

**Lange, H. J.:** Die Physik des Wetters und des Klimas.  
– Ein Grundkurs zur Theorie des Systems Atmosphäre.  
– Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 2002. 625 S. EUR[D]  
36,00. ISBN 3-496-02747-9.

In dem vorliegenden Buch geht es um das Grundverständnis der atmosphärischen Vorgänge und ihrer quantitativen theoretischen Erfassung. Der Autor scheut sich nicht, gleich auf der ersten Seite dem Leser einen Spezialfall der Hamilton- und Gibbs-Theorie zuzumuten, Themen also, die in anderen Büchern gar nicht oder eher verschämt in Fußnoten erwähnt werden. Das hier angeschlagene Thema wird schrittweise und weit entfaltet und kulminiert am Ende im Entwurf einer Energie-Wirbel-Theorie, die vom Lange-Schüler Névir entwickelt wurde; darauf kommen wir gleich zurück.

Betrachten wir einmal das Inhaltsverzeichnis:

- Thermodynamische Grundlagen
- Hydrodynamische Grundlagen – Anwendungen der Grundgleichungen
- Divergenz, Wirbelgrößen und quasigeostrophische Dynamik
- Die feuchte Atmosphäre
- Die atmosphärische Grenzschicht
- Strahlung und atmosphärische Energetik
- Klima und Klimatheorien
- Der Einfluss der Chaostheorie
- Die Energie-Wirbel-Theorie der Hydrodynamik

Wie man sieht, steht die ganzheitliche Behandlung der Grundlagen des Fachs im Vordergrund. Dazu gehören auch die formal-mathematischen Grundlagen, und dementsprechend gibt es gleich vorne einen Exkurs zur Vektor- und Tensorrechnung und hinten vier Anhänge, von denen beispielsweise einer das für viele rätselhafte Gebiet der Funktionale und der Funktionalableitungen erläutert.

Im ersten eigentlichen Kapitel werden nun die thermodynamischen Grundlagen anhand der Gibbsgleichung und der Energiefunktion diskutiert; im zweiten Kapitel folgen die hydrodynamischen Grundlagen mit der allgemeinen Bilanzgleichung als Schwerpunkt. Diese beiden stellen das Grundgerüst dar, auf dem die weiteren Ableitungen des Buches aufbauen. Der erste Hauptsatz wird differentiell geschrieben und zwar als „reduzierte Gibbsform“: Die Änderung der inneren Energie wird zerlegt in eine systeminterne Änderung (Index  $i$  an der totalen Zeitableitung) und eine Änderung durch Wechselwirkung mit der Umgebung (Index  $a$ ). Diese Schreibweise hat gegenüber der integralen Formulierung, wie etwa Prigogine sie benutzt, den Nachteil, dass man totale Zeitableitungen mit Index einführen muss, die als eigene Operatoren gar nicht definiert sind. Der Leser möge damit leben, er bekommt jedenfalls den Unterschied zwischen isentrop, adiabatisch und reversibel in überlegener Manier erklärt (was gar nicht so einfach ist).

Im dritten Kapitel wird eine große Reihe von Anwendungen vorgestellt, im vierten dann die quasigeostrophische Theorie durchgegangen. Dabei fehlt weder der Hoskinsche  $Q$ -Vektor noch seine Verallgemeinerung als sogenannter *Névir*  $N$ -Vektor; aus diesem  $N$ -Vektor kann man außer der Vertikalgeschwindigkeit

auch die Horizontalkomponenten der baroklinen Sekundärzirkulation ableiten. Im Kapitel über die feuchte Atmosphäre wird der Kondensationsvorgang als Phasenwechsel mittels der chemischen Energie dargestellt – eine Betrachtungsweise, die man in Lehrbüchern unseres Faches sonst (zu Unrecht) kaum findet. Das Kapitel über die Grenzschicht befasst sich mit den gängigen Mittelungsmethoden und mit der turbulenten kinetischen Energiegleichung.

