

Lehrbuch

*Einführung Theoretische Meteorologie**)

– Bisher entdeckte Fehler/Inkonsistenzen –

Michael Hantel

*)<https://www.springer.com/de/book/9783827430557>

24. Mai 2019

UNIVERSITÄT WIEN, INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND GEOPHYSIK

- S. 13, Gleichung (1.37). Hier sollte der Text (ab "Die Atmosphäre hat also...") besser so lauten: Wenn man (1.36) über den Druck von 0 bis p_s integriert (mit $\Delta p = p_s \approx 1000 \text{ hPa}$), so erhält man:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_0^{p_s} T dp = -\frac{g}{c_p} \underbrace{(F_p(p_s) - F_p(0))}_{=\Delta F_p} \quad (1.37)$$

mit $\Delta F_p \approx 100 \text{ W/m}^2$. Als vertikaler Mittelwert geschrieben lautet das:

$$\frac{\partial \hat{T}}{\partial t} = -\frac{g}{c_p} \frac{\Delta F_p}{\Delta p} \approx -10^{-5} \text{ K/s} \quad (1.38)$$

Das entspricht einer Abkühlung von etwa 1 K pro Tag, die zur Folge hätte, dass die Dynamik der Atmosphäre nach einigen Wochen "tot" wäre.

Soweit die Verbesserung des Textes. Dazu noch folgender Kommentar: Die Strahlungsfluss*differenz* ΔF_p zwischen Unter- und Oberrand der Atmosphäre wird gern, aber ungenau, als klimatische Strahlungsfluss*divergenz* angesprochen. Auch der Quotient $\Delta F_p/\Delta p \approx 1 \text{ mm/s}$ ist keine korrekte Strahlungsflussdivergenz, ebensowenig wie die Größe $g \cdot \Delta F_p/\Delta p \approx 10^{-2} \text{ W/kg}$. Die Strahlungsflussdivergenz in der richtigen Einheit W/m^3 ist durch (1.35)Ha gegeben.

- S. 20, Abb. 1.9: Die im zweiten Satz der Legende angegebenen Einheiten sind falsch; statt ' μm ' sollte es zweimal ' m ' heißen.
- S. 83, Gleichung (6.63). Das α im Nenner des 1. Terms in der runden Klammer ist zu tilgen. D.h. diese Klammer muss richtig lauten:

$$c_v dT = T \frac{\partial s(T, \alpha)}{\partial T} dT + \left(T \frac{\partial s(T, \alpha)}{\partial T} - p \right) d\alpha \quad (6.63)$$

- S. 83, Gleichung (6.64). Im 1. Bruch ist e durch u zu ersetzen. D.h. diese Gleichung muss richtig lauten:

$$c_v = \frac{\partial u(T, \alpha)}{\partial T} = T \frac{\partial s(T, \alpha)}{\partial T} \quad (6.64)$$

- S. 89, erste Spalte der Tabelle: Hier lautet die vierte Formel im Druck $Q = \int_1^2 ds$. Das ist falsch, sie sollte richtig lauten: $Q = \int_1^2 T ds$. Danach wäre Q die zugeführte Wärme, die sich aus den Einzelschritten $T ds$ durch Integration ergibt.

Diese Terminologie ist aus zwei Gründen unglücklich. Einmal ist der Buchstabe Q bereits für die *Heizungsrate der Atmosphäre* oder einfach *Heizung* vergeben, vgl. Formeln (1.32)Ha und (6.93)Ha. Zweitens ist $\int_1^2 T ds$ eine massenspezifische Größe, sollte also nicht mit einem Großbuchstaben notiert werden. Die damit notwendige Umbezeichnung nehmen wir so vor, dass wir dieses Integral die (natürlich massenspezifische) *Wärmezufuhr* nennen:

$$\frac{W}{M} = \int_1^2 T ds \quad (89.1)$$

W in der Einheit J ist die eigentliche zwischen den Zuständen 1 und 2 dem System zugute gekommene Wärmezufuhr (oder einfach *Wärme*), M die Masse des Systems, W/M also die spezifische Wärmezufuhr.

