

Wilfried Schröder

Zur Rezeptionsgeschichte von Hans Ertels Buch „Methoden und Probleme der dynamischen Meteorologie“

Zusammenfassung

Die Entstehungs- und Wirkungsgeschichte des Ertelschen Buches „Methoden und Probleme der dynamischen Meteorologie“ wird im Rahmen der Entwicklung der theoretischen Meteorologie dargestellt. Die weltweite Auswirkung des Buches ist beachtlich und führte dazu, dass es sowohl im Lehr- als auch im Ausbildungsbereich der Meteorologie Anwendung fand. Zugleich stellt Ertels Buch aber auch die weitgehende Hinwendung zur mathematisch-physikalischen Begründung der meteorologischen Forschung dar.

1. Hinführung

Die Entwicklung der Meteorologie zu einer selbständigen naturwissenschaftlichen Disziplin vollzog sich erst in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Insbesondere partizipierte die Meteorologie von den Fortschritten in der Mathematik sowie Physik. Im Übrigen führte die rasche Entwicklung der benannten Fächer rasch dazu, dass diese Fragestellungen abgeben mussten. Mit der Erweiterung des Objektbereiches der Naturwissenschaften wuchs die Zahl ihrer Probleme. Die Fülle dessen, was dem Erkenntnisprozess gegenüberstand, wurde für die traditionellen Disziplinen Geographie, Geologie, Physik und Astronomie einfach zuviel, sodass eine „Ausdifferenzierung“ vieler Probleme notwendig wurde. Dafür wurden neue Disziplinen gefunden, die sich dieser Fragen annehmen konnten.

Die Hinwendung zur mathematisch-physikalischen Fragestellung in der Meteorologie ist u. a. durch die Namen von Helmholtz, Bjerknes, Margules sowie Exner gekennzeichnet. Um die Jahrhundertwende entwickelte sich die Meteorologie zunehmend von einer „beschreibenden“ zu einer „exakten“, den mathematisch-physikalischen Methoden verpflichteten Wissenschaft. Dass andererseits die traditionelle Physik der meteorologischen Forschung

eher abwartend gegenüberstand, zeigen Äußerungen von Max Planck. Anlässlich der Antrittsrede von Gustav Hellmann (1854–1939) am Leibniz-Tag des Jahres 1912 bemerkte Planck [21]:

„Wohl liegt die Hoffnung noch im weiten Felde, dass es einmal gelingen werde, durch eine passende Kombination der statistischen mit der dynamischen Methode, etwa im Sinne der Bestrebungen von V. Bjerknes, dem idealen Endziel aller meteorologischen Forschung: der Prognose, etwas näherzukommen“ (S. 12, Planck [21]).

Im Zusammenhang mit der Antrittsrede von Heinrich Ficker (1881–1957) im Jahre 1922 entgegnete Max Planck:

„Erst als zu der ursprünglichen Methode der rein statistischen Registrierung sich eine auf dynamische Prinzipien fußende Betrachtungsweise gesellte, wurde ein entscheidender Fortschritt spürbar, und wenn auch das von V. Bjerknes kühn ins Auge gefasste Ziel der vollständigen Integration aller maßgebenden Differentialgleichungen einstweilen sich noch als zu hoch gesteckt erwies, so darf doch die von diesem Forscher aufgestellte Polarfronttheorie als ein wichtiger Schritt auf dem eingeschlagenen Wege bewertet werden“ (S. 113, Planck [21]).

