

utb.

Hans Häckel

Meteorologie

9. Auflage





Hans Häckel

Meteorologie

9., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

utb 1338



Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage

Böhlau Verlag · Wien · Köln · Weimar
Verlag Barbara Budrich · Opladen · Toronto
facultas · Wien
Wilhelm Fink · Paderborn
Narr Francke Attempto Verlag / expert verlag · Tübingen
Haupt Verlag · Bern
Verlag Julius Klinkhardt · Bad Heilbrunn
Mohr Siebeck · Tübingen
Ernst Reinhardt Verlag · München
Ferdinand Schöningh · Paderborn
transcript Verlag · Bielefeld
Eugen Ulmer Verlag · Stuttgart
UVK Verlag · München
Vandenhoeck & Ruprecht · Göttingen
Waxmann · Münster · New York
wbv Publikation · Bielefeld
Wochenschau Verlag · Frankfurt am Main

Inhaltsverzeichnis

Cover

Haupttitel

Die UTB-Reihe

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor

Impressum

Vorwort zur 9. Auflage

Formelzeichen und Einheiten

Bildquellen

Wichtige Wettersymbole

1 Atmosphäre

1.1 Allgemeines über Atmosphären

1.2 Geschichte der Erdatmosphäre

1.3 Zusammensetzung der Erdatmosphäre und wirtschaftlich-ökologische Bedeutung der Atmosphärogase

1.3.1 Stickstoff

1.3.2 Sauerstoff

1.3.3 Argon

- 1.3.4 Wichtige atmosphärische Spurengase
- 1.4 Luftdruck
 - 1.4.1 Definitionen und Gesetzmäßigkeiten
 - 1.4.2 Luftdruck als Navigationshilfe für die Luftfahrt
 - 1.4.3 Reduktion des Luftdrucks auf Meeressniveau
- 1.5 Temperatur der Atmosphäre
- 1.6 Stabilität und Labilität der Atmosphäre
 - 1.6.1 Stabile und labile Zustände
 - 1.6.2 Atmosphärenschichtung und Umweltschutz
 - 1.6.3 Ausbreitungsrechnung
- 1.7 Vertikale Struktur und Temperatur der Atmosphäre

2 Wasser

- 2.1 Definitionen und wichtige physikalische Gesetze über das Wasser in der Atmosphäre
 - 2.1.1 Feuchte maße
 - 2.1.2 Sättigungsdampfdruck
 - 2.1.3 Spezifische Wärme und Volumenwärme
 - 2.1.4 Schmelz- und Verdunstungsenergie
 - 2.1.5 Rechenformeln und Vergleich der Relativen Feuchte mit anderen Feuchtemaßen
 - 2.1.6 Molekularphysikalische Deutung ungewöhnlicher Eigenschaften des Wassers
- 2.2 Phasenübergänge des Wassers und ihre Bedeutung in der Meteorologie
 - 2.2.1 Kondensations- und Gefrierprozesse in der Atmosphäre
 - 2.2.2 Verdunstung
- 2.3 Erscheinungsformen des atmosphärischen Wassers
 - 2.3.1 Dunst
 - 2.3.2 Nebel

- 2.3.3 Wolken
- 2.3.4 Niederschläge
- 2.3.5 Beschläge
- 2.4 Niederschlagsverteilung, klimatische Wasserbilanz und Wasserkreislauf
 - 2.4.1 Örtliche und zeitliche Niederschlagsverteilung
 - 2.4.2 Klimatische Wasserbilanz
 - 2.4.3 Wasserkreislauf in der Bundesrepublik Deutschland
 - 2.4.4 Wasserhaushalt des Erdbodens im Jahresverlauf

3 Strahlung

- 3.1 Definitionen und wichtige Gesetzmäßigkeiten über die Strahlung
 - 3.1.1 Lambertsches Gesetz
 - 3.1.2 Bouguer-Lambert-Beersches Gesetz
 - 3.1.3 Plancksches Gesetz
 - 3.1.4 Wiensches Verschiebungsgesetz
 - 3.1.5 Stefan-Boltzmannsches Gesetz
 - 3.1.6 Strahlungsverhalten der Gase
 - 3.1.7 Zusammenfassende Betrachtungen und molekularkinetische Deutung des Planckschen Gesetzes
- 3.2 Von der Sonne ausgehende Strahlung
 - 3.2.1 Strahlungsgenuss der Erde
 - 3.2.2 Absorption, Streuung und Reflexion
 - 3.2.3 Strahlungsumsatz von Atmosphäre, Boden, Vegetation und Gewässern
- 3.3 Von der Erdoberfläche und der Atmosphäre ausgehende Strahlung