Dadurch ist der Buchstabe W für die fünfte Formel von Spalte 1 verbraucht. Die hier ebenfalls notwendige Umbezeichnung nehmen wir so vor, dass wir die geleistete mechanische Arbeit (in der Einheit J) als A bezeichnen. Die spezifische Arbeit ist dann entsprechend

$$\frac{A}{M} = - \int_1^2 p d\alpha \quad (89.2)$$

A/M ist die spezifische Arbeit (in den Lehrbüchern vielfach als W oder auch ΔW bezeichnet). Danach muss die Tabelle auf S. 89 richtig lauten:

	isobar $dp = 0$	isentrop $ds = d\Theta = 0$	isotherm $dT = du = dh = 0$
$p_2 - p_1$	0	$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{1/\kappa}$	$\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = -\frac{1}{R}(s_2 - s_1)$
$s_2 - s_1$	$c_p \log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$	0	$-R \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$
$T_2 - T_1$	$\frac{\Theta_2 - \Theta_1}{\Theta_1} T_1$	$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^\kappa$	0
$\frac{W}{M} = \int_1^2 T ds$	$c_p (T_2 - T_1)$	0	$T(s_2 - s_1) = -R T \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$
$\frac{A}{M} = - \int_1^2 p d\alpha$	$-R (T_2 - T_1)$	$c_v (T_2 - T_1)$	$- \int_1^2 T ds = R T \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$

- S. 106 (*Kurz und Klar*), Formel (III.17): Der 2. Term soll nicht f^*v heißen, sondern f^*u .
- S. 123: In der Legende von Abb. 8.4 fehlt in der letzten Formel ein Schrägstrich. Diese Formel muss richtig lauten: $\boldsymbol{\Omega} = \boldsymbol{\kappa} d\beta/dt$.
- S. 133, Formel (8.49): Hier wird Formel (8.50) durch den Zwischenschritt der Projektion von (8.47) auf den Einheitsvektor $\boldsymbol{\kappa}$ abgeleitet. Dadurch gewinnt man die letzte Formel von (8.49), und da erscheint nun der s -Gradient von Φ in Richtung von $\boldsymbol{\nu}$, und das ist verwirrend (obwohl richtig, denn er ist Null, egal in welcher Richtung). Stattdessen reicht es, wenn man die Einheitsvektoren $\boldsymbol{\kappa}, \boldsymbol{\sigma}$ und $\boldsymbol{\nu}$ in (8.47) einbringt, wobei man als Orthogonalitätsrelation die mittlere Formel von (8.8) beachtet. Dadurch bekommt man sofort die vektorielle Version von (8.50). Dieser Vektor ist Null, also sind es beide Komponenten, und das ist es, was (8.50) sagt.

Der ganze Zwischenschritt mit Formel (8.49) ist daher unnötig: Man kann einfach (8.47) in Komponenten schreiben und erhält unmittelbar (8.50), das Ergebnis ist in beiden Fällen gleich. Man betrachte daher den Absatz vor und nach Formel (8.49) als gewollt komplizierte Fingerübung für den Umgang mit den natürlichen Koordinaten.