Wenn der Stoff der ersten sechs Kapitel dieses wenig konventionellen Buches noch am ehesten zum Standardrepertoire unseres Faches gerechnet werden kann, so bringt jedes der restlichen vier Kapitel eine Innovation aus jüngerer und jüngster Zeit. Im Kapitel 7 wird außer dem klassischen Lorenzschen Energiezyklus auch die Entropiebilanz unter Einbeziehung des Strahlungshaushaltes nach CALLIES und HERBERT behandelt. Im Kapitel 8 wird die kürzlich von HAUSCHILD (in Zusammenarbeit mit dem Autor) gefundene neuartige Trennung von Klima- und Wettervariablen dargestellt. In Kapitel 9 erhält der Leser eine recht tiefgehende Einführung in die Chaostheorie und die Rolle der dissipativen Strukturbildung.

Wer bis hier gelesen hat, wird vielleicht denken, dass eine solche Massierung theoretischer Konzepte unser Buch unleserlich und unverständlich machen muss. Aber das ist nicht der Fall. Trotz des wissenschaftlich hohen Niveaus der Darstellung ist das Buch gut zu verstehen – über manche Strecken wirkt es geradezu wie ein Lesebuch. In seinem Bemühen, die abstrakten Zusammenhänge anschaulich zu verdeutlichen, gelingen dem Autor immer wieder schöne Formulierungen. Hier eine Kostprobe von S. 71: *In  $\alpha \nabla$  ist der Nabla-Operator noch „hungrig“, während er in  $\nabla \alpha$  bereits „satt“ ist.* Oder (S. 139): *Die Trajektorie = ein Partikel, viele Zeitpunkte, dagegegen Die Stromlinie = ein Zeitpunkt, viele Partikel.*

Andererseits geht es dem Autor, im ganzen gesehen, nicht zuerst um Vollständigkeit oder gar um ein Sammelsurium möglichst aller Methoden, sondern eher um eine inhaltliche Geschlossenheit. Daher sollte man sich nicht wundern, wenn man manche Dinge, die nach gängigem Verständnis zum Standard der Theorie gehören, in diesem Buche nicht findet, oder gerade mal an versteckter Stelle. Ein Beispiel ist die Gasgleichung, die man im Inhaltsverzeichnis ebensowenig findet wie im sehr ausführlichen Register hinten! Was man auch nicht findet, ist eine hieb- und stichfeste Koordinatentransformation (vgl. S. 217 – der Verweis auf die Vorlesungen von Fortak im Literaturverzeichnis nutzt nichts, denn die sind so gut wie nicht zugänglich).

Aber solche Mängel, deren Liste sich fortsetzen ließe, sind bei jedem Buch leicht zu finden, und sie sind natürlich kein Einwand gegen dieses Buch. Sein Autor

hat als Schüler von Fortak das, sagen wir einmal, „Berliner theoretische Weltbild“ in sich aufgenommen. Hier aber reproduziert er es nicht einfachhin, sondern er stellt es eigenständig dar und fügt ihm neue Akzente zu.

Der wichtigste dieser Akzente ist nun die durch NÉVIR weiterentwickelte Energie-Wirbel-Theorie im krönenden Kapitel 10. In arg verkürzter Form kann man dies etwa so zusammenfassen: Die Bewegungsgleichungen lernt und begreift der Meteorologe und Physiker gewöhnlich als Aussagen über Kräfte bzw. Beschleunigungen. Beispielsweise besteht das geostrophische Gleichgewicht in der Balance von Druckfeldbeschleunigung und Coriolisbeschleunigung. In einer vertieften Darstellung, die gerade noch zum Kanon des Diplomstudiums an manchen Hochschulen zählt, werden die dynamischen Aussagen, d.h. die Beschleunigungen und damit die Bewegungsgleichungen, insbesondere die in krummlinigen Koordinaten, aus dem Energiesatz abgeleitet – wie kommt man sonst zum Verständnis beispielsweise der turbulenten kinetischen Energie in der Grenzschicht? Aber damit begnügt sich Lange nicht, und vor allem hat sich sein Schüler NÉVIR damit nicht begnügt.

