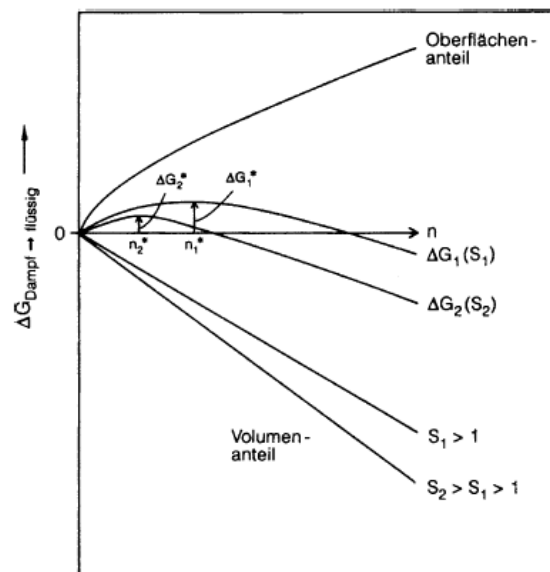


### Wolkenbildung

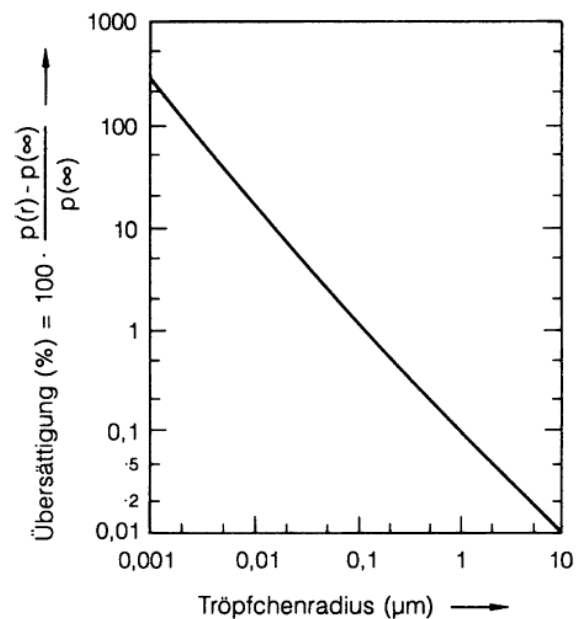
- Kondensation; Kelvin-Effekt
- Kondensation an Kondensationskeimen, Raoult'sches Gesetz, Köhler Kurve
- Nukleation von Eispartikel
- Kollision und Koaleszenz

### Globaler Wasserkreislauf Klimazonen

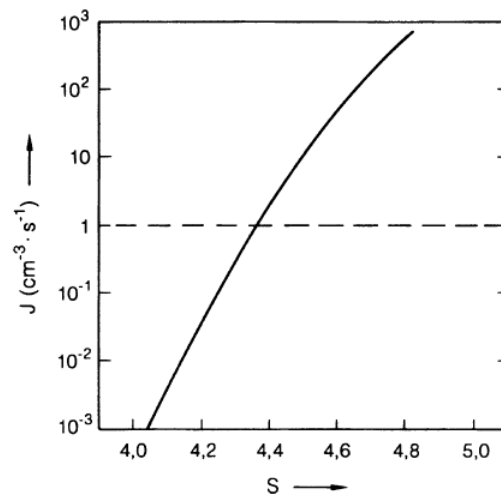


**Abb. 5.1** Schematische Darstellung der Abhängigkeit von  $\Delta G$  von der Zahl  $n$  der in einem Tröpfchen kondensierenden Moleküle

