

Synoptisch-meteorologische Forschung in der Gegenwart

Von H. FICKER, Wien

*Der Fortschritt in der (Schluß)
synoptisch-meteorologischen Forschung*

Um den Fortschritt in der wissenschaftlichen Auffassung der Wettervorgänge und dessen Rückwirkung auf die Verbesserung des Vorhersagedienstes klarzumachen, muß mit einigen Sätzen die Problematik der Synoptik von ihren Anfängen an betrachtet werden. Heute noch wie vor 80 Jahren ist die durch Linien gleichen Drucks (Isobaren) dargestellte Luftdruckverteilung über einem möglichst großen Erdgebiet die Grundlage der synoptischen Arbeit. Denn der Luftdruck ist lokal wenig beeinflußt, und von allen meteorologischen Elementen kann nur der Luftdruck auf Grund einer strengen Gesetzmäßigkeit, die in der sog. barometrischen Höhenformel zum Ausdruck kommt, auf das Meeresniveau reduziert werden. Obwohl die Luftströmungen in engster Beziehung zur Druckverteilung stehen, können sie wegen der sehr großen Abhängigkeit der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit von lokalen Faktoren nicht zur Grundlage der Untersuchung gemacht werden, wie einmal angeregt worden ist. Das in den sog. *Hydrometeoren* (Bewölkung, Niederschlag) sich auswirkende Wetter steht – und das gibt die Möglichkeit zu synoptischen Vorhersagen! – in enger Beziehung zur Druckverteilung: Tiefdruckgebiete (Zyklonen) sind Schlechtwettergebiete, und das gleiche gilt in erster Annäherung für Gebiete mit zyklonaler Krümmung der Isobaren, während Hochdruckgebiete (Antizyklonen) und Gebiete mit antizyklonaler Krümmung der Isobaren im allgemeinen Schönwettergebiete sind. Aufsteigende Luftbewegung in zyklonalen, absteigende Luftbewegung in antizyklonalen Gebieten wurden frühzeitig als Ursachen des Schlecht- und Schönwetters erkannt. Zyklonen und Antizyklonen sind bewegliche Gebilde, sie wandern meistens von Westen nach Osten, und damit verschieben sich auch die zugehörigen Wetterkomplexe. Wenn die isobarischen Gebilde und die mit ihnen verbundenen Wetterzustände sich während der Verschiebung nicht ändern würden, so müßte man nur die Zugrichtung und Zuggeschwindigkeit dieser zyklonalen und antizyklonalen Gebilde kennen, um das Wetter für den nächsten Tag auf Grund der heutigen Karte voraussagen zu können. Als man vor 70 Jahren verdienstliche, statistische Untersuchungen über die Zugstraßen der Zyklonen durchgeführt und die wichtigsten Zug-

straßen in Europa festgestellt hatte, war man in der Tat geneigt, das Problem der Wettervorhersage für den nächsten Tag als gelöst zu betrachten – ein Optimismus der Meteorologen, der zu einer großen Enttäuschung der Öffentlichkeit führte. Es gibt in Europa zu viele Zugstraßen der Zyklonen und es fehlten die Kriterien, um im einzelnen Fall zu bestimmen, welche Zugstraße eingeschlagen und mit welcher Geschwindigkeit die Verlagerung erfolgen wird. Dazu kommt, daß während der Verlagerung Zyklonen sich vertiefen oder ausfüllen, daß ihr Aufbau und damit auch die Wetterverteilung im Gebiete der Zyklone sich ändert. Man wußte nichts von der Druckverteilung in größeren Höhen und ihrem Einfluß auf die Wettergestaltung.