In seiner Dissertation vor 10 Jahren hat Névir eine generalisierte Hamiltonsche Theorie der Hydrodynamik vorgelegt und diese in seiner Habilitationsschrift vor 5 Jahren, die Lange hier nun in Kurzform referiert, zu einer neuen Energie-Wirbel-Theorie verallgemeinert. Es ist vielleicht noch zu früh, die Reichweite der letzten Endes auf Fortak zurückgehenden innovativen Ansätze Névirs zu beurteilen. Wie es aber aussieht, könnte hier die moderne Berliner Schule, als deren Didaktiker Lange mit seinem Lehrbuch auftritt, ganz in der Stille eine Vision entwickelt haben, die das Potential hat, die bisherige Betrachtungsweise der Fluidgleichungen im Klimasystem zu revolutionieren.

Das Buch ist jedem zu empfehlen, der nicht zuerst nach Kochrezepten, sondern eher nach einem vertieften Verständnis der landläufigen meteorologischen Begriffe sucht, der schon immer verstehen wollte, warum man eigentlich die Entropie in der Meteorologie braucht, was es mit dem spektralen Gap auf sich hat oder warum die Schildbürger im Prinzip eine richtige Idee hatten, als sie versuchten, mit Waschkörben das Tageslicht in ihr fensterloses Rathaus zu tragen. Das Buch ist im eigentlichen Sinne theoretisch, d.h. es verlässt sich in seiner Argumentation weniger auf spezifische Beobachtungen als vielmehr auf einen, soweit dies möglich ist, axiomatischen Gedankengang. Das ist nicht jedermanns Sache, und schon gar nicht die einer rein anwendungsbezogenen Denkweise, die nicht nach schwierig zu erarbeitenden Zusammenhängen fragt, sondern nach dem schnellen Erfolg.

Kurzum: Dieses Buch, Frucht und Vermächtnis einer dreißigjährigen Lehrtätigkeit seines Autors, ist ein Glücksfall für nachdenkliche Zeitgenossen und – vielleicht sogar ein Ansatzpunkt für neue theoretische Aufbrüche im alten Europa, dem mancher das heute gar nicht mehr zutraut.

M. HANTEL, Wien

★★★★★ **Physik des Wetters und des Klimas**, 9. März 2004

Rezensentin/Rezensent: **a\_hauschild** aus Leipzig

Zielgruppe sind sicherlich an der Kontinuumsmechanik interessierten Physiker und Physikerinnen, Meteorologen und Meteorologinnen sowie verwandte Kollegen und Kolleginnen sowie theoretisch interessierte Studenten und Studentinnen der Meteorologie. Das Buch ist nur in deutscher Sprache verfügbar. Das ist fuer die, die es verstehen, ein Vorteil, fuer die anderen ein Nachteil.

Wer gerne die Kontinuumsphysik im Allgemeinen und die Atmosphaerendynamik im Besonderen verstehen moechte, wird dieses Buch schaeetzen lernen, aufgrund des 10.Kapitels muss ich fast sagen, er findet kein besseres, doch dazu am Schluss mehr.

Jeder gedankliche Schritt wird hier in einer klaren, nachvollziehbaren Sprache ausgefuehrt. Trotzdem ist das Buch gemessen am Inhalt kurz. Manche, deren Arbeiten hier vorgestellt werden, sagen, sie verstuenden ihre Arbeit nach der Lektuere des Buches besser als vorher.

Lange ist es gelungen, die hydrodynamischen und die thermodynamischen Aspekte der Atmosphaere einheitlich und zusammenhaengend darzulegen. Viele der Verstaendnisluecken hat er dabei selbst geschlossen. Die mathematische Beschreibung ist dabei natuerlich unverzichtbar und die eigentliche kritische Instanz.

Da hier (nur) die notwendige Mathematik genauso nachvollziehbar erklart wird, wie die Physik, lohnt das Buch auch, wenn man schon immer gerne z.B. die Funktionalableitung verstanden haette, ohne mehrere Semester Mathematik zu studieren.

Hoehepunkt des Buches ist zweifelsohne die Darstellung der Energie-Wirbel-Theorie von Nevir. Dies ist die erste frei zugaengliche Darlegung der Grundzuege der in den letzten Jahren entwickelten Theorie. Nevir leistet fuer die Hydro-Thermo-Dynamik, was Hamilton fuer die Mechanik leistete.

