

Andreas Bott

Synoptische Meteorologie

Methoden der Wetteranalyse und
-prognose

3. Auflage

 **Springer** Spektrum

Andreas Bott
Bonn, Deutschland

ISBN 978-3-662-67216-7

ISBN 978-3-662-67217-4 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-67217-4>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Spektrum

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2012, 2016, 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Simon Shah-Rohlf

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Historische Entwicklung der Meteorologie	2
1.2	Raumzeitliche Skalen atmosphärischer Phänomene	3
1.3	Das Vorhersageproblem	4
1.4	Datenassimilation, numerische Wettervorhersage	10
2	Wetterbeobachtungen	15
2.1	Messmethoden	16
2.1.1	Bodenbeobachtungen	16
2.1.2	Radiosondenmessungen	18
2.1.3	Messungen über dem Meer	19
2.1.4	Flugzeugmessungen	19
2.1.5	Satellitenmessungen	19
2.2	Wolken, Klassifikation und Eigenschaften	20
2.3	Radarmeteorologie	23
2.4	Satellitenmeteorologie	31
2.4.1	Die Kanäle im solaren Spektralbereich	32
2.4.2	Die Kanäle im terrestrischen Spektralbereich	34
2.4.3	Beispiel für die Interpretation von Satellitenbildern	39
3	Mathematische Beschreibung atmosphärischer Prozesse	45
3.1	Skalare und Vektoren	45
3.2	Differentialoperatoren	47
3.3	Koordinatensysteme	49
3.3.1	Das geographische Koordinatensystem	49
3.3.2	Die Tangentialebene	50
3.3.3	Die generalisierte Vertikalkoordinate	51
3.3.4	Die Tangentialebene mit physikalisch definierten Horizontalkoordinaten	54
3.4	Das prognostische Gleichungssystem	57
3.4.1	Die thermo-hydrodynamischen Zustandsvariablen	58

3.4.2	Ideale Gasgleichung und Kontinuitätsgleichungen	59
3.4.3	Die Wärmeleichung	61
3.4.4	Die Bewegungsgleichung	65
3.5	Skalenanalyse der Bewegungsgleichung	67
4	Grundlagen der Dynamik und Thermodynamik	73
4.1	Hydrostatische Instabilität	74
4.2	Schichtungsstabilität und Temperaturadvektion	78
4.3	Barotropie und Baroklinität	79
4.4	Horizontale Gleichgewichtswinde	83
4.4.1	Der geostrophische Wind	83
4.4.2	Der Gradientwind	85
4.4.3	Der Reibungswind	87
4.4.4	Der zyklotropische und der antitriptische Wind	89
4.5	Der thermische Wind	89
4.6	Der ageostrophische Wind	91
4.6.1	Approximationsformen der horizontalen Bewegungsgleichung	92
4.6.2	Der ageostrophische Wind bei horizontaler Bewegung	98
4.6.3	Der Einfluss der Vertikalbewegung auf v_{ag}	101
4.6.4	Geostrophische Antriebe ageostrophischer Bewegungen	102
4.7	Trajektorien und Stromlinien	106
4.8	Die vertikale Neigung von Druckgebilden	112
5	Kinematik horizontaler Strömungen	117
5.1	Die lokale Geschwindigkeitsdyade	117
5.2	Divergenz und Vorticity	121
5.3	Die Vorticitygleichung	127
5.4	Trägheitsinstabilität und dynamische Instabilität	133
5.4.1	Trägheitsinstabilität	134
5.4.2	Dynamische Instabilität	136
6	Die quasigeostrophische Theorie	141
6.1	Die Grundannahmen der quasigeostrophischen Theorie	142
6.2	Die quasigeostrophischen Modellgleichungen	143
6.2.1	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	145
6.2.2	Die Vorticitygleichung	145
6.2.3	Die ω -Gleichung	148
6.3	Analyse quasigeostrophischer Hebungsantriebe	151
6.4	Die Trenberth-Form der ω -Gleichung	158
6.5	Die Q-Vektor-Form der ω -Gleichung	161
6.6	Vergenzen des Q-Vektors in Wetteranalysekarten	169
6.7	Stabilitätsbetrachtungen	173