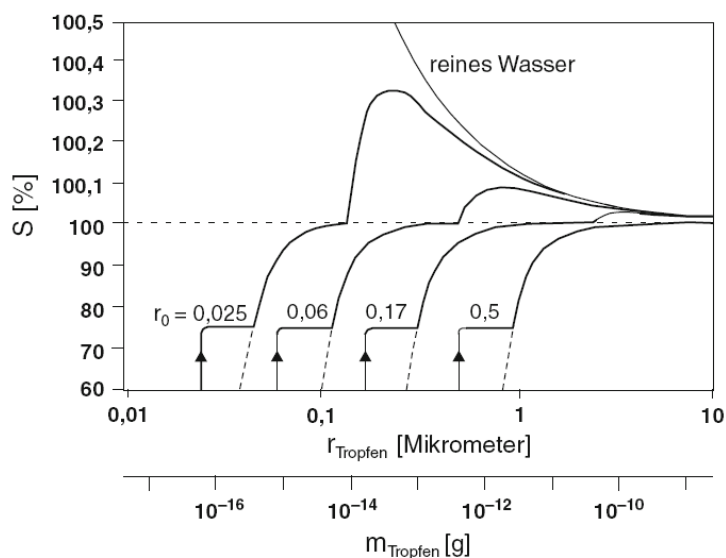
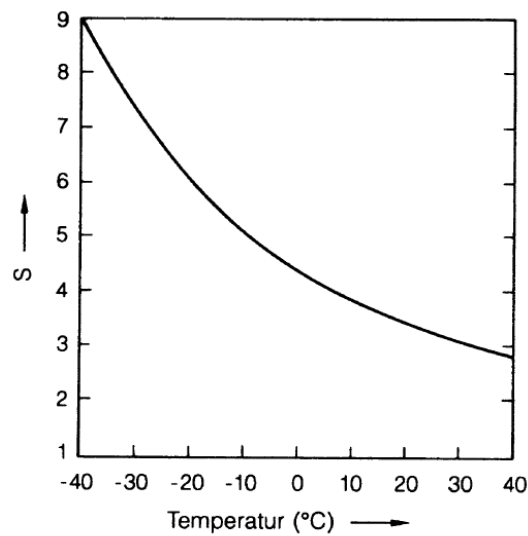
**Abb. 5.2** Für das Gleichgewicht über der Oberfläche kleiner Tröpfchen notwendige Wasserdampfübersättigung, in %, als Funktion des Tröpfchenradius, dargestellt als Abweichung von 100%



**Abb. 5.3** Rate der homogenen Kondensation (Nukleation) in reinem Wasserdampf von 0°C als Funktion der Übersättigung

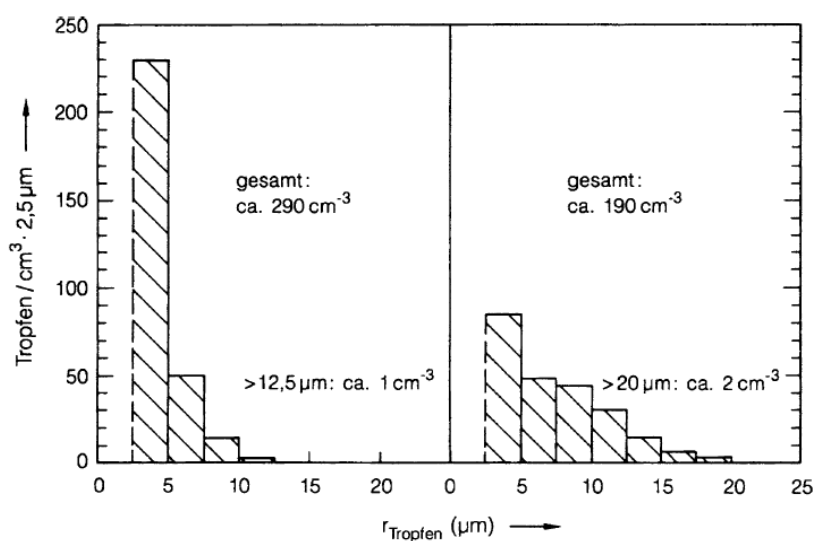
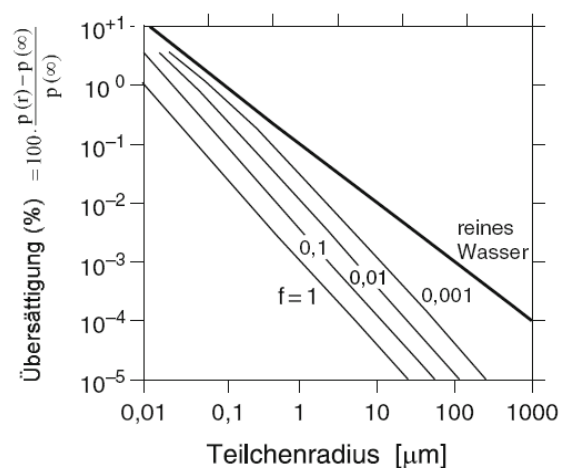


**Abb. 5.4** Zusammenhang zwischen der Temperatur und der für das Einsetzen homogener Kondensation erforderlichen Übersättigung