- 3.3.1 Definitionen und wichtige Gesetzmäßigkeiten
- 3.3.2 Wirkungen der langwelligen Strahlung
- 3.3.3.3 Glashauseffekt
- 3.4 Strahlungsbilanz der Erdoberfläche
- 3.5 Optische Erscheinungen in der Atmosphäre
 - 3.5.1 Regenbogen
 - 3.5.2 Haloerscheinungen
 - 3.5.3 Weitere optische Erscheinungen

4 Energiehaushalt der Erdoberfläche

- 4.1 Speicherung von Wärme im Boden und in Gewässern
 - 4.1.1 Grundsätzliches zum Wärmetransport im Boden
 - 4.1.2 Bodenwärmestrom
 - 4.1.3 Bewachsener Boden
 - 4.1.4 Wärmespeicherung in Gewässern
- 4.2 Austausch fühlbarer Wärme und latenter Energie
 - 4.2.1 Vorbemerkung
 - 4.2.2 Fühlbare Wärme
 - 4.2.3 Latente Energie
- 4.3 Energiehaushalt als Ganzes
- 4.4 Zusammenhang zwischen Energiehaushalt der Erdoberfläche und Temperatur der bodennahen Luft

5 Wind

- 5.1 Grafische Darstellung des Windes
- 5.2 Entstehung des Windes
 - 5.2.1 Land- und Seewind
 - 5.2.2 Andere kleinräumige Windsysteme

- 5.2.3 Großräumige Windsysteme
- 5.3 Besondere Wunderscheinungen
 - 5.3.1 Tornados
 - 5.3.2 Hurrikane, Taifune, Zyklonen
- 5.4 Böigkeit des Windes
- 5.5 Windschäden und Windschutz
 - 5.5.1 Schäden durch Druck-, Sog- und Böeneinwirkung
 - 5.5.2 Windschutz

6 Dynamik der Atmosphäre

- 6.1 Hoch- und Tiefdruckgebiete
 - 6.1.1 Thermische Hoch- und Tiefdruckgebiete
 - 6.1.2 Dynamische Hoch- und Tiefdruckgebiete
 - 6.1.3 Luftmassen
- 6.2 Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre
 - 6.2.1 Hochdruckgürtel und Tiefdruckrinnen
 - 6.2.2 Passatzirkulation
 - 6.2.3 Polare Zirkulation
 - 6.2.4 Zusammenfassung der allgemeinen Zirkulation
 - 6.2.5 Mit der allgemeinen Zirkulation verbundener Energietransport
 - 6.2.6 Jahresgang der allgemeinen Zirkulation
 - 6.2.7 Monsune
- 6.3 Beispiele besonderer Wetterlagen
 - 6.3.1 Die berühmte Dürre- und Hitzeperiode im Sommer 1976
 - 6.3.2 Der extreme Kälteeinbruch vom Dezember 1978
 - 6.3.3 Beispiel einer Spätfrost-Wetterlage im Mai