Der naheliegenden und einfachen Auffassung, daß die Tiefdruckgebiete warme, die Hochdruckgebiete kalte Luftkörper seien, wurde die Grundlage durch die Beobachtungen höherer Gipfelstationen (Sonnblick, Säntis) entzogen. J. v. HANN¹ wies nach, daß im Gegenteil die Zyklonen kalt, die Antizyklonen warm seien, so daß eine einfache thermische Erklärung dieser Druckgebilde nicht mehr möglich war, besonders nicht, wenn es sich nicht um entstehende, sondern um bereits wohlentwickelte Zyklonen und Antizyklonen handelte. Erst als man die Stratosphäre entdeckte, erkannte man, daß die Feststellung von HANN nur für die unteren Schichten, für die sog. Troposphäre Gültigkeit hatte, daß aber die Stratosphäre über Zyklonen warm und über Antizyklonen kalt ist. Dieses von niemand vorausgesehene Ergebnis der Aerologie eröffnete zunächst insofern keine günstigen Aussichten für die Entwicklung der synoptischen Prognostik, als die Druckverteilung am Boden, die ja durch Vorgänge in allen Höhen der Atmosphäre beeinflußt wird, in zunächst nicht übersichtlicher Weise durch das Zusammenwirken troposphärischer und stratosphärischer Vorgänge entsteht. Wenn zum Beispiel an der Erdoberfläche der Druck an einem Orte sich nicht ändert, so heißt das nicht, daß über diesem Orte in der Atmosphäre nichts passiert, da ja die Druckwirkungen troposphärischer und stratosphärischer Vorgänge einander gerade kompensieren können. Auf solche Verhältnisse ist man zuerst bei der Untersuchung kräftiger troposphärischer Kaltlufteinbrüche aufmerksam geworden, bei denen an der Erdoberfläche wegen des Ersatzes warmer Luft durch kalte, schwe-

¹ J. v. HANN, Wiener Sitzungsber. 100, 367 (1891).

rere Luft der Druck stark steigen müßte, während er in Wirklichkeit auf hohen Berggipfeln in der Regel und häufig genug sogar auch noch in der Niederung fällt, was nur möglich ist, wenn Einwirkungen aus hohen Schichten die troposphärische Druckwirkung überkompensieren. Auch die Untersuchung des damals noch höchst spärlichen aerologischen Materials stützte diese aus Bergbeobachtungen geschöpfte Erkenntnis. So mißlich es nun für die Prognostik war, daß im täglichen Wetterdienst die Stratosphäre nicht außer Betracht bleiben konnte, so gaben doch andererseits die Beobachtungen auf hohen Berggipfeln schon Anhaltspunkte zumindest für das Vorzeichen der stratosphärischen Druckwirkung.

Aus solchen und ähnlichen Untersuchungen über die Verlagerungen warmer und kalter Luft ergab sich die Auffassung, daß die Zyklonen aus warmen und kalten Luftströmen zusammengesetzt seien, die sich unter dem Einfluß der ablenkenden Kraft der Erdrotation wirbelartig zusammensetzen und einander an der Erdoberfläche verdrängen, woraus sich auch die Verlagerung der Zyklonen erklärt und wobei die Stratosphäre in einem vorerst nur qualitativ bestimmbar Ausmaße mitwirkt.

Nach Beendigung des ersten Weltkrieges erhielten derartige Untersuchungen einen mächtigen Impuls durch die von V. BJERKNES und seinen norwegischen Mitarbeitern ausgearbeitete *Polarfronttheorie* der Zyklonenbildung¹, durch die die theoretischen Arbeiten von M. MARGULES² wieder aufgenommen und fortgesetzt wurden und in praktischer Beziehung ein derartiger Fortschritt in der synoptisch-prognostischen Praxis erreicht wurde, daß V. BJERKNES selbst von denen als der Begründer der modernen Synoptik anerkannt werden muß, die manche Lehrmeinung der streng norwegischen Schule als zu einseitig ablehnen.