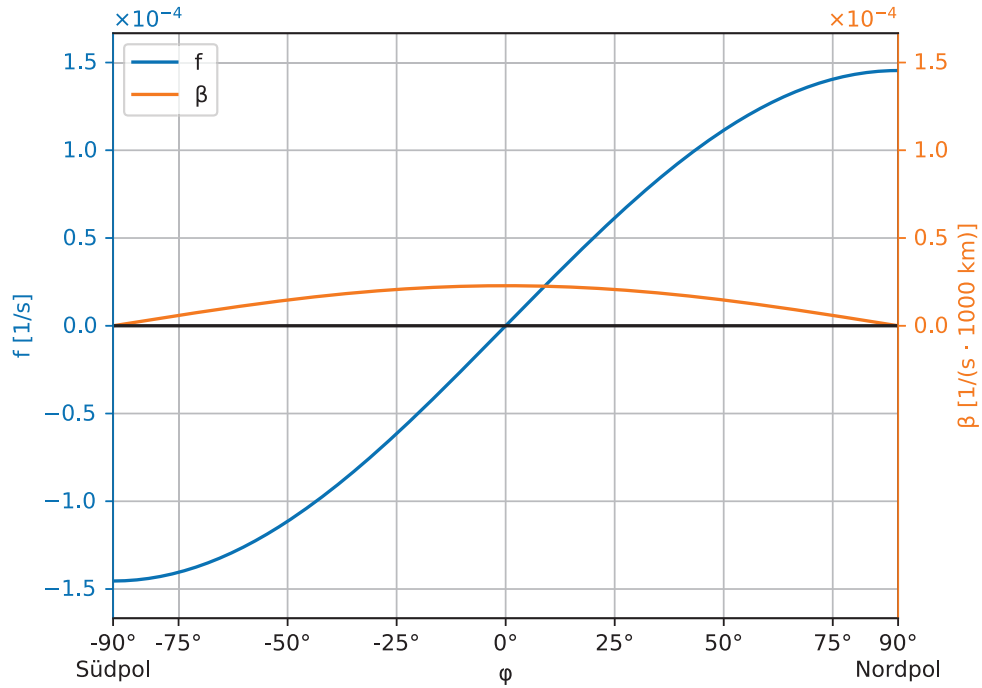


Bild 1: Coriolis-parameter f (blau) und dessen meridionale Änderung β , der Beta-Parameter (orange), als Funktion der geographischen Breite.

- S. 141: In **Abb. 8.13** ist die rechte Achsenbeschriftung falsch. Vgl. dazu die verbesserte Darstellung Bild 1.
- S. 170: Hinter dem Abschnitt **Isentrope Koordinaten** (d.h. ganz unten auf der Seite) bitte den folgenden Absatz hinzufügen:

Hydrostatische Geofluidkoordinaten Die eben besprochenen Spezialfälle folgen aus (10.15), wenn man die kartesische Divergenz mit (9.89) eliminiert. Das Ergebnis lautet in Geofluidkoordinaten:

$$\boxed{\boxed{\frac{1}{\partial p / \partial \zeta} \frac{d(\partial p / \partial \zeta)}{d t} + \nabla \cdot \mathbf{V} + \frac{\partial \dot{\zeta}}{\partial \zeta} = 0}} \quad (10.33)$$

Zur Vereinfachung haben wir für die Divergenz des horizontalen Windvektors $\mathbf{V} = (u, v)$ die Schreibweise

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = \frac{\partial \dot{\lambda}}{\partial \lambda} + \frac{\partial(\cos \varphi \dot{\varphi})}{\cos \varphi \partial \varphi} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial(\cos \varphi v)}{\cos \varphi \partial y} \quad (10.34)$$

benutzt (nach Wahl in den Koordinaten λ, φ oder in Pseudokoordinaten x, y). Dabei ist ∇ der 2D-Gradientoperator. Durch Einsetzen von $\zeta = p$ ergibt sich (10.29), und durch Einsetzen von $\zeta = \Theta$ ergibt sich (10.31).