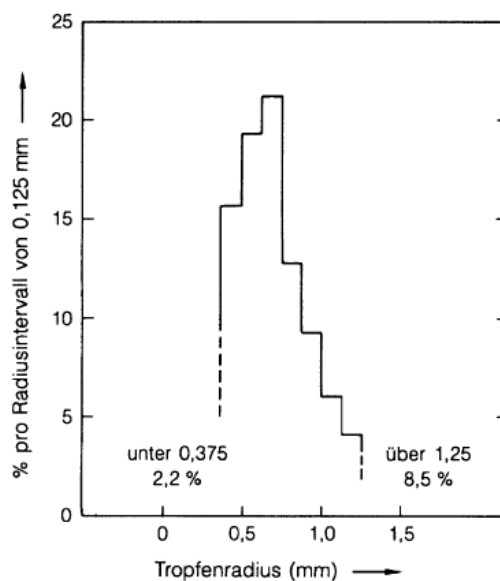
**Abb. 5.5** Gleichgewichtssättigung (in %) über reinem Wasser und über Tröpfchen einer NaCl-Lösung als Funktion der Tropfenmasse bzw. des Tropfenradius, bei 20°C. Man achte auf den Wechsel des Maßstabs oberhalb und unterhalb 100% Sättigung. Unterhalb einer Sättigung von 76,3% können die Partikel entweder trocken oder in Lösung existieren (siehe Text)

**Abb. 5.6** Zusammenhang zwischen der Gleichgewichts-Übersättigung und dem Radius für verschiedene Anteile  $f$  wasserlöslicher Substanzen an der Gesamtmasse eines Aerosolpartikels (siehe auch Abb. 5.2)



**Abb. 5.7** Mittlere Tropfengrößenspektren links für Schönwetter-Cumuli, rechts für Cumulus-Wolken, die gerade zu regnen beginnen (Nach Battan u. Reitan 1957). Die Gesamtflüssigwassergehalte der Wolken lagen links bei 0,15 bis 0,2  $\text{g/m}^3$ , rechts bei 0,8 bis 1,0  $\text{g/m}^3$

**Abb. 5.8** Mittlere Verteilung der Regentropfenradien in Bodennähe, nach Messungen in Karlsruhe (Diem 1968)

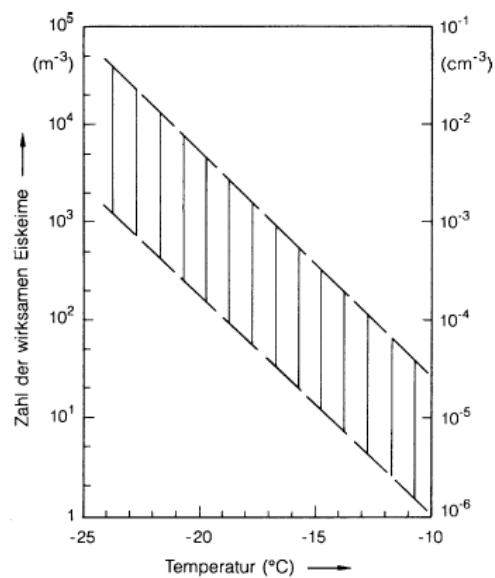


**Tabelle 5.1** Einfangwirkungsgrade als Funktion der Radien R des einfangenden und r des eingefangenen Tropfens

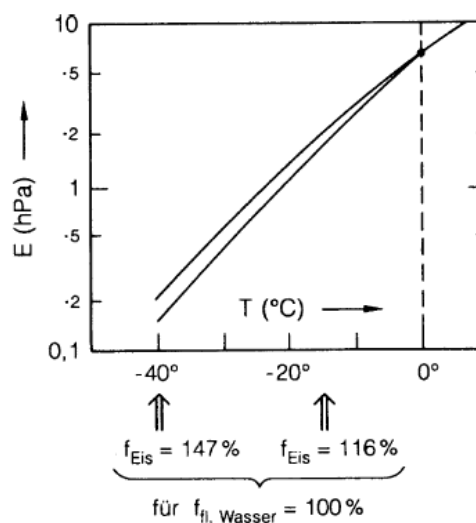
R =	10 $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$	50 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	250 $\mu\text{m}$	500 $\mu\text{m}$
r =						
5 $\mu\text{m}$	0,04	0,05	0,19	0,48 (0,49)	0,57 (0,63)	0,56 (0,65)
10 $\mu\text{m}$	–	0,17	0,53 (0,58)	0,70 (0,81)	0,67 (0,87)	0,61 (0,88)
20 $\mu\text{m}$	–	–	0,58 (0,75)	0,65 (0,94)	0,57 (0,95)	0,48 (0,96)
30 $\mu\text{m}$	–	–	0,58 (0,88)	0,51 (0,97)	0,49 (0,97)	0,49 (0,97)

(In Klammern: Kollisionswirkungsgrade für starre Kugeln).

