

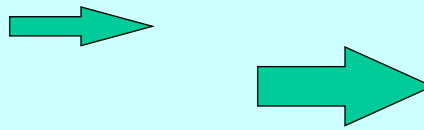
## Schichtwolken

- Die Bildung von Schichtwolken ist in häufigen Fällen die Folge der großräumigen Hebungsprozesse bei der Entstehung von Tiefdruckgebieten.
- Manchmal können Schichtwolken auch durch die Hebung von Nebel (Bildung von **Hochnebel, Stratus**) verursacht werden.
- Sie können auch durch die Ausbreitung von Cumuluswolken in der feuchten Schicht unterhalb einer Inversion verursacht werden.

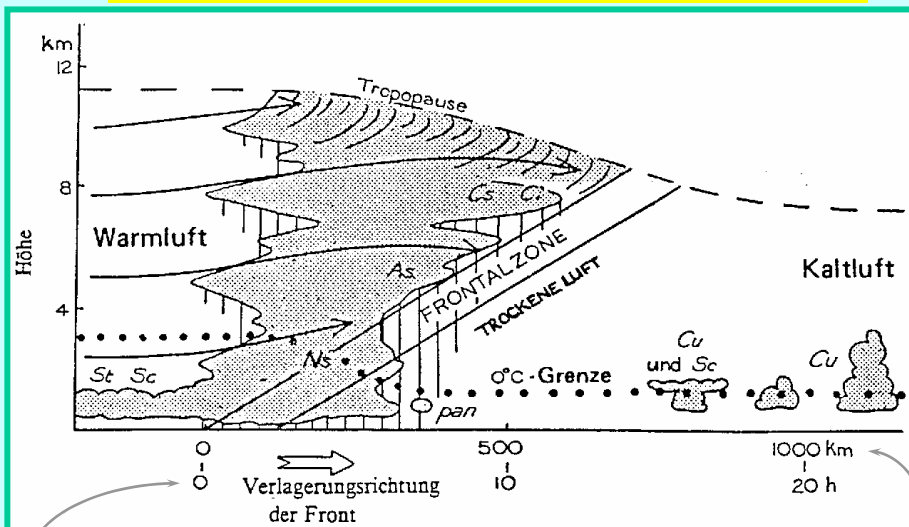


Bildung von Stratus verursacht durch die Ausbreitung von Cumuluswolken in der feuchten Schicht unterhalb einer Inversion

- **Der Durchzug einer Warmfront** bietet eine gute Gelegenheit, Schichtwolken in verschiedenen Entwicklungsstadien zu beobachten.



## Querschnitt durch eine Warmfront



die Zeitdauer bis zum Frontdurchgang      die Entfernung von der Bodenfront

(vorausgesetzt eine Verlagerungsgeschwindigkeit von 50 km/h)