In der ursprünglichen Theorie von BJERKNES spielte die Stratosphäre noch keine Rolle. Die Zyklonenbildung wurde als rein troposphärischer Vorgang aufgefaßt, wobei die Zyklone sich zunächst als wellenartige Störung, als Deformation der Grenzfläche zwischen kalter Polarluft und warmer Subtropikluft entwickelt, mit zwei charakteristischen Grenzflächen (Fronten) an der Erdoberfläche, die zwischen sich den sog. Warmsektor der Zyklone einschließen. Die Weiterbildung geht dann so vor sich, daß der Warmsektor verschwindet, daß in den unteren Schichten nur mehr Kaltluft vorhanden ist, wobei die Zyklone ausgesprochenen Wirbelcharakter annimmt und zu einer «kalten Zyklone» im Sinne von HANN wird, allerdings dann auch schon in das Absterbestadium eingetreten ist. Diese Feststellung der zyklonalen Entwicklungsstadien samt den diagnostischen Kriterien erwies sich in der Folge als für die Synoptik äußerst wichtig.

Äußerlich unterscheidet sich eine gemäß den An-

schauungen von BJERKNES konstruierte Wetterkarte von den früheren dadurch, daß auf Grund von Temperaturunterschieden, von Windwechsel und Niederschlagszonen, Wolkenformen und Drucktendenzen die *Fronten* in die Karten eingezeichnet werden, oder auch, wenn der Warmsektor am Boden schon verschwunden ist, die sog. *Okklusion*. Denn das war auch eine der großen Erkenntnisse, daß die Niederschläge im Umkreis einer Zyklone vor allem in den Frontal- oder Okklusionszonen auftreten, weil hier aufsteigende Luftbewegung besonders begünstigt ist. Auf jeden Fall hat der Prognose eine möglichst eingehende, fast nach Rezepten zu erledigende Analyse der Wetterkarte, natürlich unter Mitbenützung des aerologischen Materials, vorauszugehen. Für die Prognosen ist nun wesentlich, daß man das Entwicklungsstadium der für das Prognosegebiet wichtigen Zyklonen feststellt. Zyklonen mit Warmsektoren vertiefen sich in der Regel noch, während okkludierte Zyklonen sich ausfüllen, ihre Beweglichkeit verlieren und absterben. Ebenso hatte BJERKNES erkannt, daß junge Zyklonen sich meistens in der Richtung weiterbewegen, die durch den Isobarenverlauf, bzw. angenähert durch die Windrichtung im Warmsektor angezeigt ist. In dieser Beziehung — rechtzeitige Erkenntnis der Zugrichtung und Zuggeschwindigkeit der Zyklonen — hat sich außerdem nach dem ersten Weltkrieg die Aufnahme der sog. Drucktendenz (Größe und Vorzeichen der Druckänderung während der 3 Stunden vor der Beobachtung) als äußerst nützlicher Behelf bewiesen. Die Gebiete stärksten Druckfalles zeigen im allgemeinen zuverlässig an, wohin die Zyklone zieht, und lassen in Verbindung mit der Größe der Drucksteiggebiete einen Schluß auf die Verlagerungsgeschwindigkeit zu. Kann man aber die Lage des Tiefdruckkernes für den nächsten Tag und den Verlauf der Fronten bzw. der Okklusionszone voraussehen, so hat man damit die wichtigsten Voraussetzungen zur Ausarbeitung einer Kurzfristprognose.

Von selbst führte die Polarfronttheorie — man unterschied übrigens bald zwischen einer «Arktikfront» und einer in niedrigeren Breiten verlaufenden «Polarfront» — zum genaueren Studium der an der Zyklonenbildung in mittleren und höheren Breiten beteiligten Luftmassen und ihrer Herkunft. Man unterschied Arktikluft, Polarluft, Tropikluft und Äquatorialluft kontinentaler oder maritimer Herkunft, die ihre charakteristischen Eigenschaften in Gebieten erhalten, in denen sie sich lange aufhalten, in der Regel also im Gebiete stationärer Hochdruckgebiete (Antizyklonen), denen sie entquellen. Bei der Wanderung der Luftmassen wandeln sie sich in charakteristischer, für die Prognose wichtiger Weise um, vor allem in den untersten, der Einwirkung der Erdoberfläche am meisten ausgesetzten Schichten. So war zum Beispiel schon lange bekannt, daß bei Kaltluftvorstößen in Europa aus Nordwesten die Luft bei ihrer langen Wanderung über den nordatlantischen Ozean im Winter in den bodennahen

¹ V. BJERKNES, *Dynamische Meteorologie* (Braunschweig 1912/13).