In diesem Problembereich der praktischen und der theoretischen Meteorologie waren indes neben Bjerknes von den österreichischen Forschern Max Margules (1856–1920) sowie Felix M. Exner (1849–1926) wesentliche Beiträge geliefert worden (vgl. hierzu die Beiträge von F. Lauscher und G. Skoda [16] sowie H. Reuter [22]). Margules' Beiträge zur Eigenschwingung der Atmosphäre, der Energie der Stürme, seine Ableitung der Drucktendenzgleichung, die Darstellung des Verhältnisses zwischen potentieller und innerer Energie einer Luftsäule sowie die Grenzflächenneigung bewegter Luftmassen müssen, wie dies auch Reuter hinreichend zeigte, als grundlegende Beiträge zu einer sich „mathematisch-orientierten“ Meteorologie gewertet werden. Vor nahezu 90 Jahren legte der bedeutende österreichische Gelehrte Felix M. Exner seine „Dynamische Meteorologie“ vor. Bereits in seiner Einleitung hebt er sich von der norwegischen Schule ab mit dem Hinweis, dass „man in dieser dynamischen Meteorologie die Rolle der Temperatur und ihrer Verteilung in der Atmosphäre besonders hervorgekehrt finden“ (wird) (Exner, 1917, S. V.). Exners Buch sowie sein Wirken waren es auch, auf das sich später Ertel nachdrücklich beziehen sollte.

2. Zur Entstehungs- und Wirkungsgeschichte des Ertelschen Buches

Die Ertelsche Monographie erschien in der Reihe „Ergebnisse der Mathematik und ihrer Grenzgebiete“. Als Verfasser wurde Ertel von seinen beiden Lehrern Julius Bartels (1899–1964) sowie Heinrich Ficker (1881–1957) vorgeschlagen. Dabei ist auffallend, wie sehr beide Gelehrte die geniale Begabung Ertels bereits sahen und ihn demzufolge förderten. Bemerkenswert ist dies darum, weil Ertels Dissertation „Theorie der durch Variationen des magnetischen Potentials induzierter Erdströme bei ungleichförmiger Leitfähigkeit der Erdrinde“ erst 1932 vorlag. Zu dem Zeitpunkt, als Ertel mit Auszeichnung promoviert wurde, war er längst für dieses neue Buch vorgesehen. Demzufolge wandte sich O. Neugebauer im Januar 1932 an den Springer Verlag mit dem Hinweis „Es handelt sich um ein Referat über ‚Dynamische Meteorologie‘ von Herrn H. Ertel. ... Herr Ertel ist ein ganz junger, offenbar überaus befähigter Mann, der sowohl von Bartels wie Ficker aufs Beste empfohlen ist“ (Brief an Springer, Archiv Springer-Verlag, Heidelberg). Die Wertschätzung, die in dieser Empfehlung liegt, ist symptomatisch für das Verhältnis von Bartels, Ertel und Ficker. Bartels und Ficker waren Ertels Lehrer an der Universität; beide haben bis zu ihrem Tode bei jeder denkbaren Gelegenheit ihren Schüler umfassend gefördert. Historisch anzumerken ist, dass Ertel seinen beiden, später international bekannten Lehrern, in zwei wunderschönen, zutiefst menschlichen Nachrufen, ein bleibendes Denkmal setzte.

Bereits 1933 zeichnete sich Ertels Konzeption klar ab; besonders entfernte er die Thermodynamik aus seinem Entwurf. Es war zunächst vorgesehen, dafür später einen gesonderten Band herauszugeben. Bartels hielt Ertels Bestrebungen für angemessen, so dass auch Neugebauer zustimmte. Neugebauer schrieb am 2.5.1933 an Springer u. a. Ich glaube, dass es sachlich wünschenswert wäre, wenn Herr Ertel einen zweiten Ergebnisse-Bericht über die Thermodynamik der Atmosphäre verfassen würde, da er gegenwärtig der denkbar kompetenteste Referent ist Arch. Springer-Verlag).

Nachdem Ertel bereits frühzeitig auf die konsequente Anwendung der Ergebnisse der Hydrodynamik für meteorologische Fragen abzielte, wundert es nicht, dass er in seinem Buch diesen Aspekten seine vornehmliche Aufmerksamkeit widmete. Bereits seine frühesten Arbeiten, z. B. der Beweis des Zirkulationstheorems von Bjerknes, die Arbeiten zum Variationsprinzip der atmosphärischen Dynamik, weisen diesen Weg [3–4].