6.3.4 Beispiel einer Frühfrost-Wetterlage im
September

6.3.5 Beispiel einer Föhnlage

7 Klima

7.1 Was ist Klima?

7.2 Der moderne Klimabegriff

7.3 Klimascales

7.4 Weltklima

7.5 Makroklima

7.6 Mesoklima und Mikroklima

7.6.1 Strahlungsverhältnisse im gegliederten
Gelände

7.6.2 Temperaturverhältnisse im gegliederten
Gelände

7.6.3 Wind im gegliederten Gelände

7.6.4 Niederschlag im gegliederten Gelände

7.6.5 Stadtklima

7.6.6 Klima im Pflanzenbestand

7.7 Klima an Einzelpflanzen und Fensterscheiben als
Beispiele für das Spotklima - Grenzschichttheorie

7.7.1 Strahlung

7.7.2 Temperatur

8 Messung meteorologischer Größen

8.1 Temperatur

8.1.1 Flüssigkeitsthermometer

8.1.2 Bimetallthermometer

8.1.3 Widerstandsthermometer

8.1.4 Messfehler bei der Temperaturmessung

8.1.5 Thermoelemente

- 8.1.6 Strahlungsthermometer
- 8.1.7 Messungen der Temperatur im Erdboden
- 8.2 Niederschläge und Beschläge
 - 8.2.1 Niederschlagsmesser
 - 8.2.2 Registrierende Niederschlagsmesser
 - 8.2.3 Niederschlagsmelder
 - 8.2.4 pH-Wert-Messer
 - 8.2.5 Nebeltraufe
 - 8.2.6 Stamm- und Stängelabfluss
 - 8.2.7 Benetzungsdauer
 - 8.2.8 Schneehöhe und Schneedichte
- 8.3 Luftfeuchtigkeit
 - 8.3.1 Haarhygrometer
 - 8.3.2 Psychrometer
 - 8.3.3 Elektronische Feuchtemessung
- 8.4 Verdunstung
- 8.5 Bodenwassergehalt
- 8.6 Wind
 - 8.6.1 Windrichtung
 - 8.6.2 Windgeschwindigkeit
- 8.7 Strahlung
 - 8.7.1 Sonnenscheindauer
 - 8.7.2 Kurzwellige Strahlung
 - 8.7.3 Strahlungsbilanz
 - 8.7.4 Fotosynthetisch aktive Strahlung und Licht
- 8.8 Luftdruck
 - 8.8.1 Quecksilberbarometer
 - 8.8.2 Aneroid- oder Dosenbarometer
- 8.9 Flugmeteorologisch wichtige Größen
 - 8.9.1 Sichtweite

- 8.9.2 Wolkenuntergrenze
- 8.9.3 Bestimmung der Wolkenmenge
- 8.10 Wetterradar
- 8.11 Nicht bodengebundene Messgeräte
 - 8.11.1 Radiosonden
 - 8.11.2 Fernerkundung
 - 8.11.3 Wettersatelliten

9 Veränderungen des Klimas

- 9.1 Vorbemerkungen
- 9.2 Das Klima früherer Zeiten
- 9.3 Informationsquellen über das Klima früherer Zeiten
 - 9.3.1 Wettermessgeräte
 - 9.3.2 Schriftliche Informationen über das Wetter
 - 9.3.3 Indirekte Analyseverfahren
- 9.4 Ergebnisse der Klimaanalysen
 - 9.4.1 Die letzten 100 Jahre
 - 9.4.2 Die letzten 1000 Jahre
 - 9.4.3 9.4.3 Die letzten 10 000 Jahre
 - 9.4.4 Die letzten 100 000 Jahre
 - 9.4.5 Die letzten 1 000 000 Jahre
- 9.5 Ursachen der Klimaschwankungen
 - 9.5.1 Interne Einflüsse auf das Klima
 - 9.5.2 Externe Einflüsse auf das Klima
- 9.6 Das Klima der Zukunft
 - 9.6.1 Klimaänderungen nach der Milankovic'-Theorie
 - 9.6.2 Anthropogene Einflüsse
 - 9.6.3 Klimamodelle
 - 9.6.4 Ergebnisse von Rechnungen mit Klimamodellen

9.6.5 Möglichkeiten zur Verhinderung und Beseitigung von Klimaschäden

Literaturverzeichnis

URL-Liste

Über den Autor

Prof. Dr. Hans Häckel, 1942 in München geboren, studierte von 1962 bis 1968 Meteorologie an der Universität München. Nach dem Diplom und dem Großen Staatsexamen war er zunächst beim Deutschen Wetterdienst (DWD) in Offenbach in der Wettervorhersage tätig.

1971 übernahm er eine Wissenschaftlerstelle an der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle des DWD in Weißenstephan und studierte Landwirtschaft und Gartenbau an der TUM. Nach der Promotion zum Doktor der Landwirtschaft im Jahr 1974 hielt Prof. Häckel von 1975 bis 2007 Vorlesungen an der Hochschule Weißenstephan, später an der TUM über Meteorologie, Agrarmeteorologie und Klimatologie. Von 1976 bis 2003 war er Leiter der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle (Niederlassung) Weißenstephan des DWD.

Wissenschaftlich betätigte er sich in den Bereichen Frostschutz, agrarmeteorologische Messtechnik, Feldeberegnung, Modellierung agrarmeteorologischer Vorgänge, Agrarklimatologie, Phänologie und agrarmeteorologische Beratung. Neben einer Vielzahl von wissenschaftlichen Publikationen hat er noch eine Reihe von Fachbüchern verfasst.