² M. MARGULES, *Meteor. Z.* 23, 241 (1906) — J.-v.-HANN-Band 243 (1908).

Schichten durch das warme Wasser des Ozeans so stark angeheizt wird, daß bei dem Einbruch in Mitteleuropa der Temperaturrückgang nur in höheren Lagen sich auswirkt, während am Boden sehr oft Erwärmung auftritt (maskierte Kälteeinbrüche), während umgekehrt bei dem Einbruch kontinentaler Arktikluft aus Nordosten der Erdboden im Winter eher konservierend auf die Kaltluft wirkt. Selbstverständlich kommen für andere Kontinente wieder andere Quellgebiete der Kalt- und Warmluftmassen in Betracht. Als wichtiger Behelf für die Verfolgung der Luftmassen bei ihren Wanderungen erweist sich dabei die sog. «äquivalentpotentielle Temperatur», eine Größe, in deren Berechnung außer der gewöhnlichen Temperatur auch der Wasserdampfgehalt der Luft einfließt und die ihren ursprünglichen Wert oft lange Zeit trotz aller horizontalen und vertikalen Verschiebungen behält, so daß sie sich zur Identifizierung einer Luftmasse in ihren verschiedenen, zeitlich aufeinanderfolgenden Lagen als sehr nützlich erweist.

Einer der großen Vorteile der Polarfronttheorie, in der viele frühere Erkenntnisse namentlich der österreichischen Meteorologen seit MARGULES subsumiert erscheinen, lag darin, daß im praktischen Wetterdienst das gefühlsmäßige Moment zurücktrat gegenüber einer Befolgung von Anweisungen auf Grund eines Systems, das gelernt und gelehrt werden konnte. Ob und wie weit die wissenschaftlichen Grundlagen des Systems zutrafen, war dabei nicht einmal so wichtig. Man kann sich die Entstehung einer Zyklone auch anders vorstellen als nach der Polarfronttheorie, aber wenn sie einmal gebildet ist, so verläuft die weitere Entwicklung in einer Richtung, die nach äußerlichen, durch eine gute Wetteranalyse feststellbaren Merkmalen abläuft. Es war deshalb der Einfluß der Polarfronttheorie auf Synoptik und Prognostik ein außerordentlicher, wie sie andererseits auch in außerordentlichem Grade auf die weitere wissenschaftliche Forschung auch bei den Meteorologen eingewirkt hat, die der neuen Lehre voller Kritik gegenüberstanden.

Hätte man zur Zeit, in der die Polarfronttheorie zuerst aufgestellt wurde, schon regelmäßig die Druckverteilung in großen Höhen nach Flugzeug- oder Radiosondenaufstiegen kartenmäßig darstellen können, so würde die Einseitigkeit und das in mancher Richtung nicht Zureichende der neuen Lehre von Anfang an vermieden worden sein. Aber in jener Zeit konnte die Einseitigkeit der Theorie eigentlich nur den Meteorologen auffallen, die sich bei ihren Wetteruntersuchungen vor allem auf die kontinuierlichen Registrierungen auf Bergstationen einerseits, auf den Ablauf von Wettervorgängen über sehr große Strecken hin andererseits stützten. In dem ursprünglichen Schema der Polarfronttheorie waren nur Vorgänge in der Troposphäre berücksichtigt, so daß also jedem Ersatz von warmer Luft durch kalte Drucksteigerung, dem entgegengesetzten Vorgang aber Druckfall entsprechen mußte. Nun