**Cirrus**

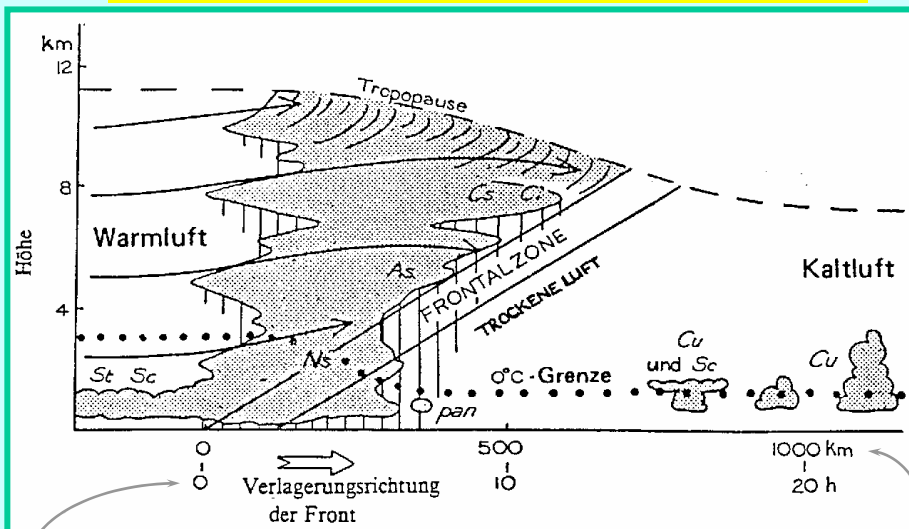
**Virga**



# Virga



## Querschnitt durch eine Warmfront



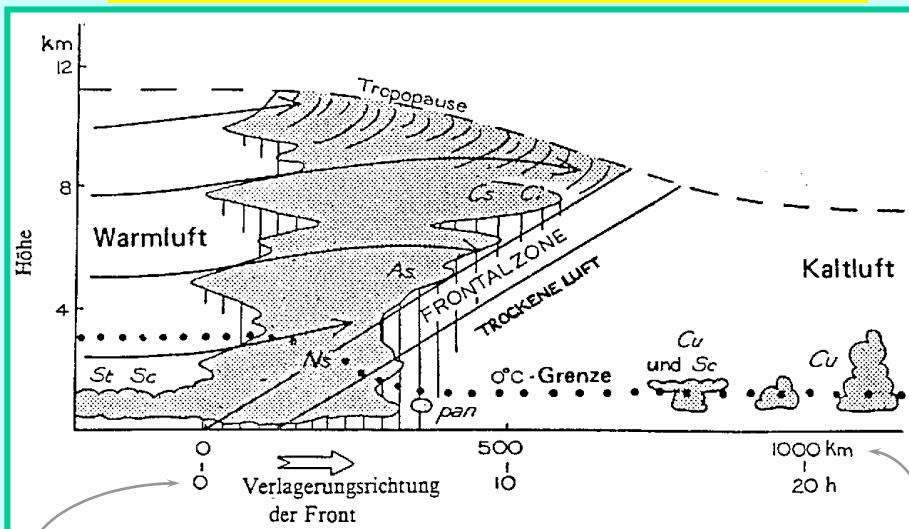
die Zeitdauer bis zum Frontdurchgang      die Entfernung von der Bodenfront

(vorausgesetzt eine Verlagerungsgeschwindigkeit von 50 km/h)

## Cirrostratus



## Querschnitt durch eine Warmfront



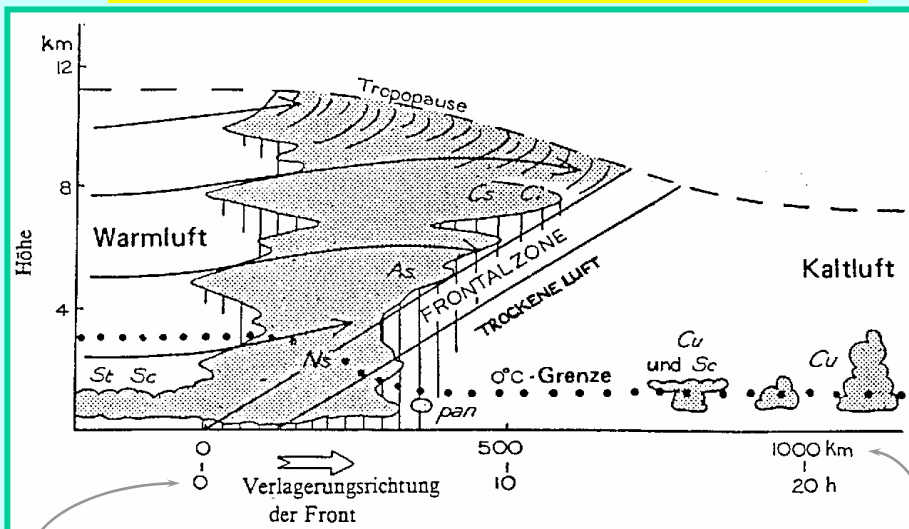
die Zeitdauer bis zum Frontdurchgang      die Entfernung von der Bodenfront

(vorausgesetzt eine Verlagerungsgeschwindigkeit von 50 km/h)