Es ist ihm gelungen die vollständigen konservativen Bewegungsgleichungen nur in Abhaengigkeit von Erhaltungsgroessen zu schreiben. Dabei erkennt man, dass die Kontinuumsmechanik keine Teildisziplin der Mechanik ist, sondern eine quadratische Struktur hat. Neben der Energie spielt die dem Kontinuum eigene Wirbelerhaltung eine ebenso grosse Rolle. Wirklich sensationell. Ich bin gespannt, ob das fuer den ersten Nobelpreis fuer einen Meteorologen reicht.

## Rezension

**H.-J. Lange: Die Physik des Wetters und des Klimas.**

Ein Grundkurs zur Theorie des Systems Atmosphäre  
Verlag Dietrich Reimer, Berlin, 2002. 625 Seiten.  
ISBN 3-496-02747-9

Um es vorweg zu sagen, das vorgelegte Buch von H.-J. Lange ist alles andere als ein nur neu hinzugefügtes zu schon existierenden meteorologischen Lehrbüchern im deutschsprachigen Bereich. Keines der entsprechenden jüngeren Monographien, etwa von Pichler, sei hier in irgendeiner Art geringer geschätzt und bei erfreulicher Unterschiedlichkeit in seinem Wert geschmälert, aber Langes Beitrag ist hochwillkommen mit seiner grundsätzlich neuen und physikalisch tief fundierten Betrachtungsweise. Das Vorwort des Autors ist sehr bewusst zu lesen, und seine dort formulierten Grundanliegen sind wach zu halten beim Lesen und Durcharbeiten über die 625 Seiten hinweg. Am Ende gekommen findet man diese Anliegen voll umgesetzt: das Festhalten und Zusammenfassen des gewachsenen und über etwa 30 Berufsjahre hinweg angesammelten Wissens eines Hochschullehrers für Theoretische Meteorologie an der Freien Universität Berlin als seine persönliche Bestandsaufnahme und die Weitergabe seiner gedanklichen Durchdringung des hochkomplexen physikalischen Systems „Erdatmosphäre“ in neuartiger Weise gegenüber „Lehrbuchklassikern“. Der Autor ist von Hause aus Physiker. Er dürfte mit seiner Herangehensweise aufhorchen lassen und sicherlich noch mehr Physiker und angewandte Mathematiker anlocken können, soweit diese aus ihren Forschungsbereichen heraus nach lohnenswerten Anwendungen suchen. Im Meteorologenkreis wird das vorliegende Werk unverzichtbar sein müssen. Es ist als Theoriebuch bemerkenswert anwendungsorientiert. Wer wie der Autor so Umfassendes bringt, lässt keinen Leser leer ausgehen. Seine Theoriedarstellung verschreckt nicht, sondern fasziniert. Eine Besonderheit besteht gerade in der gekonnten Ausschöpfung der deutschen Sprache als dem didaktischen Mittel für Einfachheit und Schönheit bei der Darlegung anscheinend schwieriger Sachverhalte. Insofern scheint eine adäquate Übersetzung ins Englische als Herausforderung nicht leicht, wenngleich sie zur internationalen Verbreitung sehr erwünscht ist. Es werden hier wesentliche theoretische Spitzenleistungen für die Meteorologie endlich ins Rampenlicht gebracht. Gemeint ist die Vermittlung moderner Konzepte wie der Strukturbildungstheorie, der Chaostheorie, die Einbeziehung von Strahlungsprozessen in die Gibbssche Theorie und in aller erster Linie die Verallgemeinerung der Hamilton-Theorie zu einer Energie- und Wirbel-Theorie, wie sie von Névir entwickelt wurde. Ich schliesse mich der Prophezeiung von Lange an, wonach das Letztgenannte von weitreichender Bedeutung für die nichtlineare Physik ist und Auswirkungen auf die Meteorologie bis hin zur Praxis der Modellierung und der physikalischen Diagnostik (besonders globaler Prozesse) haben wird. Das Buch fordert nach meinem Verständnis unausgesprochen zu wissenschaftspolitischen Konsequenzen auf, wonach der Stellenwert der meteorologischen Grundlagenforschung (immer im Sinne von *theoria cum praxi*) neu überdacht werden muss!