kommt es aber oft genug vor, daß bei Kaltlufteinbrüchen nicht nur in der Höhe, sondern auch in der Niederung der Luftdruck fällt, was in hohen Breiten stellenweise sogar die Regel ist. Daß man in solchen Fällen in der Höhe kompensierende Vorgänge annehmen muß, darauf wurde bereits hingewiesen, und die Bearbeitung des damals noch äußerst geringfügigen, durch die sog. internationalen Serienaufstiege gewonnenen Materials zeigte, daß die kompensierenden Vorgänge hauptsächlich in der Stratosphäre vor sich gehen müßten, von der ja ebenfalls durch Advektion kalter oder warmer Luft Druckwirkungen ausgehen müssen, die sich den troposphärischen überlagern und in der Regel auch noch das Vorzeichen der Druckänderungen auf hohen Bergobservatorien bestimmen. Es bildete sich die Auffassung, daß hauptsächlich die untere Troposphäre und die Stratosphäre der Schauplatz advektiver Luftmassenverlagerungen seien, während die obere Troposphäre eine mehr passive Rolle insofern spielt, als die hier auftretenden Temperaturschwankungen auf erzwungene Vertikalbewegung von Luftmassen zurückzuführen seien. In das Modell einer Zyklone müssen also notwendig auch stratosphärische Vorgänge einbezogen werden, wobei über das ursächlich genetische Verhältnis der troposphärischen und stratosphärischen Vorgänge zueinander zunächst nichts Sicheres ausgesagt werden konnte.

Dazu kam, daß eine Erklärung der sog. stationären Antizyklonen, von denen in der Polarfronttheorie zunächst überhaupt keine Rede war, ohne Mitbenützung stratosphärischer Vorgänge von vornherein nicht möglich war. Der durch die ganze Troposphäre herrschende hohe Druck kann, da die Antizyklonen bis zum Beginn der Stratosphäre hinauf sehr warm sind, entweder nur auf die Advektion kalter Luft in der Stratosphäre oder auf die Druckwirkung dynamischer Vorgänge, vielleicht aber auch auf ein Zusammenwirken beider Faktoren zurückgeführt werden, ohne daß mangels eines ausreichenden aerologischen Beobachtungsmaterials die Verhältnisse hätten geklärt werden können. Immerhin ließ sich auf Grund der Gipfelregistrierungen nachweisen, daß die Wetterentwicklung selbst in hohem Grade von stratosphärischen Einflüssen abhängig sein müsse. Es wurden sogar eine Reihe von Wetterregeln auf den Druck- und Temperaturverlauf namentlich der alpinen Gipfelstationen aufgebaut, die sich in der Praxis oft als sehr nützlich erweisen. Die beste, d. h. sicherste Regel besagt zum Beispiel, daß das Wetter besser wird oder das Schönwetter anhält, wenn auf den Gipfeln Luftdruck und Temperatur steigen. Die Brauchbarkeit dieser und ähnlicher Regeln wurde während des letzten Krieges in der Schweiz, die fast keine Wetternachrichten aus dem übrigen Europa bekam, durch BIDER geprüft. Weitere Versuche, diese Regeln weiter auszubauen und besser zu fundieren, wurden aber nicht gemacht, da die während des Krieges in allen kriegführenden Staaten entwickelte Radiosondentechnik bald in

ungeahntem Ausmaß die Konstruktion von Höhenwetterkarten gestattete.