Impressum

Die in diesem Buch enthaltenen Empfehlungen und Angaben sind vom Autor mit größter Sorgfalt zusammengestellt und geprüft worden. Eine Garantie für die Richtigkeit der Angaben kann aber nicht gegeben werden. Dies gilt insbesondere für die über Links abrufbaren Informationen aus dem Internet. Autor und Verlag übernehmen keinerlei Haftung für Schäden und Unfälle. Anmerkung zur Schreibweise der weiblichen und männlichen Form: Ausschließlich aufgrund der deutlich besseren Lesbarkeit wird in diesem Werk auf die jeweilige Doppelnennung oder Anpassung der Schreibweise bestimmter Bezeichnungen verzichtet. So stehen die Namen der Vertreter verschiedener Fachbereiche selbstverständlich für alle Frauen und Männer, die diese Berufe ausüben oder vertreten.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2021 Eugen Ulmer KG
Wollgrasweg 41, 70599 Stuttgart (Hohenheim)
E-Mail: info@ulmer.de

Internet: www.ulmer.de

Produktion: primustype Hurler GmbH | v1

ISBN 978-3-8252-5504-6 (Print)

ISBN 978-3-8463-5504-6 (E-Book)

Vorwort zur 9. Auflage

Die Meteorologie befasst sich mit den physikalischen Vorgängen in der Atmosphäre. Dabei hat sie naturgemäß wichtige Schnittstellen zu allen Geowissenschaften. Klimatologen, Geographen, Geophysiker, Ozeanographen, Geologen, Hydrologen und Glaziologen – sie alle benötigen für ihre Arbeit ein solides meteorologisches Grundwissen. Auch Botaniker, Zoologen und Ökologen können auf fundierte Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Biosphäre nicht verzichten. Wie wichtig die Meteorologie für Forstwirtschaft, Landwirtschaft und Gartenbau ist, möge die folgende Zahl verdeutlichen: Über 80 % der Varianz der landwirtschaftlichen Ernteerträge lassen sich mit dem Wetter erklären. Auch Garten-, Landschafts- und Städteplaner müssen wissen, welche klimatische Situation sie im Gelände erwartet, und schließlich hat jeder Architekt und jeder Umweltingenieur das meteorologische Geschehen in seinen Planungen zu berücksichtigen. Für sie alle ist dieses Buch geschrieben. Darüber hinaus möchte es Physiker ansprechen, die Meteorologie als Nebenfach betreiben. Weiterhin wendet es sich an Lehrkräfte mit dem Thema Wetterkunde im Lehrplan und nicht zuletzt an jeden, der sich über seinen Beruf oder ein Hobby für diese vielseitige und lebendige Wissenschaft interessiert.

Für angehende Meteorologie-Studierende ist das Buch allenfalls im Bachelor-Studium geeignet. Von ihnen wird

ein erheblich tieferes Eindringen in ihr Fachgebiet verlangt.

Das Buch ist in neun Kapitel gegliedert. Das erste befasst sich mit der Geschichte der Atmosphäre und mit ihren Inhaltsstoffen, mit dem Luftdruck, den Stabilitäts- und Ausbreitungsbedingungen und den daraus resultierenden Umweltfragen. Das zweite behandelt die Gesetzmäßigkeiten und Erscheinungsformen des Wassers, das dritte die Sonnen- und Wärmestrahlung. Im vierten Kapitel werden die bis dahin erarbeiteten Gesetzmäßigkeiten zum Energiehaushalt der Erdoberfläche zusammengeführt. Der Wind, der im fünften Kapitel behandelt wird, leitet über zur Dynamik der Atmosphäre mit ihren Hoch- und Tiefdruckgebieten, die im sechsten Kapitel thematisiert wird. Aus ihr ergeben sich im siebten Kapitel die großen Klimazonen der Erde, in die die klimatischen Besonderheiten im Gelände, in der Stadt, in unserer unmittelbaren Umgebung und an Einzelobjekten eingebettet sind. Wie man meteorologische Parameter messen kann, beschreibt das achte Kapitel und das neunte schließlich befasst sich mit natürlichen und anthropogen verursachten Klimaänderungen.