## Altostratus



## Querschnitt durch eine Warmfront



die Zeitdauer bis zum Frontdurchgang      die Entfernung von der Bodenfront

(vorausgesetzt eine Verlagerungsgeschwindigkeit von 50 km/h)

## Nimbostratus



## Pannus

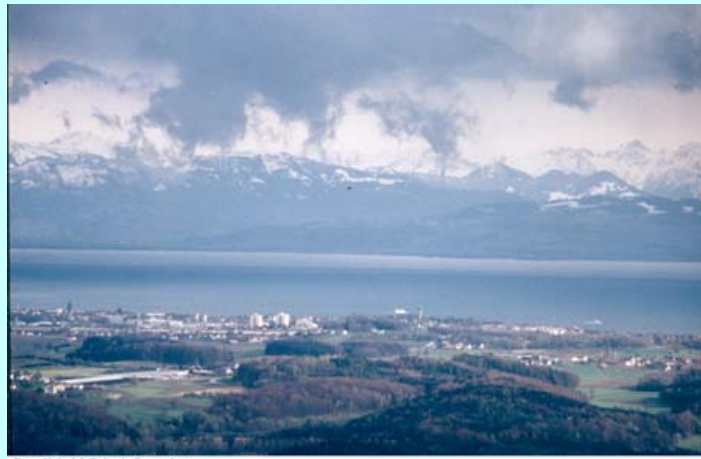
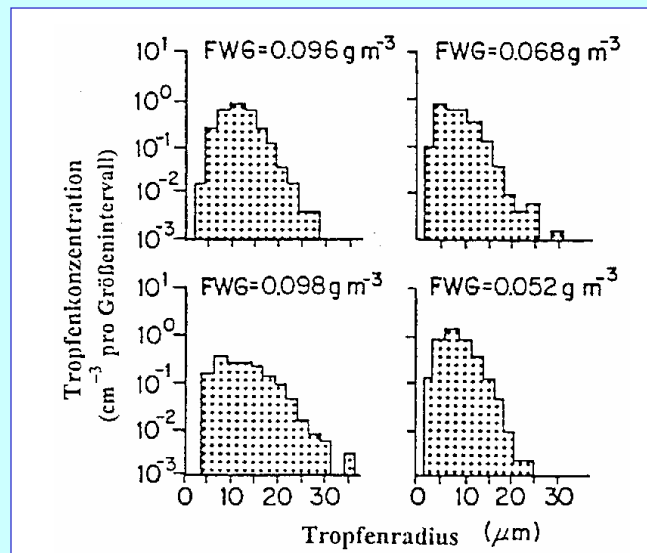


Foto: Heinrich Dubeck, Ravensburg

## Der Flüssigwassergehalt von Nebel und warmen Schichtwolken

- Der Flüssigwassergehalt von Nebel und warmen Schichtwolken, wie z. B. Stratus, ist über große horizontale Flächen relativ einheitlich.
- Im allgemeinen beträgt der Flüssigwassergehalt ca.  $0,1 \text{ gm}^{-3}$ .
- Das nächste Bild zeigt vier Tropfenspektren, die im Nebel gemessen wurden.
- Der Nebel bildete sich zuerst über Wasser und zog dann landeinwärts.



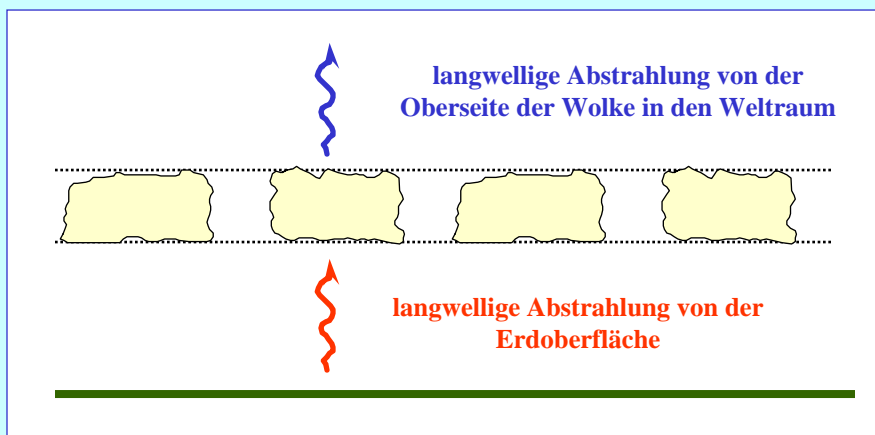
Größenverteilung der Tropfen im Nebel; angegeben ist außerdem der jeweils gemessene Flüssigwassergehalt (FWG). (die vier Messungen stammen aus Falmouth, Massachusetts).  $0.05 \text{ g/m}^3 < \text{FWG} < 0.1 \text{ g/m}^3$ .