Die ersten Topographien der 500-mb-Fläche, die im deutschen Wetterdienst bereits einige Jahre vor dem Krieg bearbeitet und veröffentlicht worden waren, hatten sofort die überraschend große Mitbeteiligung der Stratosphäre an der Wetterentwicklung erkennen lassen. Man sah unmittelbar, daß über den niedrigen kalten Wanderantizyklonen Zyklonen liegen, während warme Antizyklonen bis weit in die Stratosphäre hinaufreichen, wie andererseits gealterte, in den unteren Schichten von Kaltluft umflossene Zyklonen ebenfalls sehr hoch hinaufreichen, mit vertikal stehenden Achsen. Dem Verlauf der Isobaren und der dadurch bestimmten Strömungslinien in den Höhenwetterkarten hatte SCHERHAG bereits vor dem Kriege eine wichtige Regel entnehmen können: dort, wo in der Höhe die Isobaren divergieren, wird der Druck an der Erdoberfläche fallen, unter Konvergenzgebieten steigen. SCHERHAG gab folgende Erklärung: Im Divergenzgebiet der Isobaren paßt sich die Windgeschwindigkeit nicht sofort dem verminderten Druckgefälle an; der zu großen Windgeschwindigkeit entspricht dann eine zu große Ablenkung infolge der Erdrotation, die eine Bewegung gegen den Gradienten erzeugt und gewissermaßen Luft aus dem zyklonalen Gebiet herauspumpt, so daß der Druck an der Erdoberfläche fällt — im Gegensatz zur rein thermischen Auffassung der zyklonalen Entwicklung eine dynamische Erklärung¹. Unabhängig von allen theoretischen Überlegungen wird die Regel heute im Wetterdienst alltäglich und überall in einem Umfange verwendet, daß man sich einen Wetterdienst ohne Höhenkarten kaum vorstellen kann, auch in Ländern, die vor dem Kriege der Höhensynoptik keine oder nur sehr geringe Beachtung geschenkt hatten.

Der Nutzen der Höhenwetterkarten ist damit nicht erschöpft. Schon lange, ehe Topographien zur Verfügung standen, hatte man von einer «Steuerung» troposphärischer Vorgänge durch stratosphärische Einwirkung gesprochen, wenn zum Beispiel Kaltluftmassen sich in einer Richtung bewegten, die aus dem durch die kontrollierbare troposphärische Massenverteilung erzeugten Druckfeld nicht erklärbar war. So werden ruhende Kaltluftmassen oft durch einen aus der Stratosphäre stammenden Druckanstieg aktiviert, in Bewe-

gung gesetzt, gewissermaßen gesteuert. Die nun alltäglich zur Verfügung stehenden Topographien ließen aber bald eine «Steuerung» viel umfassenderer Art insofern erkennen, als der Verlauf der Höhenisobaren als maßgeblich für Richtung und Geschwindigkeit der Verlagerung von Fall- und Steiggebieten des Druckes und damit auch für die künftige Druckverteilung erkannt wurde. Als Regel gilt dabei, daß die isallobarischen Druckgebilde sich ungefähr mit der halben Geschwindigkeit der Strömung im 500-mb-Niveau verlagern. Auf Grund dieser Zusammenhänge konnte SCHERHAG bereits vor dem Kriege «Vorhersagekarten» des Luftdruckes für den nächsten Tag konstruieren, was dann während des Krieges von allen großen Wetterdienststellen nachgeahmt wurde. In vielen Fällen, in denen die Ergebnisse nicht befriedigend waren, konnte nachgewiesen werden, daß in solchen Fällen die Druckverteilung in noch größeren Höhen, die Topographien der 225- oder sogar 96-mb-Flächen entsprechen, die ausschlaggebende Rolle spielt.