**Abb. 5.9** Zahl der wirksamen Eiskeime als Funktion der Temperatur; das Diagramm ist aus vielen Quellen zusammengestellt, der schraffierte Bereich gibt die Streubreite der Literaturwerte wieder



**Abb. 5.10** Sättigungsdampfdruck E von Wasserdampf über Eis (unterer Ast der Kurve) und über Flüssigwasser (oberer Ast) als Funktion der Temperatur; für 2 Temperaturen,  $-15$  und  $-40^\circ\text{C}$ , sind die relativen Feuchten  $f$  über Eis bei gleichzeitig 100% relativer Feuchte über Wasser angegeben



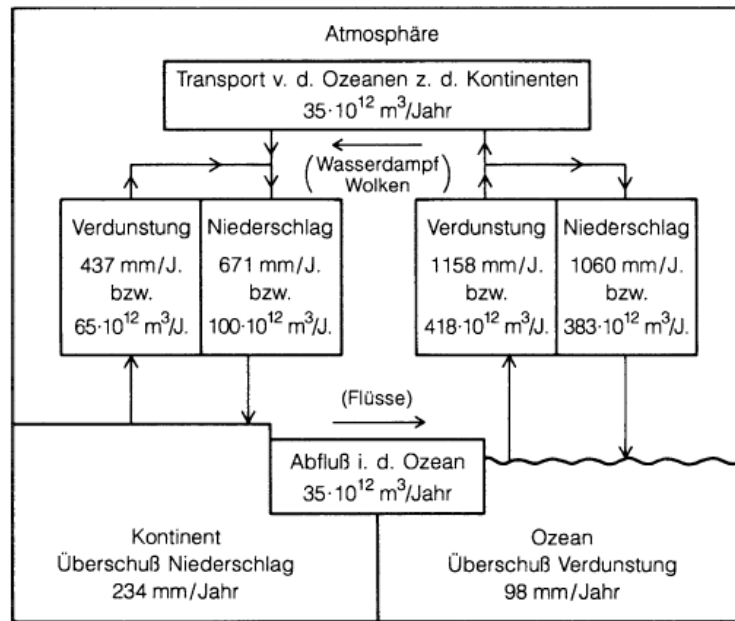


Abb. 5.11 Flüsse im globalen atmosphärischen Wasserkreislauf

Abb. 5.12 Breitenkreismittel der jährlichen Verdunstungs- und Niederschlagsraten (Nach Sellers 1965)

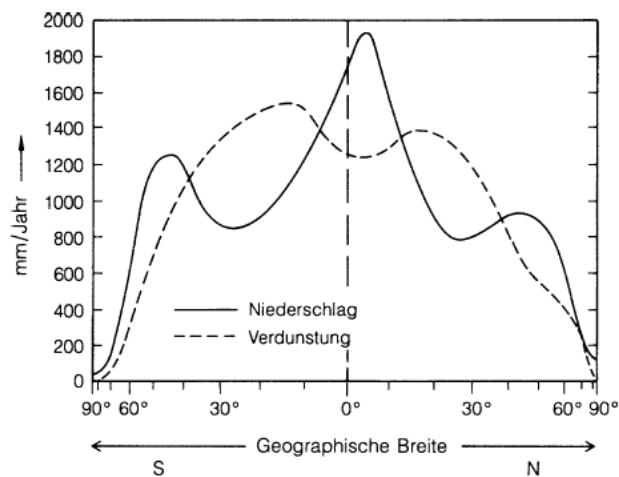
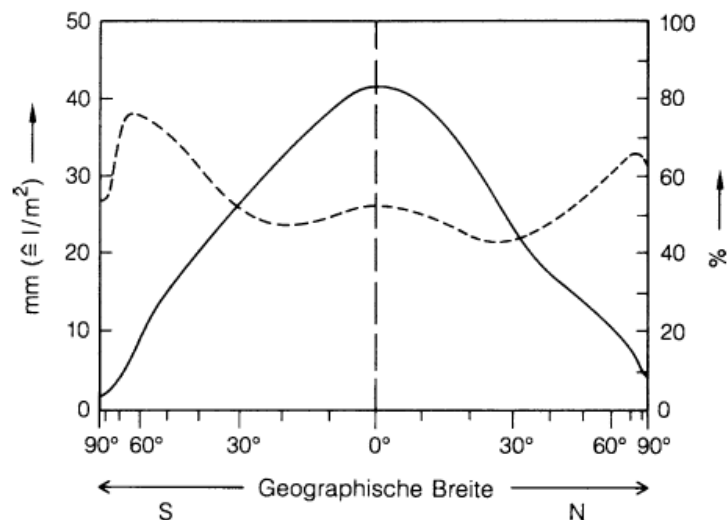