## Andere Wolkengattungen in der Gruppe der Schichtwolken

- **Cirrocumulus, Altocumulus und Stratocumulus.**
- Man erklärt sich das Aufbrechen der Schichtwolken in cumulusartige und/oder wellenförmige Elemente durch bestimmte regelmäßig angeordnete Luftbewegungen.
- Die cumulusartigen Elemente stehen mit der Bildung von kleinen Konvektionszellen innerhalb der Wolkenschicht in Zusammenhang.
- Diese Konvektionszellen entstehen, wenn die Wolkenbasis durch die langwellige (Wärme-) Abstrahlung der Erdoberfläche erwärmt wird und sich gleichzeitig die Oberseite der Wolke durch die Abstrahlung in den Weltraum abkühlt.

## Die Bildung von Cirrocumulus, Altocumulus und Stratocumulus



Beispiele





**Stratocumulus über Land**



**Stratocumulus**

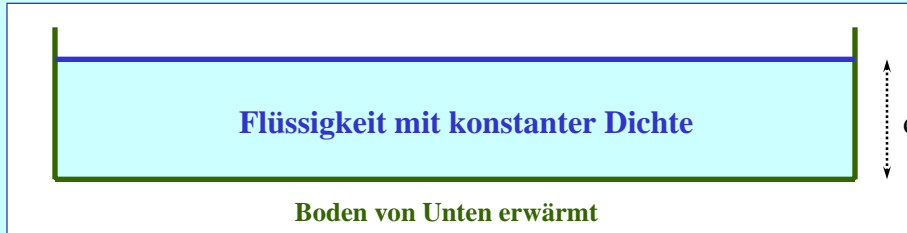


**Stratocumulus**

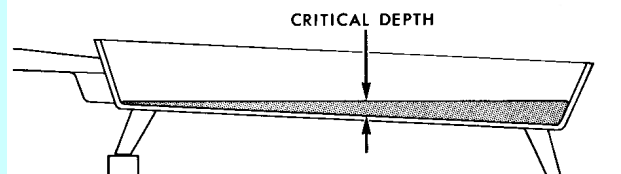
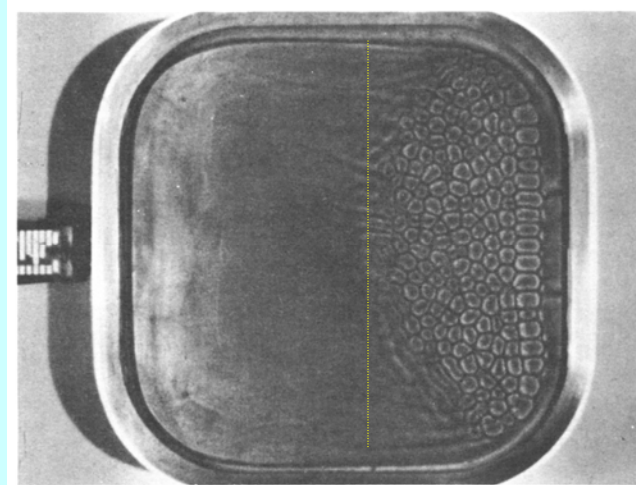