Diese Höhensynoptik, verbunden mit einer möglichst genauen Feststellung der Fronten gemäß den Auffassungen der ebenfalls immer weiter ausgestalteten Polarfronttheorie, sind die Fundamente des praktischen Wetterdienstes der Gegenwart. Denn auch die Fronten- und Luftmassensynoptik wurde weiterentwickelt. So konnte RODEWALD nachweisen, daß besonders tiefe Zyklonen in oft außerordentlich kurzer Zeit dort zur Entwicklung kommen, wo drei verschiedene Luftströme verschiedener Herkunft zusammentreffen (Dreimasseneck), wobei die Entstehung nach der früher angedeuteten Divergenztheorie erklärt wird. Man kann aber sagen, daß alle theoretischen Erklärungen noch umstritten sind. Was nicht bestreitbar und maßgebend für den Fortschritt in der Prognostik ist, das sind die aufgedeckten Zusammenhänge im Nach-, Neben- und Übereinander der für die Wetterentwicklung wichtigen Erscheinungen. Wobei aber nicht vergessen werden darf, daß die Arbeit des Theoretikers nicht nur die aufgefundenen Zusammenhänge zu erklären hat, sondern in vielen Fällen die besten Wegweiser zur Auffindung noch nicht bekannter Zusammenhänge gibt, wenn auch in dieser kurzen Übersicht auf die Arbeiten von Theoretikern wie ERTEL, ROSSBY, SOLBERG, BJERKNES jun. und ihren Nutzen für die Weiterentwicklung der synoptischen Wetterkunde nur eben hingewiesen werden kann. Man darf auch nicht vergessen, daß die Forscher, die der modernen Synoptik die Wege gewiesen haben — M. MARGULES und V. BJERKNES —, Theoretiker gewesen sind. Auch wenn man zum Beispiel der Wellentheorie der Zyklonenentstehung ablehnend gegenübersteht, so werden die Arbeiten über die Stabilität der ersten wellenartigen Deformationen an den Fronten immer ihren Wert behalten.

Von anderen wichtigen meteorologischen Erkenntnissen des letzten Jahrzehnts läßt sich noch nicht sagen, wieweit sie sich in der praktischen Prognostik werden

¹ Eine andere, von THOMAS² gegebene, dynamische Erklärung starker Druckänderungen an der Erdoberfläche ging von einem Falle aus, in dem an der Erdoberfläche der Druck in 24 Stunden um mehr als 30 mb gestiegen war, während er in der Höhe von 15 000 m sich nicht geändert hatte. In der Stratosphäre war erhebliche Abkühlung advektiver Natur eingetreten, während die Temperatur in der Troposphäre sich fast nicht geändert hatte. Dieser Fall ließ sich nicht anders erklären, als daß die in großen Höhen einfließende Kaltluft die unterhalb liegenden troposphärischen Massen zusammengedrückt hatte, wie ein schwerer Stempel, wodurch in der Höhe die Möglichkeit zum Einfließen von Luft geschaffen wurde — ein Vorgang, dem zum weitaus größten Teil der starke Druckanstieg an der Erdoberfläche zuzuschreiben war; also eine Art von Einpumpen von Luft in das betrachtete Gebiet, freilich ein Einpumpen anderer Art als der von PALMÉN, SCHERHAG und anderen angenommene Vorgang.

² THOMAS, Meteor. Z. 52, 41 (1936).

ausmünzen lassen. In dieser Beziehung muß an die Eiskeimtheorie von BERGERON — ausgebaut durch FINDEISEN¹ — für die Niederschlagsbildung erinnert werden, die eine der wichtigsten Bedingungen für die Niederschlagsbildung zu unserer Kenntnis gebracht und eine Erklärung dafür gegeben hat, warum einmal Regen fällt, während ein anderes Mal bei scheinbar gleicher Wetterlage Regen und Schnee ausbleiben. Noch läßt sich aber nicht absehen, wann diese Erkenntnisse zu einer wesentlichen Verbesserung unserer Niederschlagsvorhersagen im täglichen Dienst führen werden.

Wenn die letzten Jahrzehnte seit Ende des ersten Weltkrieges zu großen Fortschritten in der Prognostik geführt haben, so ist dieser Fortschritt einerseits dem gewaltig anschwellenden, täglich einlaufenden Beobachtungsmaterial, andererseits den Ergebnissen der wissenschaftlichen Forschung zuzuschreiben. Man kann dabei fragen, ob und wann denn die Meteorologen imstande sein werden, wenigstens die alltäglichen Kurzfristprognosen mit absoluter Sicherheit auszuarbeiten bzw. das künftige Wetter mit Sicherheit vorauszuberechnen, da ja die Theoretiker bereits ein Gleichungssystem von genügendem Umfang zur Durchführung derartiger Berechnungen ausgearbeitet haben. V. BJERKNES² zum Beispiel hat an die grundsätzliche Möglichkeit einer exakt rechnerischen Lösung des Problems in der Zukunft geglaubt, während SCHMAUSS³ schon vor langer Zeit die Unmöglichkeit absolut richtiger Prognosen betont hat. Erst ERTEL⁴ hat aber nachgewiesen,