Natürlich können im Rahmen des vorliegenden Buches nicht alle Detailfragen erschöpfend behandelt werden. Hier wird vielmehr ein breiter Überblick über die Meteorologie gegeben, der die Leserschaft befähigt, sich selbstständig weiter zu vertiefen und in Spezialgebiete einzuarbeiten. Dazu dient auch die ausführliche Zusammenstellung wichtiger weiterführender Literatur im Anhang.

Wie auch schon in den früheren Auflagen wurde wieder großer Wert darauf gelegt, die Hintergründe der meteorologischen Gesetzmäßigkeiten zu beleuchten und die großen Zusammenhänge herauszuarbeiten. Hat man diese erst einmal begriffen, dann ergeben sich Details oft als selbstverständliche Konsequenzen.

Die Meteorologie ist in den letzten Jahrzehnten eine stark mathematisch-theoretisch geprägte Wissenschaft geworden. Das schreckt leider viele ab, sich mit ihr zu beschäftigen. Daher wurden in diesem Buch möglichst wenige Formeln verwendet und die unumgänglich notwendigen mit Beispielen aus der täglichen Erfahrung heraus plausibel gemacht. Alle besprochenen Gesetzmäßigkeiten werden mit möglichst vielen und allgemein bekannten Vorgängen belegt. Umgekehrt sollen die uns oft völlig unbewusst begegnenden atmosphärischen Phänomene als Folge bekannter, möglichst einfacher und leicht begreifbarer Zusammenhänge gedeutet werden.

Besonders wichtige Textteile werden aus didaktischen Gründen durch einen ockerfarbenen Balken eingeleitet, blau gedruckt und farbig hinterlegt. **Ergänzende Randbemerkungen** sind ebenfalls blau gedruckt und hinterlegt, aber mit einem Pfeil und einem thematischen Stichwort überschrieben.

In die vorliegende 9. Auflage wurden wieder einige Neuerungen aufgenommen. Sie sollen helfen, die Meteorologie noch verständlicher darzustellen, denn das oberste Prinzip dieses Buches lautet auch weiterhin: **Aktueller Inhalt bei optimaler Verständlichkeit!**

Neu ist in dieser Auflage insbesondere, dass über Links externe Quellen aufgerufen werden können. Diese beinhalten einerseits weiterführende Informationen zum laufenden Text, vor allem aber eine Reihe von Power-Point-Präsentationen. Darin werden kompliziertere Vorgänge, z. B. die Geschichte der Erdatmosphäre, das Verhalten von Luftschichten beim Absinken, die Entwicklung von Tiefdruckgebieten oder die Entstehung von Leewirbeln und die Wirkungsweise der „Ablenkenden Kraft der Erdrotation“ vorgestellt – stets in schrittweiser Entwicklung und ausführlich kommentiert. Auch die interessante Formen- und Farbenvielfalt einiger meteorologischer Phänomene wird in Bildern gezeigt und erklärt. Schließlich zeigt eine Präsentation, wie sich der (phänologische) Frühling innerhalb von knapp 100 Tagen über Europa ausbreitet.

Nutzen Sie auch von Zeit zu Zeit den untenstehenden Link und entdecken Sie viele weitere spannende Informationen rund um das Thema Meteorologie.

Die Bücher der Verlagskooperation utb sind preislich so kalkuliert, dass sie auch in Zeiten höherer finanzieller Belastung für die Studierenden erschwinglich bleiben. Das hat zur Folge, dass bei der Zahl der Fotos etwas Zurückhaltung geboten ist. Meine beiden reich bebilderten Ergänzungstitel zum vorliegenden Buch aus dem Hause Ulmer sind aber weiterhin auf dem Markt: „Naturführer Wetter und Klimaphänomene“ und „Naturführer Wolken und andere Phänomene am Himmel“.

Ich bedanke mich bei allen, die durch Fragen, Anregungen oder konstruktive Kritik mitgeholfen haben,

das Buch weiter zu verbessern. Mein Dank gilt darüber hinaus dem „Meteorologie-Team“ in Lektorat und Herstellung: Frau Sabine Mann und den Herren Jürgen Sprengel, Bernd Burkart und Jürgen Reichert für die hervorragende Hilfe bei allen meinen Sonderwünschen und die stets bestens funktionierende Zusammenarbeit. Einen ganz besonderen Dank schließlich verdient Agnes, meine liebe Frau, die mich bei den Arbeiten zur Neuauflage mit allen Kräften unterstützt und in bewundernswerter Geduld begleitet hat.