Bereits in der Einleitung seines Buches umreißt Ertel die Aufgaben der theoretischen Meteorologie so: „Die Aufgabe der dynamischen Meteorologie besteht in der physikalisch-mathematischen Beschreibung der dynamischen

Vorgänge und statischen Zustände der irdischen Atmosphäre“ (Ertel 1938,1). Er bemerkt weiter: „Eine atmosphärische Erscheinung gilt demzufolge als ‚erklärt‘, wenn es gelungen ist, sie aus den bewährten Sätzen der Physik deduktiv abzuleiten“ (ebd., S. 1). Für Ertel sollte die Meteorologie mehr sein als ein „Konglomerat praktischer Faustregeln“; eine Ansicht, die sich wesentlich den Planckschen Vorstellungen näherte. Indes erinnern Ertels Hinweise auch an eine Einsteinsche Formulierung, der sagte „Höchste Aufgabe der Physiker ist also das Aufsuchen jener allgemeinsten elementaren Gesetze, aus denen durch reine Deduktion das Weltbild zu gewinnen ist“ (Einstein, S. 108 [2]).

In diesem Einstein’schen Sinne verstand Ertel auch die Aufgabenstellung seiner Arbeit und damit des von ihm verfassten Buches. Die Schwerpunkte seines Werkes galten den thermo-hydrodynamischen Grundlagen sowie der „Allgemeinen und Speziellen Dynamik der Atmosphäre“. Dabei legte er besonderen Wert auch auf den Abschnitt über die Grundgleichungen der Hydrodynamik. Es ist ganz interessant, dass einige Jahre später Haurwitz gleichfalls die Bedeutung der Hydrodynamik für meteorologische Zwecke betonte. Er schreibt: „The great progress of meteorology in recent years has been largely due to the application of the laws of thermodynamics and hydrodynamics to the study of the atmosphere and its motions“ (Haurwitz, S. V [15]). Übrigens hat er später für seine „Dynamic meteorology“ Ertels Buch als Vorbild verstanden.

3. Zur Rezeption des Ertelschen Buches

Das Buch wurde mit 1.200 Exemplaren aufgelegt. Es fand eine erstaunliche internationale Würdigung.

Von diesen Besprechungen führte die Batemansche unmittelbar zu einer weitergehenden Behandlung des Variationsprinzips, das Ertel 1933 in die dynamische Meteorologie eingeführt hatte (Ertel [3, 4]). Insbesondere hatte Bateman hervorgehoben, dass the variational principle of atmospherical dynamics given by the author in 1933 is a novel feature for a book on meteorology ... Bateman hatte bemerkt, dass durch die Transformation von Clebsch das Ertelsche Resultat mit dem Bjerknesschen Zirkulationssatz in einen einheitlichen Zusammenhang gebracht werden könne. Tatsächlich konnte Ertel 1939 zeigen, dass dies möglich ist (Ertel 1939). Ertel hob insbesondere die Bedeutung von Variationsprinzipien für die dynamische Meteorologie hierbei hervor. Er konnte dies später durch mehrere Arbeiten vertiefen. Fand das Ertelsche Buch bei den Mathematikern eine besondere Resonanz, so wurde es auch von Seiten der Prandtschen Schule sehr begrüßt (Tollmien 1938).

Zeitschrift	Rezensent
Acta Scientica Mathematica	Tóth
Ann. Hydrog. maritim. Meteorologie	Philipps
Bolletino Unione Matem. Italiana	?
Bulletin American Math. Society	Pekeris
Ciel et Terre	Van Mieghem
Jahrbuch Fortschr. Mathematik	?
L'Enseign. Mathematic	Buhl
Mathemat. Gazette	Brunt
Meteorologische Zeitschrift	Möller
Monatshefte. Mathematische Physik	Steinhauser
Naturwissenschaften	Blaton
Nieuw Arch. Wiskunde	von Dantzig
Physikalische Berichte	Israel
Physikalische Zeitschrift	Weickmann
ZAMM	Tollmien
Zeitschrift angewandte Meteorologie	?
Zeitschrift math. naturwiss. Unterricht	Litzmann
Zentralblatt Geophysik, Meteorologie und Geodäsie	A. Defant
Zentralblatt Mathematik	Bateman
Zentralblatt Mechanik	Gustafson

