchste Ziel jedes exakten Naturwissenschaftlers, die mathematische Beherrschung der Naturvorgänge und damit ihre Vorausberechnung, scheint durch die neueste Entwicklung auch bei den komplizierten atmosphärischen Prozessen nicht mehr in unerreichbarer Ferne zu liegen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1955

Band/Volume: [95](#)

Autor(en)/Author(s): Reuter Heinz

Artikel/Article: [Moderne Probleme der Wettervorhersage. 87-101](#)