7	Die potentielle Vorticity	175
7.1	Definition und Erhaltungseigenschaften der PV	176
7.2	Charakteristische Werte der PV	179
7.3	Diabatische Prozesse	182
7.4	Das PV-Invertierungsprinzip	185
7.5	Fernwirkungen von PV-Anomalien	192
8	Die globale Zirkulation	197
8.1	Thermisch direkte und indirekte Zirkulation	198
8.2	Vereinfachtes Schema der globalen Zirkulation	200
8.3	Jetstreams und Jetstreaks	207
8.3.1	Der Subtropenjetstream	208
8.3.2	Der Polarfrontjetstream	210
8.3.3	Weitere atmosphärische Starkwindfelder	220
8.4	Luftmassentransformationen	221
8.5	Europäische Großwetterlagen	227
8.6	Wetterlagen unter dem Einfluss unterschiedlicher Luftmassen	235
8.6.1	Nordwestlage	235
8.6.2	Ostlage	237
8.6.3	Südwestlage	240
9	Rosby-Wellen	245
9.1	Raumzeitliche Variabilität planetarer Wellen	246
9.2	Barotrope Wellen	255
9.3	Die Wellenverlagerung aus der PV-Perspektive	257
9.4	Barokline Wellen	259
9.5	Das Zweischichtenmodell – barokline Instabilität	264
9.5.1	Das Zweischichtenmodell	264
9.5.2	Barokline Instabilität	266
9.5.3	Energetische Betrachtungen	270
9.6	Stabilitätsverhalten barokliner Wellen	273
9.6.1	Neutrale und gedämpfte Wellen	274
9.6.2	Instabile Wellen	289
9.7	Zeitliche Änderungen der Phasenverschiebungen	295
9.8	Wellenstabilitäten aus der PV-Perspektive	298
10	Zyklonen und Antizyklonen	305
10.1	Zyklognese und Antizyklognese	306
10.1.1	Die Drucktendenzgleichung	307
10.1.2	Die Verlagerung der Druckgebilde	310
10.1.3	Vergenzen in der Höhenströmung	311
10.1.4	Klassifikation von Zyklogenese	313
10.1.5	Zyklognese an einer Frontalwelle	315
10.1.6	Auflösung der Druckgebilde – Ekman-Pumping	318

10.2	Die Polarfronttheorie	321
10.2.1	Der Lebenszyklus einer Idealzyklone	322
10.2.2	Kalte und warme Okklusion	325
10.2.3	Teiltiefs und Zyklonenfamilien	325
10.2.4	Kritische Anmerkungen zur Polarfronttheorie	329
10.3	Weitere Zyklonenmodelle	331
10.3.1	Das Shapiro-Keyser-Zyklonenmodell	331
10.3.2	Das STORM-Zyklonenmodell	333
10.4	PV-Analyse und Zyklognese	335
10.4.1	Kurzwellentrog	335
10.4.2	Leezyklognese	338
10.4.3	Rapide Zyklognese	341
11	Fronten und Frontalzonen	357
11.1	Die Front als Diskontinuitätsfläche	358
11.2	Kinematische Eigenschaften von Fronten	360
11.3	Ana- und Katafronten	370
11.4	Fronten und Conveyor Belts	375
11.4.1	Die Warmfront	376
11.4.2	Die Ana-Kaltfront	379
11.4.3	Die Kata-Kaltfront	382
11.4.4	Die Okklusionsfront	387
11.5	Frontogenese	392
11.6	Die Sawyer-Eliassen-Zirkulation	400
11.7	Frontenanalyse	406
11.8	PV-Analyse an der Polarfont	410
11.8.1	Dry Intrusion und Tropopausenfaltung	410
11.8.2	Cutoff-Prozess	419
12	Mesoskalige meteorologische Prozesse	431
12.1	Gewitter	432
12.1.1	Einzel-, Multi- und Superzellen	433
12.1.2	Voraussetzungen für die Gewitterbildung	436
12.2	Mesoskalige konvektive Systeme	439
12.2.1	Größenordnungen und Formen	439
12.2.2	Squall Lines	440
12.2.3	Konvergenzlinien	444
12.3	Nebel	449
12.3.1	Entstehungsmechanismen	450
12.3.2	Nebelprognose	452
Literatur	457
Stichwortverzeichnis	475