Tabelle 1: Verzeichnis der Rezensionen des Ertelschen Buches

Von diesen Besprechungen führte die Batemansche unmittelbar zu einer weitergehenden Behandlung des Variationsprinzips, das Ertel 1933 in die dynamische Meteorologie eingeführt hatte (Ertel [3, 4]). Insbesondere hatte Bateman hervorgehoben, dass the variational principle of atmospherical dynamics given by the author in 1933 is a novel feature for a book on meteorology ... Bateman hatte bemerkt, dass durch die Transformation von Clebsch das Ertelsche Resultat mit dem Bjerknesschen Zirkulationssatz in einen einheitlichen Zusammenhang gebracht werden könne. Tatsächlich konnte Ertel 1939 zeigen, dass dies möglich ist (Ertel 1939). Ertel hob insbesondere die

Bedeutung von Variationsprinzipien für die dynamische Meteorologie hierbei hervor. Er konnte dies später durch mehrere Arbeiten vertiefen. Fand das Ertelsche Buch bei den Mathematikern eine besondere Resonanz, so wurde es auch von Seiten der Prandtlschen Schule sehr begrüßt (Tollmien 1938). Insbesondere der Ertelsche Vorsatz, das physikalisch Wesentliche im atmosphärischen Geschehen herauszuarbeiten, fand allgemeine Zustimmung. Unter den Besprechungen sind vielleicht noch diejenigen von Van Mieghem sowie Blaton besonders bemerkenswert. Van Mieghem, der Ertels grundlegende Arbeiten besonders hoch schätzte und Ertel eine bemerkenswerte Verehrung entgegenbrachte, hat sich immer wieder auf dessen Resultate gestützt. An dem Blatonschen Referat ist bemerkenswert, dass er uneingeschränkt bemerkt, Ertels Buch „füllt eine fühlbar gewordene Lücke“ (Blaton 1938). Übrigens ist Ertel später auf die wichtige Blatonsche Arbeit „Zur Kinematik und Dynamik nichtstationärer Luftströmungen“ zurückgekommen (Ertel 1961; 1965). Ertel zeigte (1961), dass sich die lokale Richtungsänderung des Geschwindigkeitsvektors in nichtstationären Strömungen als Funktion geometrischer Eigenschaften der Trajektorien und Stromlinien aufzeigen lässt. Aus der für dreidimensionale Bewegungen gültigen Formel ergibt sich bei ebenen Bewegungen die Blatonsche Formel als Spezialfall. Insgesamt findet sich auch in den weiteren Besprechungen von Brunt bis Pekeris die anerkennende Einschätzung zur mathematisch eleganten Behandlung der auftretenden Probleme durch Ertel. Es war also die übrigens allen Ertelschen Arbeiten anhaftende Eleganz und Beweiskraft, die das Buch durchwegs positiv erscheinen ließ. Demzufolge war auch die internationale Resonanz bemerkenswert. Das Ertelsche Buch wurde weltweit sowohl in der Lehre als auch in der Ausbildung rasch benutzt. Dass in der internationalen Literatur dieses Buch relativ wenig erwähnt wird, liegt ebenso wie in vielen anderen Fällen an der damals bereits zu beobachtenden Selektion von nicht-englischen Arbeiten. Jedenfalls war das Ertelsche Buch im englischen Sprachraum nicht nur bekannt, sondern wurde als Vorbild für spätere Monographien benutzt. In der Forschung galt es als unersetzlich, wie spätere Ausführungen von Haurwitz, Landsberg, Priestly und Rossby zeigen.