- S. 173, Gleichung (11.6). In der Klammer fehlt der Faktor $1/2$. D.h. diese Gleichung muss richtig lauten:

$$\text{Kinetische Energie} = M \underbrace{\left(\frac{1}{2} \dot{x}_i^2 \right)}_{k=k(\dot{x}_i)} \quad (11.6)$$

- S. 184, letzter Absatz ab 'Dieses Ergebnis besagt:...': Dieser Absatz enthält einige kleinere Ungenauigkeiten und sollte wie folgt lauten:

'Dieses Ergebnis besagt: *Die Heizung der Atmosphäre ist Strahlungsheizung plus Kondensationsheizung*. Die Strahlungsheizung (erster Term) ist die Konvergenz (= negative Divergenz) des Vektors $\mathbf{r}$ der Strahlungsflussdichte, die Kondensationsheizung (zweiter Term) die latente Wärme, die durch die Kondensation (= negative Verdunstungsrate Q_q) von Wasserdampf frei wird. (11.64) ist die Entropiegleichung in der Form, in der man sie (vielfach implizit) in der Meteorologie verwendet. Welcher Anteil bei der Energieumwandlung (11.64) reversibel und welcher irreversibel ist, wird durch die Gleichung nicht ausgesagt und ist meistens (z.B. in der Synoptik) ohne Belang. Die obige Frage nach der praktischen Verwendbarkeit der Haushaltsgleichung der Entropie beantwortet sich dadurch von selbst.'

- S. 214, erste Zeile: Die zitierten Gleichungsnummern sind vertauscht. D.h. diese Zeile muss richtig lauten:

'Die Bewegungsgleichung (13.46) und die Massenkontinuitätsgleichung (13.47) lauten nun'

- S. 221, Ende von Abschnitt 14.1.4: Füge hinter '...überall denselben Wert haben.' den folgenden Satz ein: 'Für (14.12) haben wir wieder Hydrostasie vorausgesetzt.'

- S. 227, Gleichung (14.41). Diese muss richtig lauten:

$$\frac{D\eta}{Dt} = \frac{D\zeta}{Dt} + \frac{Df}{Dt} = \frac{D\zeta}{Dt} + \beta v = 0 \quad (14.41)$$

- S. 227, Abschnitt 14.3.4, 2. Absatz, 2. Satz: Dieser sollte beginnen mit 'Strömt ein barotropes Geofluid mit einer anfänglichen relativen...'

- S. 229, letzter Absatz: In diesem kommt dreimal das Symbol $\bar{\Phi}$ vor. Es muss durch Φ ersetzt werden.

- S. 232, Formel (15.6): Hier sollte man f durch f_0 ersetzen. Das tun wir auch weiter unten beim quasigeostrophischen Modell und das muss man schon hier tun. Man erreicht damit, dass die lineare Näherung von $\bar{\Phi}$ als Funktion von y mit einem strikt konstanten $\bar{u}$ konsistent ist und erspart sich den überflüssigen Term $d\bar{u}/dy$ in (15.14) weiter unten sowie die anschließende Diskussion dazu. Aber Achtung: f in (15.14) darf man natürlich nicht durch f_0 ersetzen, sonst zerstört man den β -Effekt.

- S. 233, Formel (15.10): In der letzten Formel ist die Argumentliste von Φ falsch: Es sollte nicht $\Phi(x, y, t)$ heißen, sondern $\Phi(t, x, y)$.
- S. 234, Formel (15.14): Der Term $d\bar{u}/dy$ ist überflüssig (vgl. die vorstehende Bemerkung zu S. 232) und ersatzlos zu streichen, ebenso die beiden damit überflüssigen Absätze nach Formel (15.14).
- S. 235, Formel (15.23): Die erste Gleichung darin sollte nicht $\bar{\Phi} = c_o^2$ lauten, sondern $\Phi_o = c_o^2$.
- S. 241, Abb. 15.3: Bei den drei mittleren Vektoren $\mathbf{V} = (\bar{u}, v')$ zeigen die Pfeilspitzen von v' versehentlich nach Süden statt nach Norden.
- S. 248, Absatz etwas unterhalb der Mitte, erster Satz: Das darin vorkommende Symbol Φ_o ist falsch. Der Satz sollte richtig lauten:
'Wir beginnen mit der Elimination von Φ^o . Dazu schreiben wir...
- S.257, Gleichung (16.12). Diese '*Gleichung*' ist keine: Rechts fehlt: $= 0$.
- S. 260, letzte Zeile (falsche Referenz): Die zonale Gleichung ist nicht (16.31), sondern (16.30).
- S. 261, Formel (16.36): Im zweiten Term in der eckigen Klammer wird versehentlich nach t^* abgeleitet; stattdessen sollte nach x^* abgeleitet werden.
- S. 262, Formeln (16.39), (16.40): Im zweiten Term in der eckigen Klammer wird jeweils versehentlich nach t^* abgeleitet; stattdessen sollte nach x^* abgeleitet werden.
- S. 262, dritte Zeile, muss richtig lauten:
'(und damit um eine Ordnung kleiner sind als die der nullten Näherung):'
- S. 262, Formel (16.41) muss richtig lauten:

$$(1 + Ro \phi^*) \nabla^* \cdot \mathbf{V}_o^* + Ro \left[\frac{\partial \phi^*}{\partial t^*} + u_o^* \frac{\partial \phi^*}{\partial x^*} + v_o^* \frac{\partial \phi^*}{\partial y^*} + \nabla^* \cdot \mathbf{V}_1^* \right] = 0$$

- S. 315, Formel (22.19): Der geostrophische Wind $\mathbf{V}_g$ wird im Text als horizontaler Vektor beschrieben, jedoch ist das nicht zwingend. In der allgemeinen Helmholtz-Zerlegung kann $\mathbf{V}_g$ eine vertikale Komponente haben (die jedoch klein und dynamisch ohne große Bedeutung ist). Formal kann man dies dadurch berücksichtigen, dass man dem Vektor Ψ je eine horizontale Komponente gibt. Diese Zusatzkomponente wird im allgemeinen nicht beachtet.
- S.339, Formel (23.36): Im Exponentialfaktor rechts ist der Index i falsch gesetzt. Der Klammerausdruck muss nicht $(\kappa x_i + \omega_j t)$ heißen, sondern $(\kappa_i x + \omega_j t)$.
- S. 342: Die 2. Zeile nach Gleichung (23.59) enthält ein überflüssiges 'ist'.

- S. 344: Beim Plotten von Abb. 23.2 ist ein Programmierfehler unterlaufen, wodurch die Kurven quantitativ etwas verfälscht sind. In den Bildern 2, 3 ist dies korrigiert, die Darstellung ist unten in zwei verschiedenen Maßstäben gegeben (die erste zum Vergleich mit dem Lehrbuch, die zweite als verbesserte Version).
- S. 398, Gleichung (26.50). Der Vektor $\mathbf{x}$ im 3. Term ist durch den horizontalen Windvektor $\mathbf{V} = (u, v)$ zu ersetzen. D.h. diese Gleichung muss richtig lauten:

$$\left\{ \frac{df}{dt} \right\} = \left\{ \frac{\partial f}{\partial t} \right\} + \{ \nabla \cdot f \mathbf{V} \} + \left\{ \frac{\partial f \omega}{\partial p} \right\} \quad (26.50)$$

Die horizontale Divergenz ist auf der Druckfläche gemäß Formel (10.29) zu bilden, also hier wie folgt:

$$\nabla \cdot f \mathbf{V} = \frac{\partial (fu)}{\partial x} + \frac{\partial (\cos \varphi f v)}{\cos \varphi \partial y}$$