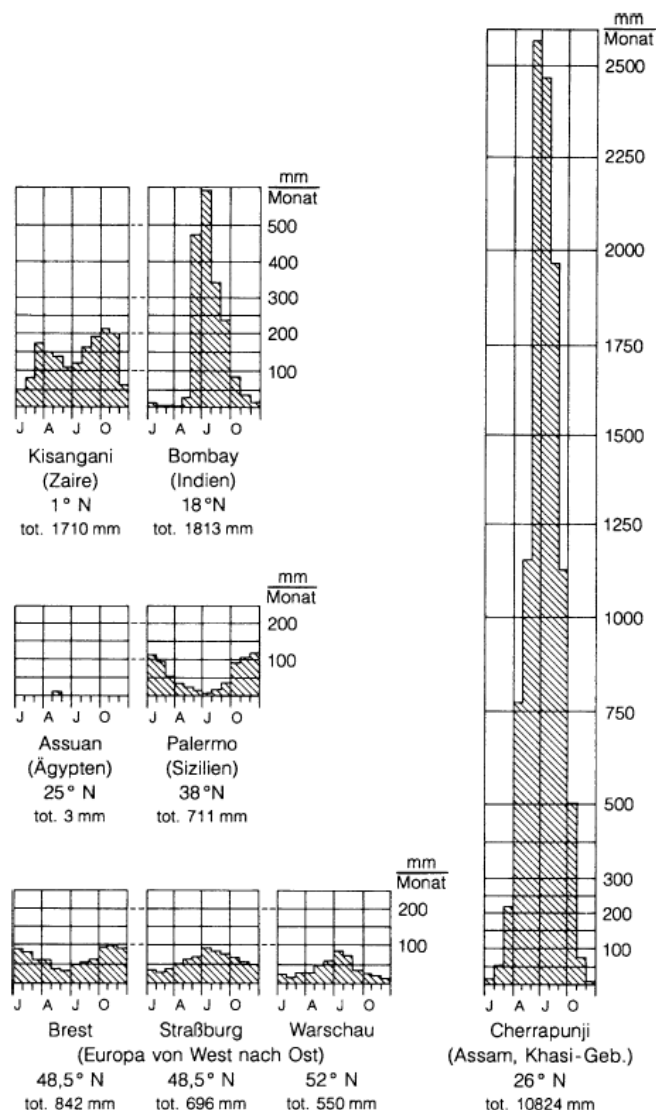
Abb. 5.13 Breitenkreismittel des Gehaltes der Atmosphäre an Wasserdampf, als Flüssigwasseräquivalent, und des Wolkenbedeckungsgrades (Nach Sellers 1965)  
Durchgezogene Linie: Wassergehalt (linke Skala), gestrichelte Linie: Bedeckung (rechte Skala)