Interessant ist auch die Rezeption des Buches im japanischen Raum. Recht frühzeitig wurde das Buch von S. Syono für den Lehr- und Forschungsbetrieb der Universität Tokyo herangezogen. Überhaupt galt das Ertelsche Buch in Japan als ein entscheidendes Grundwerk für die meteorologische Forschung. Die hohe Verehrung, die Ertel in Japan genießt, zeigte sich auch, dass die Japanische Meteorologische Gesellschaft seinerzeit einen Nachruf

auf ihn veröffentlichte. Syono war frühzeitig mit Problemen der atmosphärischen Dynamik befasst. So kam es auch, dass er alsbald das berühmte Ertelsche Wirbeltheorem von 1942 benutzte. Zwischen 1940–1948 publizierte Syono eine Serie von Beiträgen zu den atmosphärischen Störungen. Die Zeitumstände machten es auch in seinem Falle unmöglich, dass seine Beiträge international bekannt wurden. Er teilte damit das Schicksal auch vieler europäischer Forscher. In dieser Zeit mangelhafter internationaler Kontakte leistete er unabhängig von Rossby wichtige Studien zu den heute als Rossby-Wellen bezeichneten Vorgängen. Sowohl in dieser als auch in der späteren Zeit hob Syono die Bedeutung des Ertelschen Buches sowie der Ertelschen Forschungen insgesamt hervor.

Betrachtet man die von Ertel herangezogene Literatur (246 Zitate), so fällt das internationale Spektrum auf. Er hat alle wesentlichen in- und ausländischen Beiträge für seine Monographie herangezogen. Unter den Lehrbüchern treten besonders diejenigen von Bjerknes, Brunt, Emden, Exner, Lamb sowie Lichtenstein hervor. Interessant ist z. B., dass Ertel bei seinen späteren Arbeiten zu den Wirbelsätzen bzw. Vertauschungsrelationen das Lambsche Werk häufig heranzieht. Tatsächlich wurde von der späteren Lambschen Schule das Ertelsche hydrodynamische Werk besonders geschätzt. Von den in der damaligen meteorologischen Literatur vertretenen, namhaften Autoren finden sich bei Ertel alle wieder. Sowohl die Beiträge der „norwegischen Schule“ als auch diejenigen aus dem englischen Sprachraum wurden von ihm behandelt; eben diese umfangreiche Literaturkenntnis sowie deren Einordnung in das Gebäude der modernen dynamischen Meteorologie machten Ertels Buch so wertvoll. Die wichtigsten Arbeiten aus der österreichischen Meteorologie (Exner, Margules) waren ihm ebenso vertraut wie der Neubeginn der Rossbyschen Bemühungen. Ertels Mitarbeit am internationalen Projekt über isentrope Analyse machte ihn mit allen namhaften Autoren bekannt. Aus seiner Zusammenarbeit mit Carl-Gustaf Rossby erwachsen zwei beachtliche Arbeiten über einen neuen hydrodynamischen Erhaltungssatz (1949a, b).

4. Folgerungen

Ertels Buch markiert einen Wendepunkt in der Herausbildung der modernen dynamischen Meteorologie. Pekeris bemerkte, dass the mathematician will perhaps be surprised to learn that the difficulties in the study of the dynamics of our atmosphere are essentially of a mathematical nature. In fact this subject, as well as stellar hydrodynamics, offers a virgin field for the applied mathematician, and it is to be hoped that Ertel's monograph will serve to at-

tract the mathematical skill which meteorology needs. Dem ist nichts hinzuzufügen. Das Ertelsche Buch mit seinen vielen neuen Ergebnissen, aber auch mit der Aufzeigung und möglichen "Herangehensweise" an die ungelösten Aufgaben, markiert die Grundlegung der modernen Meteorologie. In konsequenter Fortführung konnte Ertel nach 1942 in der geophysikalischen Hydrodynamik international hoch anerkannte Beiträge leisten, die sich nach und nach als wesentliche Ausgangspunkte moderner Fragestellungen erweisen. Der Gedankenreichtum des Ertelschen Buches sowie insbesondere des Ertelschen Lebenswerkes bildet eine immer noch unerschöpfliche Quelle der Forschung.