**Stratocumulus**

## Konvektive Bewegungen in Laborexperimenten

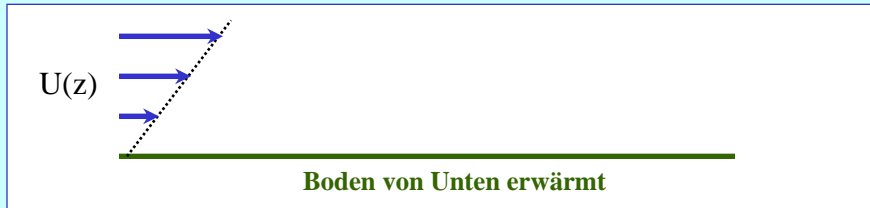


- Eine instabile Temperaturschichtung wird in der Flüssigkeit aufgebaut, beispielsweise durch Erwärmung von unten her.
- Der englische Wissenschaftler Lord Rayleigh zeigte, daß es für ein bestimmtes  $d$  ab einer kritischen Temperaturdifferenz in der Schicht zu zellularen Bewegungen kommt (**Rayleigh-Konvektion**).
- Die Konvektionszellen bezeichnet man nach dem französischen Physiker H. Bénard als **Bénard-Zellen**.

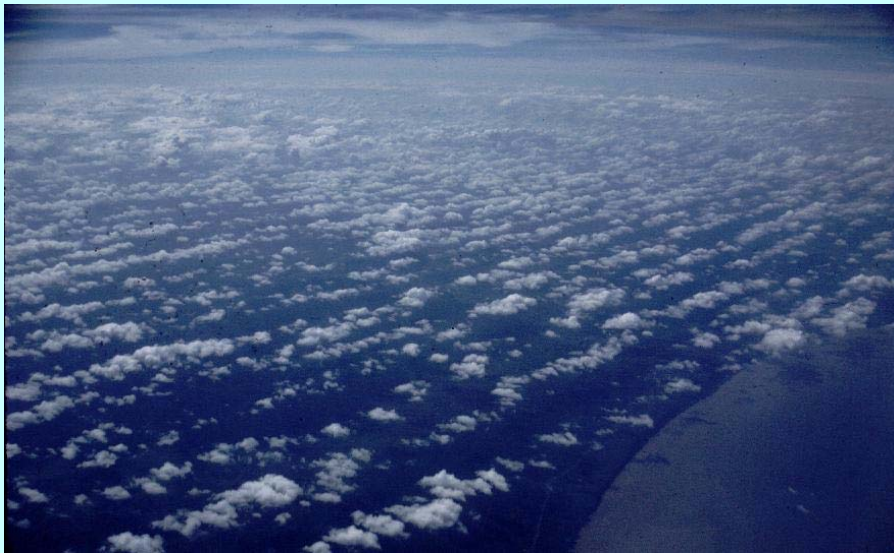


## Wolkenstraßen

- Wenn die Flüssigkeit von unten erwärmt wird und wenn eine horizontale Strömung mit einer vertikalen Scherung herrscht, können die klassischen Bénard-Zellen zusammenbrechen.



- Es bilden sich lange, walzenähnliche Zirkulationen, orientiert in Richtung des Schervektors
  - (d.h. in Richtung des Differenzvektors der Geschwindigkeitsvektoren benachbarter Flüssigkeitsschichten)
- In der Atmosphäre verursacht diese Zirkulationsform die Aufreihung der Wolken in langen Linien (**Wolkenstraßen**).