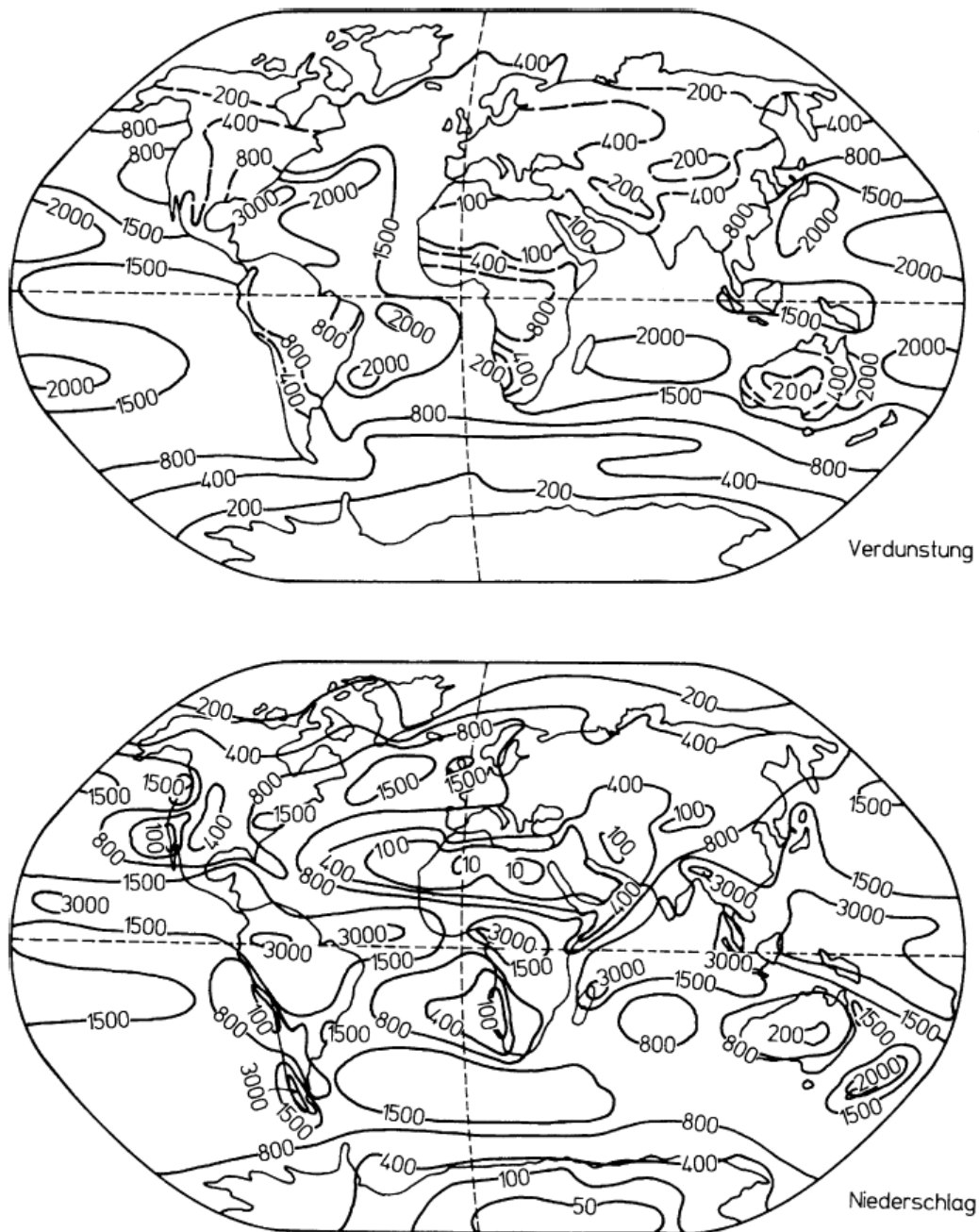


**Tabelle 5.2** Klimazonen nach physikalischen Kriterien

Äquatoriale Regenzone: 5°S–10°N	Ganzjährig unter dem Einfluß der äquatorialen Tiefdruckrinne; regenreich, oft hohe Luftfeuchtigkeit; Beispiel: Tropische Regenwälder
Tropische Sommerregenzone: 10°–20°N, 5°–20°S	Im Sommer im Bereich der ITC, dabei feucht und regenreich; im Winter im Bereich der subtropischen Hochdruckgürtel, dabei niederschlagsarm und meist heiter; Beispiel: Südasien
Subtropische Trockenzone: 20°–32°N 20°–30°S	Ganzjährig im Bereich der subtropischen Hochdruckgürtel; sehr trocken, Niederschläge allenfalls sporadisch; Beispiel: Sahara
Subtropische Winterregenzone: 32°–40°N 30°–35°S	Im Sommer im Bereich der subtropischen Hochdruckgürtel, heiter und trocken; im Winter dauernder oder zeitweiliger Einfluß der Westwinddrift, dabei ergiebige Niederschläge; Beispiel: Mittelmeer
Gemäßigte Zone: 40°–60°N 35°–55°S	Ganzjährig im Einflußbereich der Westwinddrift; wechselnd bewölkt und recht niederschlagsreich; Beispiel: Mitteleuropa
Subpolare Zone: 60°–80°N 55°–70°S	Ganzjährig im Bereich der subpolaren Tiefdruckrinne, häufige Niederschläge; Beispiel: Island
Hochpolare Zone: 80°–90°N 70°–90°S	Ganzjährig im Bereich der polaren Hochdruckkalotten; niederschlagsarm, z.T. wüstenartig; Beispiele: Arktis und Antarktis