Es ist für die Vorgehensweise des Verfassers bezeichnend, dass er die „Thermodynamischen Grundlagen“ (Kapitel 1) an die Spitze stellt, ehe im Kapitel 2 die eigentliche

Hydrodynamik folgt. In der Regel wird in den bekannten Büchern als erstes die „reine Dynamik“ abgehandelt, dann scheinbar beziehungslos einiges an Thermodynamik angeschlossen, ehe eine Verknüpfung beider mit der Angabe des üblichen prognostischen Gleichungssystems erfolgt. Kapitel 1 enthält hier als Novum eine „Reduzierte Gibbtheorie“, die sich als inhaltlich gleichwertig erweist sowohl mit der „Thermodynamik der Hauptsätze“ als auch mit der Hydrodynamik. U.a. enthält das Kapitel auch eine Darstellung der Nichtgleichgewichts-Thermodynamik. Geschickterweise folgt danach und vor den „Hydrodynamischen Grundlagen“ (Kapitel 2) als vorsorglicher Einschub ein Exkurs über Vektoren und Tensoren, über meteorologische Anwendungen derselben mit interessanten Aspekten, über Tensorinvarianten, etc.. In Kapitel 1 findet man nicht, wie oft üblich, die feuchte Atmosphäre mit abgehandelt, sondern dafür ist Kapitel 5 vorgesehen. Von besonderer Güte ist das Kapitel 2. Hier werden korrekt die Bilanzgleichungen beliebiger Größen sowohl im Eulerschen als auch Lagrangeschen Sinne aufgestellt, was dann zu den Bilanzgleichungen für Impuls, Masse, Gesamtenergie, für die Einzelenergien und für die Entropie führt. Zur Diskussion steht dabei nicht nur ein homogenes System, sondern gründlich genug auch ein Mehrkomponentensystem. Der erkenntnistheoretische Clou des Kapitels ist die vom Autor vorgeführte „Reduzierte Gibbs-Theorie“, die mit der wechselseitigen Umrechnungsmöglichkeit Hydrodynamik – Thermodynamik eine „Gibbs’sche Hydrothermodynamik“ etabliert. Nach der meisterhaften Abhandlung von Grundlagen nennt der Autor das Kapitel 3 „Anwendungen der Grundgleichungen“. In diesem ist der dargebotene Stoff sehr vielfältig und in seiner Darstellung heterogen. Ich habe das Buch wirklich von Anfang bis Ende durchgelesen. Die inhaltliche Fülle macht es schier unmöglich, auf alle mitteilensamen Aspekte und „Rosinen“ dieses und auch der folgenden Kapitel einzugehen. Hier wird der Leser eingeladen, selbst zu schöpfen. Da das Buch einen hohen Anspruch auf Vollständigkeit anmeldet (auch eingedenk des gewählten Titels), ist man versucht, so ziemlich alles darin finden zu wollen. Zum grossen Teil ist das auch so. Ich hätte mir vorgestellt, das Kapitel 4 („Divergenz, Wirbelgrößen und quasigeostrophische Dynamik“) zum Teil mit in das Kapitel 3 einzubeziehen im Rahmen verkürzter Gleichungssysteme und im Sinne einer hierarchischen Filterung der Gleichungen. In dem Zusammenhang hätte ich mir auch eine rigorose Modenanalyse gewünscht, die die Einführung eines barotropen Modells an der betreffenden Stelle nicht so unmotiviert erscheinen liesse. Weiter hinten ist man dann als Leser aber befriedigt, weil alles ausgewertet und wieder in grundsätzliche Überlegungen und Erkenntnisse - auch mittels eigener numerischer Experimente des Autors - einfließt. Die Darstellung der „Atmosphärischen Grenzschicht“ (Kapitel 6) ist relativ geschlossen für sich lesbar und in der Darstellung von Grundsätzlichem sehr gut und umfassend. Extra erwähnt sei hier die Demonstration eines speziell konzipierten und vom Autor ausgeführten numerischen Experimentes zum Problem des nichtlinearen „Ekman-Pumping“, mit dem die Entstehung dissipativer Strukturen in Form einer „Front“ simuliert und diskutiert wird. In dem Zusammenhang wird auch ein interessanter Beitrag zur nichtlinearen Theorie des Low Level Jets beigesteuert. Das Kapitel 7 ist der Strahlung gewidmet. Das Bemerkenswerte dabei ist, dass dies im engen physikalischen Zusammenhang mit der Abhandlung der Atmosphärischen Energetik und Entropik geschieht. Um dem