warum selbst bei streng kausaler Auffassung der meteorologischen Vorgänge eine eindeutige Wettervorhersage für Teilgebiete der Atmosphäre prinzipiell unmöglich sei, weil für die mathematische Behandlung des Problems natürliche Randbedingungen für die willkürlichen Grenzen der Teilgebiete vorhanden sein müßten, was nicht der Fall ist. Jede brauchbare Prognose kann daher grundsätzlich nur eine mit einer Unbestimmtheit behaftete Approximation sein, die natürlich trotzdem ein brauchbares Ergebnis liefert, sofern die Unbestimmtheit unterhalb der Erfordernisse des praktischen Lebens bleibt.

Die Arbeit des Prognostikers wird also nie ein ganz zweifelsfreies Ergebnis liefern können. Mit dieser Einschränkung werden sich die Meteorologen bescheiden und ihr Augenmerk darauf richten müssen, die Approximation immer genauer zu gestalten. Aber nicht nur die Meteorologen, sondern auch die Öffentlichkeit, die absolut richtige Prognosen wünscht, muß sich mit dieser Sachlage abfinden.

Summary

Since the first world war the reliability of weather forecasts based on synoptic maps has been greatly enhanced, owing on the one hand to the extraordinarily increased number of wireless weather reports, on the other hand to new scientific insight into weather developments gained up to now. Of especial importance were the data from high levels of the free atmosphere obtained by radio sounding, by which the construction of weather maps with contours was made possible. Scientific research after the first world war was based on the polar front theory of BJERKNES and his followers and was greatly furthered in the course of time especially by the understanding of the great importance of the occurrences in the stratosphere for weather development.

¹ FINDEISEN, Meteor. Z. 55, 121 (1938); 56, 365 (1939).

² V. BJERKNES, Meteor. Z. 36, 68 (1919).

³ A. SCHMAUSS, Das Problem der Wettervorhersage (Leipzig 1937).

⁴ H. ERTEL, Methoden und Probleme der dynamischen Meteorologie (Berlin 1938).

New Investigations on Enzymatic Glycolysis and Phosphorylation

By OTTO MEYERHOF¹, Philadelphia, Pa.

The achievements of the last decades in the fields of enzymology, intermediary metabolism, hormones, and vitamins are so overwhelming that one could be tempted to quote the ironic lines of GOETHE, spoken by the famulus Wagner in *Faust II*, as a serious interpretation of these endeavours:

Was man an der Natur Geheimnisvolles pries,
Das wagen wir verständig zu probieren,
Und was sie einst organisieren ließ,
Das lassen wir kristallisieren².

¹ Department of Physiological Chemistry, School of Medicine, University of Pennsylvania.

² GOETHE's *Faust II*:

The mystery which for man in Nature lies
We dare to test, by knowledge led,
And that which she was wont to organize
We crystallize instead.

However, simultaneously with this progress, with the elucidation of the self-sustaining cycles of intermediary enzymatic reactions, and with the purification and crystallization of many enzymes, hormones, vitamins, and viruses, much self-restraint and sobriety has returned. The biochemists and physiologists now repudiate the materialistic fantasies and boastings of their predecessors. In our view the organization of the cell, the living unity itself can not be explained by purely physical and chemical methods. We restrict ourselves, therefore, to the study of the physical and chemical reactions of these organized, self-perpetuating living units.

About 1900 BUCHNER was successful in separating from the living yeast cell the enzymatic system which