So gesehen ist die Wiederkehr des 70. Erscheinungsjahres von „Methoden und Probleme der dynamischen Meteorologie“ ein Anlass, das Ertelsche Werk im Gesamtrahmen zu sehen. Die Anwendung der Ertelschen Arbeiten in der heutigen englischen Literatur (z. B. durch McIntyre und Mitarbeiter), die Wertschätzung seiner Resultate durch Dirac, Einstein, Heisenberg, Planck und Schrödinger u. a. im mathematisch-physikalischen Lehrgebäude lassen es notwendig erscheinen, seinem Werk in einer noch zu schreibenden Geschichte der Meteorologie und Geophysik einen Ehrenplatz zu geben. Bedenkt man die anfängliche Skepsis von Max Planck gegenüber der theoretischen Grundlegung der Meteorologie, so zeigen gerade Ertels Beiträge den Wandel, den letztlich auch Planck u. a. anerkannte.

Das Ertelsche Buch wirkte also in vielfacher Weise: in der Zusammenfassung der Probleme, den neuen Lösungen sowie der Wegrichtung der ungelösten Fragen.

Unveröffentlichte Quellen

Die Briefe von O. Neugebauer befinden sich im Archiv des Springer-Verlages, Heidelberg.

Danksagung

Ich danke Prof. Karl-Heinz Bernhardt für die Vorlage und Weiterentwicklung dieser Arbeit.

Literatur

1. Blaton, J.: Zur Kinematik und Dynamik nichtstationärer Luftströmungen. Warschau 1938.

2. Einstein, A.: Mein Weltbild, hrsg. v. C. Seelig, Berlin 1977.
3. Ertel, H.: Ein neuer Beweis des hydrodynamischen Zirkulationstheorems. S.-B. Preuß. Akad. Wiss., Phys.-math. Kl., XXVI, 436 (1933a).
4. Ertel, H.: Das Variationsprinzip der atmosphärischen Dynamik. S.-B. Preuß. Akad. Wiss., Phys.-math. Kl., XII, 461 (1933b).
5. Ertel, H.: Methoden und Probleme der dynamischen Meteorologie. Berlin 1938 und 1972.
6. Ertel, H.: Hydrodynamische Gleichungen in prae-kanonischer Form und Variationsprinzipien der atmosphärischen Dynamik. Meteorol. Z. 56, 105, 1939.
7. Ertel, H.: Sobre la variación del vector velocidad en corrientes no estacionarias. Gerlands Beitr. Geophys. 70, 52 (1961).
8. Ertel, H.: Grenzwert-Darstellung der Drehungstendenz des Bodenwindes. Monatsber. dtsh. Akad. Wiss. 7, 21 (1965).
9. Ertel, H. und C.-G. Rossby: A new conservation-theorem of hydrodynamics. Geofis. Pura e appl. XIV, Fasc. 3-4 (1949a).
10. Ertel, H. und C.-G. Rossby: Ein neuer Erhaltungssatz der Hydrodynamik. S.-B. Dtsch. Akad. Wiss., Kl. Math. u. allg. Naturwiss., Nr. 1 (1949).
11. Exner, F. M.: Dynamische Meteorologie. Wien 1916.
12. Gill, A.-E.: Atmosphere-Ocean Dynamics. London 1982.
13. Haurwitz, B.: Dynamic Meteorology. New York 1941.
14. Lauscher, F. und G. Skoda: Zum Gedenken an Felix M. Exner. Wetter und Leben 33, 94 (1981).
15. McIntyre, M. E. und P. H. Haynes: On the evolution of vorticity and potential vorticity in the presence of diabatic heating and frictional or other forces. J. atmosph. sci. 44, 828, 1987.
16. Namias, J.: Lecture. Namias-Symposium, 1-60 (1986).
17. Pichler, H.: Dynamik der Atmosphäre. Mannheim (1986).
18. Pedlosky, J.: Geophysical fluid dynamics. Berlin/New York 1987.
19. Planck, M.: Akademie-Reden. Berlin 1948.
20. Reuter, H.: Max Margules (1856-1920). Wetter und Leben 22, 221 (1970).