- S. 399, Formeln (26.56), (26.57): Mit $\tilde{p}$ ist in beiden Formeln die Mittelung auf den Isentropenflächen gemeint - also muss es stattdessen $\hat{p}$ heißen.
- S. 400, Formeln (26.63): In der rechten muss es $-D$ statt D heißen.
- S. 419, Gleichung (28.72), formale Ungereimtheit: Die Matrix im mittleren (dritten) Teil der Gleichung ist mit runden Klammern geschrieben. Sie stellt aber eine Determinante dar und sollte daher mit geraden Strichen wie folgt geschrieben werden:

$$\mathbf{w} = -\nabla \times \Psi = - \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \partial_x & \partial_y & * \\ 0 & 0 & \Psi \end{vmatrix} = \begin{pmatrix} -\partial \psi / \partial y \\ \partial \psi / \partial x \\ 0 \end{pmatrix} = \mathbf{k} \times \nabla \psi \quad (28.72)$$

Danksagung

Folgende Personen haben mich auf Fehler und Unstimmigkeiten hingewiesen bzw. verbesserte Text- oder Bildentwürfe beigebracht:

- Sophie Marie Theresa **Authried**
- Klara Cornelia **Butz**
- Saskia **Dengler**
- Simon **Köhldorfer**
- Sebastian **Lehner**
- Andreas **Mansberger**
- Daniel **Schlager**
- Viola Rosa **Semper**
- Stephan **Troyer**
- Sarah-Lina Katharina **Welker**

Allen sei hiermit bestens gedankt.

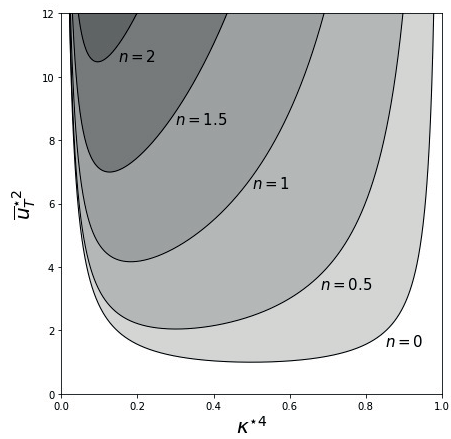


Bild 2: Korrigierte Darstellung von Abb. 23.2, Version 'quadratisch'.

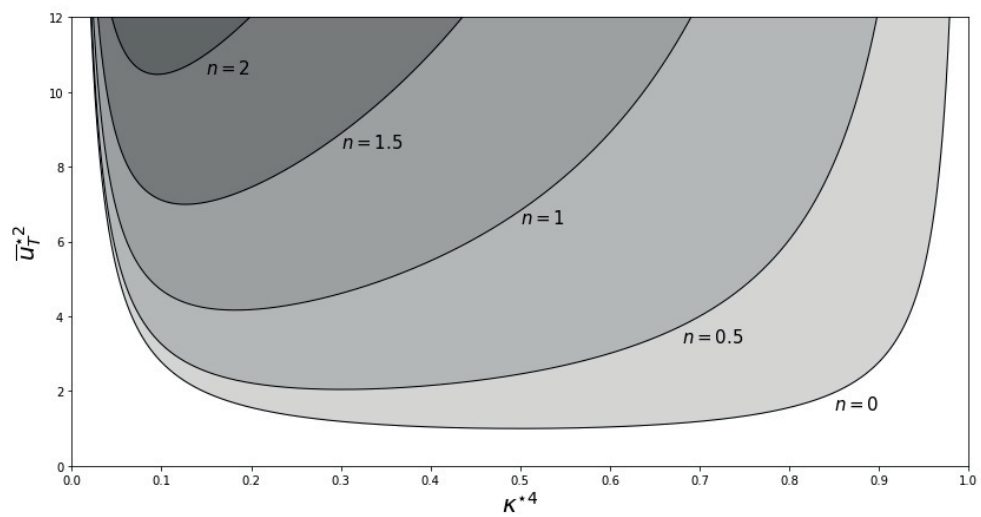


Bild 3: Korrigierte Darstellung von Abb. 23.2, Version 'rechteckig'.



<http://www.springer.com/978-3-8274-3055-7>

Einführung Theoretische Meteorologie

Hantel, M.

2013, XVIII, 430 S. 106 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-8274-3055-7