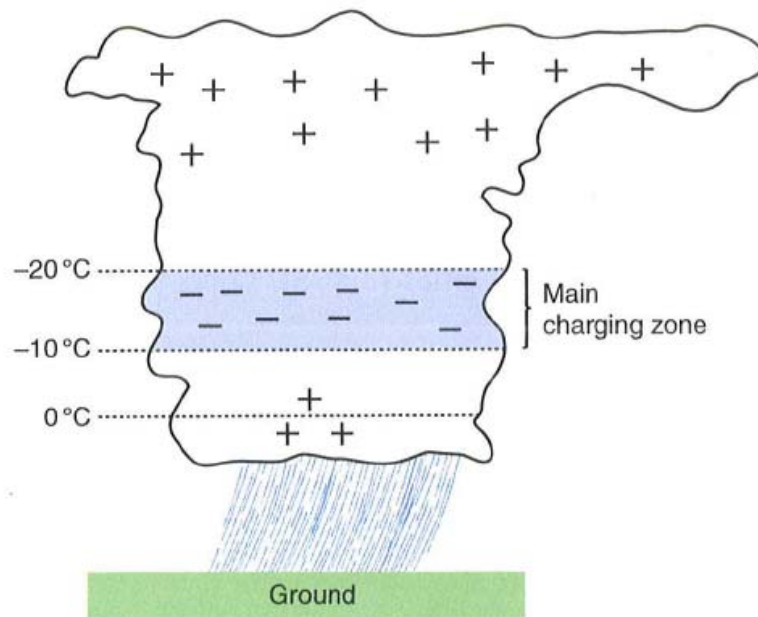
**Abb. 5.14**  
Niederschlagsmuster  
verschiedener Klimazonen;  
für Details s. Text



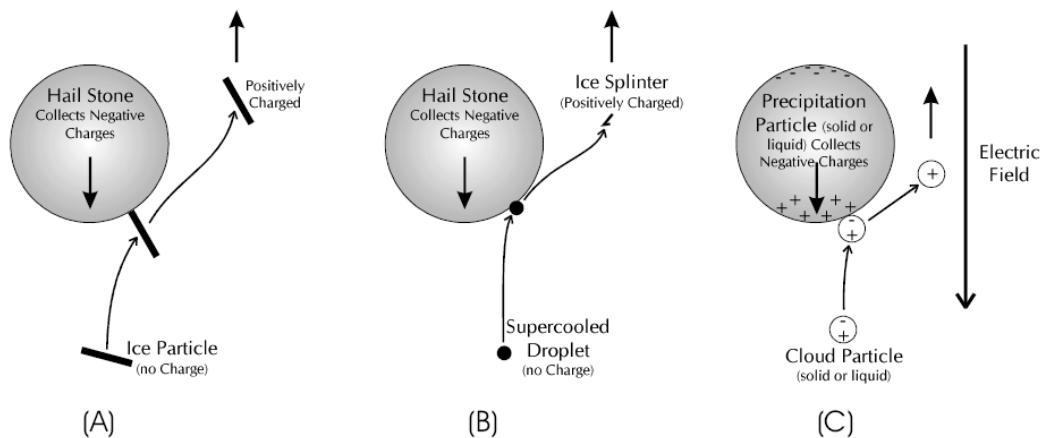


**Abb. 5.15** Verteilung von Verdunstung (oben) und Niederschlag (unten) auf der Erde (Quelle der Daten: Atlas of the World Water Balance; Unesco Press, Paris 1975). Die Bilder zeigen Isolinien (mm/Jahr, entspr.  $\text{l/m}^2 \cdot \text{Jahr}$ ) der Verdunstungs- bzw. Niederschlagsraten; die Verdunstungsraten über Land sind gestrichelt eingezeichnet