Ihnen, verehrte Leserinnen und Leser der „Meteorologie“ wünsche ich viele „Aha-Erlebnisse“ und besten Erfolg bei der Arbeit mit dem Buch.

Weihenstephan im Januar 2021

Hans Häckel

<https://elibrary.utb.de/doi/suppl/10.36198/9783838555041>

Von der Mühsal des Schreibens:

Im 8. Jahrhundert schildert der Schreiber des Westgotischen Wörterbuches die Mühsal seiner Tätigkeit und gibt dem Leser Anweisungen:

*„O glücklichster Leser, wasche Deine Hände
und fasse so das Buch an,
drehe die Blätter sanft,
halte die Finger weit ab von den Buchstaben.*

*Der, der nicht schreiben kann,
glaubt nicht, daß dies eine Arbeit sei.
O, wie schwer ist das Schreiben:*

*Es trübt die Augen, quetscht die Nieren
und bringt zugleich allen Gliedern Qual;
drei Finger schreiben, der ganze Körper leidet."*

(Quelle: Schreibersprüche aus der Ausstellung: „Schreibkunst,
Mittelalterliche Buchmalerei aus dem Kloster Seeon.“ Kloster Seeon, 1996)

Formelzeichen und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Typische Einheit
a	absolute Feuchte	g Wasserdampf/m ³ feuchter Luft
A	langwellige Ausstrahlung (der Erdoberfläche)	W/m ²
Ä	Äquivalentzuschlag	K
AG	atmosphärische Gegenstrahlung	W/m ²
B	Bodenwärmestrom	W/m ²
Bv	Bodenwassergehalt	%vol
c	spezifische Wärme	Ws/(g · K)
c _p	spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck	Ws/(g · K)
C	Corioliskraft	N (Newton; 1 N = 1 kg · m · s ⁻²)
C	Konstante	-
d	Durchmesser	m, cm
D	direkte Sonnenstrahlung	W/m ²
e	Dampfdruck	mbar, hPa ^(*)
E	Energie	J, Ws, Joule
E	Sättigungsdampfdruck	mbar, hPa ^(*)
f	Fläche	m ² , cm ²
g	Gewicht	N, Newton
G	Globalstrahlung	W/m ²
G	Gradientkraft	N, Newton

Symbol	Bedeutung	Typische Einheit
h	Höhe bzw. Vertikalkoordinate	m, cm
h_k	Kondensationsniveau	m, cm
h_0	Rauigkeitslänge	m, cm
h_v	Verdrängungshöhe	m, cm
H	Himmelsstrahlung	W/m ²
I	Interzeption	mm = Millimeter Niederschlagshöhe
J, J_0	Strahlungsstrom	W/m ²
K	Kraft	N, Newton
l	Länge	m, cm
L	Strom fühlbarer Wärme	W/m ²
m	Masse	g, kg
m	Mischungsverhältnis	g Wasserdampf/kg trockener Luft
N	Niederschlag	mm = Millimeter Niederschlagshöhe
Nd	Niederschlag, der durch einen Bestand hindurch auf den Boden fällt	mm = Millimeter Niederschlagshöhe
NS	Stängel, Stammabfluss	mm = Millimeter Niederschlagshöhe
O	Oberfläche	cm ² , m ²
p	Druck, Luftdruck	mbar, hPa (*)
Q	Strahlungsbilanz	W/m ²
Q	Wärmemenge	Ws, Joule
r	Albedo	%
r	Radius	cm, m
R	Reflexstrahlung	W/m ²

Symbol	Bedeutung	Typische Einheit
RF	relative Feuchte	%
s	spezifische Feuchte	g Wasserdampf/kg feuchter Luft
S	Sättigungsfeuchte	g Wasserdampf/kg feuchter Luft
t	Extinktionskoeffizient	1/m
T	absolute Temperatur	K
u	Austauschkoeffizient	g/(m · s)
v	Geschwindigkeit	m/s
V	Volumen	cm ³ , m ³
V	Strom latenter Energie	W/m ²
w	Weg	m, cm
W	Verdunstungsrate	g Wasserdampf/(m ² · s)
W	Verdunstungsrate	Millimeter Niederschlagshöhe/Tag (= mm/d)
x, y	Horizontalkoordinaten	m, cm
z	Vertikalkoordinate (Tiefe im Boden zählt nach unten negativ)	m, cm
α_L	Wärmeübergangszahl	W/(m ² · K)
δ	Deklination	° (Grad)
τ	Taupunkttemperatur	°C
δ	Dicke der Grenzschicht	mm
Δ	Differenzzeichen	
ϵ	Emissionsvermögen	
ζ	Faktor der Penmanschen Verdunstungsformel	
η	Konstante des Wienschen Verschiebungsgesetzes	2899 $\mu\text{m} \cdot \text{K}$










