Wolkenstraßen



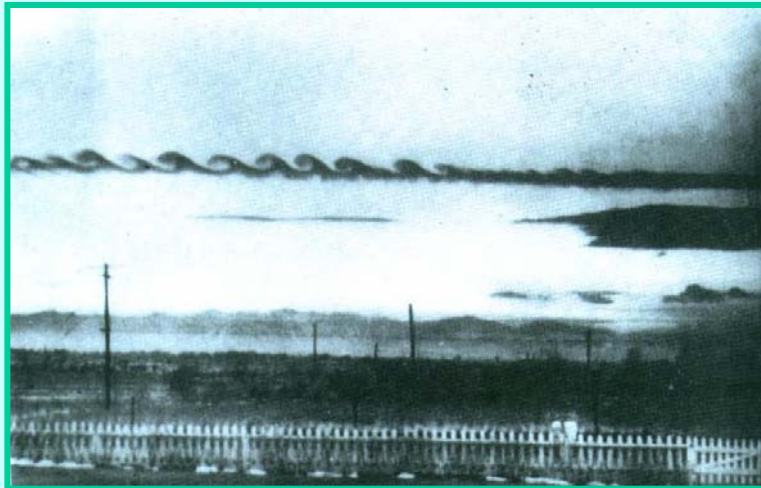
**Wolkenstraßen**

## **Bedingungen fuer die Bildung von Wolkenstraßen**

- **Die Bildung von Wolkenstraßen aus Cumulus- oder Stratocumuluswolken beobachtet man am häufigsten bei starkem Wind ( am Boden) und trockenadiabatischer Schichtung unterhalb der Wolkenbasis.**
- **Die Wolken reihen sich nahezu parallel zur Windrichtung auf, die im allgemeinen nur wenig von der Richtung der Windscherung abweicht.**
- **Der horizontale Abstand zwischen den Wolken liegt in der Größenordnung von 10 km und steht zur Höhe der konvektiven Schicht im Verhältnis von ungefähr 10:1.**

## Kelvin-Helmholtz-Wellen

- Wellenähnliche Luftbewegungen können auch in einer stabil geschichteten Atmosphäre entstehen, wenn die vertikale Windscherung einen kritischen Wert überschreitet.
- Bei genügend hoher Feuchte bilden sich senkrecht zur Richtung der Windscherung **wogenförmige Wolken** (vor allem in Altocumulus- und Cirrocumuluswolken).
- In wolkenfreier Luft kann man die Wellenbewegung mit einem Radargerät nachweisen, das auf die Änderungen des Brechungsindex der Luft (eine Folge der Dichteschwankungen) anspricht.
- Man nennt dieser Wellen **Kelvin-Helmholtz-Wellen** nach die Physiker Kelvin und Helmholtz. Die waren als erste die bei großer Scherung ausgelösten Wellenbewegungen untersuchten.



Kelvin-Helmholz-Wellen



**Kelvin-Helmholz-Wellen**



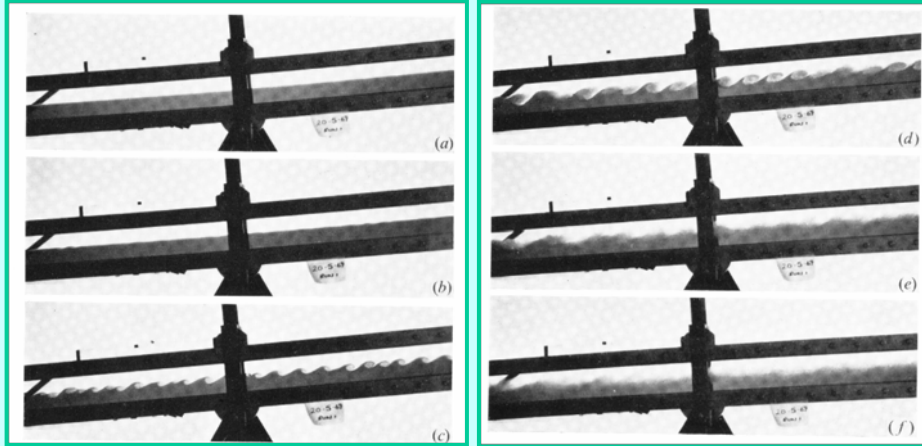


**Kelvin-Helmholz-Wellen**



**Kelvin-Helmholz-Wellen**

## Kelvin-Helmholz-Wellen im Labor



Von S. A. Thorpe, *J. Fluid Mech.*, 46, 299-319

## Clear-air-Turbulenz

- Unter bestimmten Bedingungen brechen sich die Luftwellen wie Wasserwellen.
- Dabei entstehen turbulente Bewegungen, die oft nicht durch Wolken gekennzeichnet sind (**Clear-air-Turbulenz**).
- Die auftretenden Vertikalbeschleunigungen können so hoch sein, daß Flugzeuge gefährdet werden.