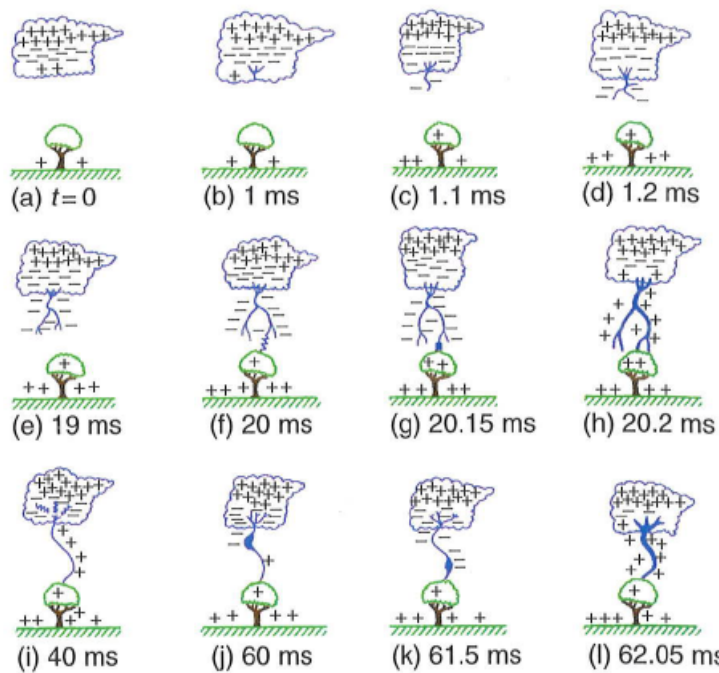




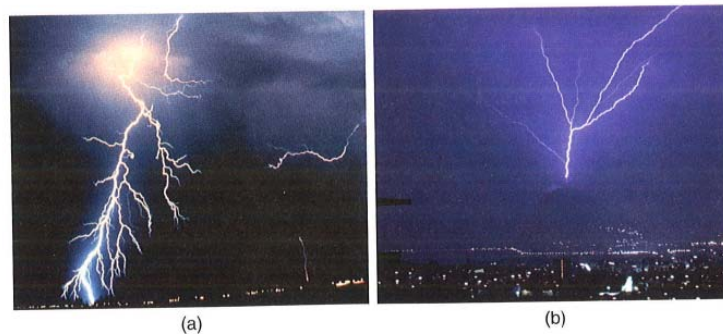
**Fig. 6.52** Schematic showing the distribution of electric charges in a typical and relatively simple thunderstorm. The lower and smaller positive charge is not always present.







**Fig. 6.53** Schematics (not drawn to scale) to illustrate some of the processes leading to a ground flash that charges the ground negatively. (a) cloud charge distribution, (b) preliminary breakdown, (c–e) stepped leader, (f) attachment process, (g and h) first return stroke, (i) K and J processes, (j and k) the dart leader, and (l) the second return stroke. [Adapted from M. Uman, *The Lightning Discharge*, Academic Press, Inc., New York, 1987, p. 12, Copyright 1987, with permission from Elsevier.]



**Fig. 6.54** (a) A time exposure of a ground lightning flash that was initiated by a stepped leader that propagated from the cloud to the ground. Note the downward-directed branches that were produced by the multibranched stepped leader. [Photograph courtesy of NOAA/NSSL.] (b) A time exposure of a lightning flash from a tower on a mountain to a cloud above the tower. This flash was initiated by a stepped leader that started from the tower and propagated upward to the cloud. In contrast to (a), note the upward-directed branching in (b). [Photograph courtesy of R. E. Orville.]






## Konvektive Wolken

Cumulus-Wolken, Cumulonimbus



Schichtwolken: Cirrus, Altostratus, Nimbostratus, Altocumulus, Cirrocumulus

<http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm>

<p>Cirrus</p>  A photograph showing thin, wispy cirrus clouds against a clear blue sky. The clouds are white and have a feathery appearance. The bottom of the image shows some bare tree branches.	<p>Altostratus</p>  A photograph showing a layer of greyish-blue altostratus clouds. The sun is visible through the clouds, creating a bright spot. In the background, a body of water and some distant structures are visible.	<p>Nimbostratus</p>  A photograph showing a thick, dark layer of nimbostratus clouds, indicating an overcast sky. The clouds are grey and cover the entire visible sky. In the foreground, a body of water and a pier are visible.
<p>Altocumulus (Schäfchenwolke)</p>  A photograph showing a layer of white, puffy altocumulus clouds. The clouds are arranged in a somewhat regular pattern, resembling sheep. The bottom of the image shows a landscape with hills and a body of water.	<p>Cirrocumulus</p>  A photograph showing a layer of white, puffy cirrocumulus clouds. The clouds are arranged in a somewhat regular pattern, resembling sheep. The bottom of the image shows some dark silhouettes of trees.	

Orographische Wolken



Gewitterbildung