Symbol	Bedeutung	Typische Einheit
ϑ	Temperatur	°C
ϑ_f	Feuchttemperatur	°C
Θ	potenzielle Temperatur	°C
λ	Wellenlänge (Strahlung)	μm
Λ	Wärmeleitfähigkeit	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
ν	Frequenz, Faktor der Penmanschen Verdunstungsformel	
ρ	Dichte	g/m^3
σ	Konstante des Stefan-Boltzmannschen Gesetzes	$5,6698 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4})$
ϕ	geografische Breite	° (Grad)
ψ	spezifische Verdunstungsenergie	Ws/g
ω	Winkelgeschwindigkeit	$1/\text{s}$
EXP(x)	e^x ($e = 2,718 = \text{Eulersche Zahl}$)	
•	Multiplikationszeichen	
(*)	1 mbar (Millibar) = 1 hPa (Hektopascal)	

Leider lässt es sich nicht immer vermeiden, ein und dasselbe Formelzeichen für mehrere physikalischen Größen zu verwenden. In solchen Fällen wurde jedoch streng darauf geachtet, dass keine Verwechslungen möglich sind.

Bildquellen

Die Grafiken fertigten Helmuth Flubacher und Bernd Burkart nach Vorlagen des Autors und aus der Literatur. Die Quellen der Fotos und Zeichnungen sind in den jeweiligen Abbildungsunterschriften nachgewiesen. Ist keine Quelle angegeben, stammt die Abbildung vom Autor.

Wichtige Wettersymbole

			
Dunst durch Industrierauch	Nieselregen	Schneefall	Wetterleuchten
			
trockener Dunst	anhaltender Nieselregen	anhaltender starker Schneefall	Elmsfeuer
			
Dunst durch aufgewirbelten Staub	gefrierender Nieselregen	Schneeschauer	Gewitter
			
feuchter Dunst	Nieselregen in Regen übergehend	vereinzelte Schneeschauer	heftiges Gewitter
			
Nebel in der Ferne		Eisnadeln	
			
Nebelschwaden	Regen	Hagel	Tau
			
Bodennebel	anhaltend starker Regen	Graupel	Nebeltraufe
			
Nebel	Regenschauer	Schneegriesel	gefrierender Tau
			
dichter werdender Nebel	heftiger Regenschauer	Reifgraupel	Reif
			
Nebel, der sich als Raufrost absetzt	gefrierender Regen	Eiskörner	Rauhreif
			
	Regen mit Schnee vermischt	heftiger Hagelschauer	Klareis
			
			Raueis

Alle Seitenverweise im Text beziehen sich auf die gedruckten Buchseiten. Die im E-Book zusätzlich eingefügten und **gelb markierten** Ziffern geben das Seitenende einer Buchseite an:

Flüssigkeitsthermometer für die Bodentemperaturmessung gibt es in zwei Ausführungsformen. Für Tiefen bis zu 20 cm benützt **382** man fest in den Boden eingebaute Quecksilberthermometer mit entsprechend langem Rohr. Damit leichter abgelesen werden kann, sind diese über dem Erdboden schräg abgeknickt und zum Schutz vor Brüchen in ein Stativ eingespannt. In dieser Form gibt es Erdbodenthermometer auch in Maximum- und Minimumausführung.

8.2 Niederschläge und Beschläge

Der Niederschlag gehört zu den schon am längsten beobachteten meteorologischen Elementen. Bereits vor 5000 Jahren ließen die chinesischen Herrscher den Regen in Behältern sammeln und messen. Aus alten Aufzeichnungen weiß man auch, dass zur Zeit vor Christi Geburt in Indien und Israel der gefallene Regen systematisch aufgezeichnet wurde. Ab 1533 sind auch Niederschlagsmessungen aus Chile bekannt. Die ersten genaueren Messungen jedoch, zumindest aus dem europäischen Bereich, sind erst für das Jahr 1677 in