Buchtitel gerecht zu werden, wird in Kapitel 8 zum Klima und zu Klimatheorien beigetragen. Ich finde es sehr glücklich, wenn ein solcherart Nichtklimatologe wie der Autor in einer sehr gelungenen Beschreibung über das vergangene und gegenwärtige Klimasystem nachdenkt und dabei auch die wissenschaftstheoretische Schwierigkeit der Klimaforschung berührt. Aus Untersuchungen in seiner Arbeitsgruppe an der FU vermittelt der Verfasser wichtige Hinweise zur Klimamodellierung. Dass auch ein Kurs durch die Chaostheorie (Kapitel 9) mit vielseitigen Bezügen zur Meteorologie enthalten ist, war zu erwarten. Man kann sich als Meteorologe dafür manches andere Traktat über Chaos schenken. Ein Anliegen des Autors ist es, die Übertragbarkeit dieser Theorie auf die Atmosphäre zu diskutieren. Das gelingt voll und ganz. Auch hier wird scharfsinnig und anschaulich vorgegangen. In Hinblick auf Anschaulichkeit sei an dieser Stelle auf die Abbildungen in dem Buch eingegangen. Abgesehen von den textunterstützenden Skizzen, die alle klar und sauber gelungen sind, bin ich mit der Qualität der Reproduktion mancher Abbildungen nicht einverstanden (z.B. auf den Seiten 353, 482, 483, 495 u.s.f.). Das Buch verdiente es, dass hier nicht drucktechnisch gespart wird. Eigentlich könnte das Buch mit dem Chaos-Kapitel abschliessen. Ein ausgezeichnetes Lehrbuch wäre damit schon gegeben. Der Autor präsentiert aber im Kapitel 10 noch eine gewichtige Zugabe, die in seinem unmittelbaren Arbeitsumfeld von Névir (1998) entwickelt wurde: „Die Energie- und Wirbeltheorie der Hydrodynamik und der Physik der Atmosphäre“. Durch genügend viele vorangegangene Bemerkungen und Gedankenverbindungen folgt dieses Kapitel sehr gefügig zu dem bis dahin Gebotenen. Der interessierte Leser bekommt hier die Chance, sich mit didaktischer Hilfe in eine fundamental bedeutsame Theorie einführen zu lassen. Ausserdem ist H.-J. Lange sehr zu danken, dass er mit dem Buch die Gelegenheit nutzt, zur verdienten Verbreitung der Névir'schen Arbeitsergebnisse beizutragen. Zum Schluss enthält das Buch wichtige Anhänge (Deformations-, Spannungsbeziehungen; Kugelkoordinaten und Kugelfunktionen; Wellen, Spektraltheorie; Funktionale, Funktionalableitungen), ein Symbolverzeichnis sowie ein ausführliches Sachwortverzeichnis. Das Literaturverzeichnis ist mit 76 Angaben relativ kurz gehalten und bezieht sich nur auf das Notwendige aus dem gegebenen Text heraus. Hier wären weitere Bezüge willkommen gewesen, die im Sinne eines Lehrbuches Hinweise für ein vertiefendes Studium auch von Inhalten, die nur kurz oder gar nicht vorkommen, geben. Ich habe keine Druckfehler in den wirklich zahlreichen mathematischen Formeln und Gleichungen gefunden, und in dem solcherart vorzüglich gedruckten Text finden sich nur geringfügige und sehr vereinzelt Druckfehler. Wir dürfen froh sein, dass es dieses Buch nun gibt.

Hans-Joachim Herzog  
<hans-joachim.herzog@dwd.de>

