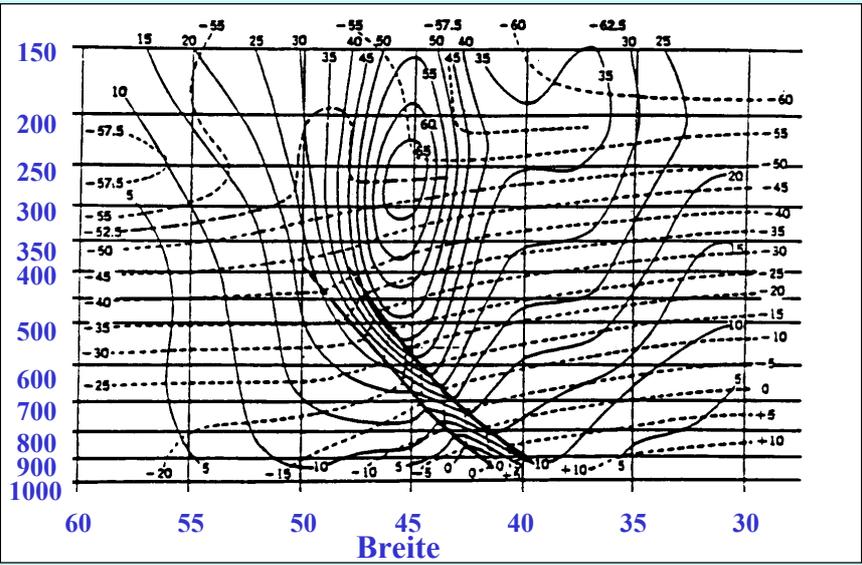


Fronten



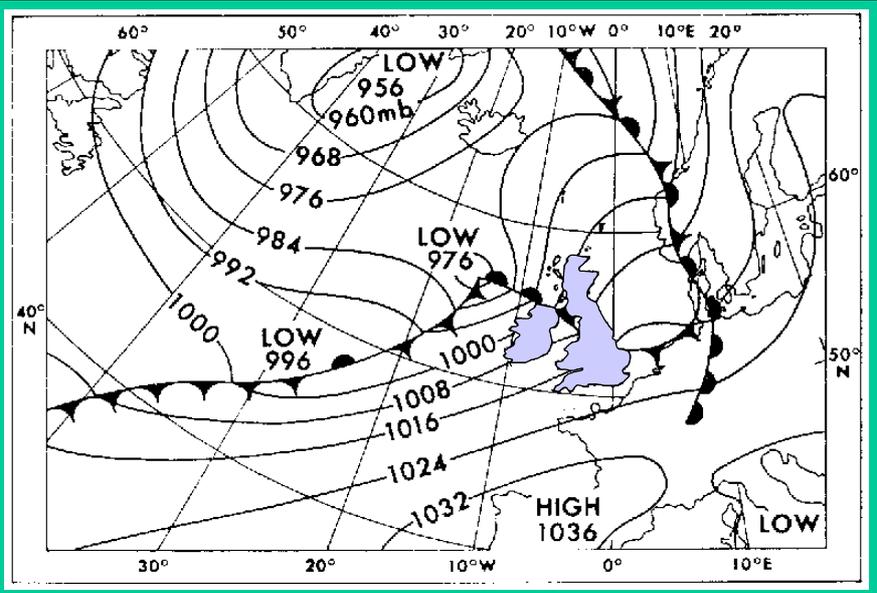
Fronten

- Eine **Front** ist definiert als “geneigte Ebene” zwischen zwei **Luftmassen** mit mehr oder weniger einheitlichen Eigenschaften.
- Ein Beispiel ⇒ die **Polarfront** in den mittleren Breiten ⇒ ein Gebiet mit relativ starkem horizontalen **Temperaturgradienten**, die die polwärtigen und äquatorwärtigen Luftmassen mit eher einheitlichen Temperaturen voneinander trennt.
- Weitere Beispiele sind **Kalt-** und **Warmfronten**, die mit außertropischen Tiefdruckgebieten zusammenhängen.

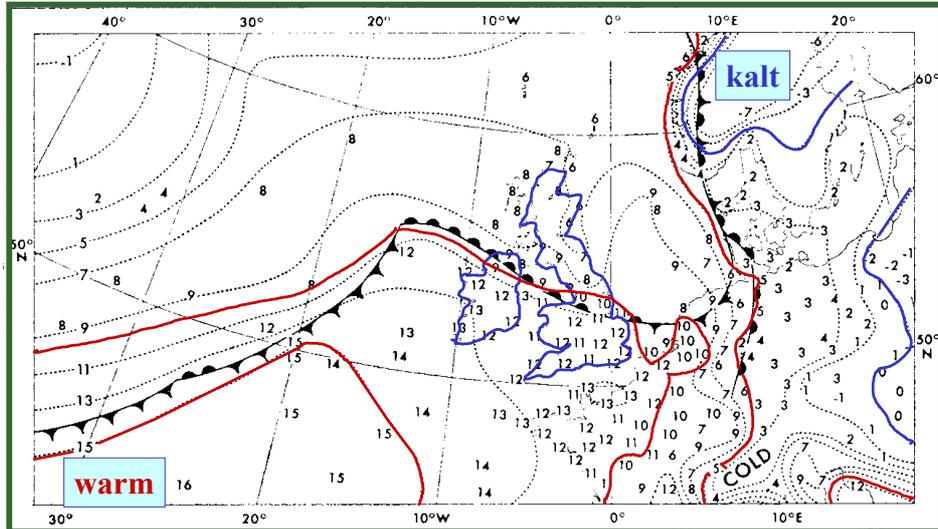


Meridionaler Querschnitt bei 80°W der mittlerer Temperatur und der zonalen Komponente des geostrophischen Windes, zusammengesetzt aus 12 einzelnen Querschnitten, erstellt im Dezember 1946.

Bodenfronten und Isobaren zum Termin 4 Jan 1957 12Z



Bodenfronten und Isothermen 04 Jan 1957 12Z



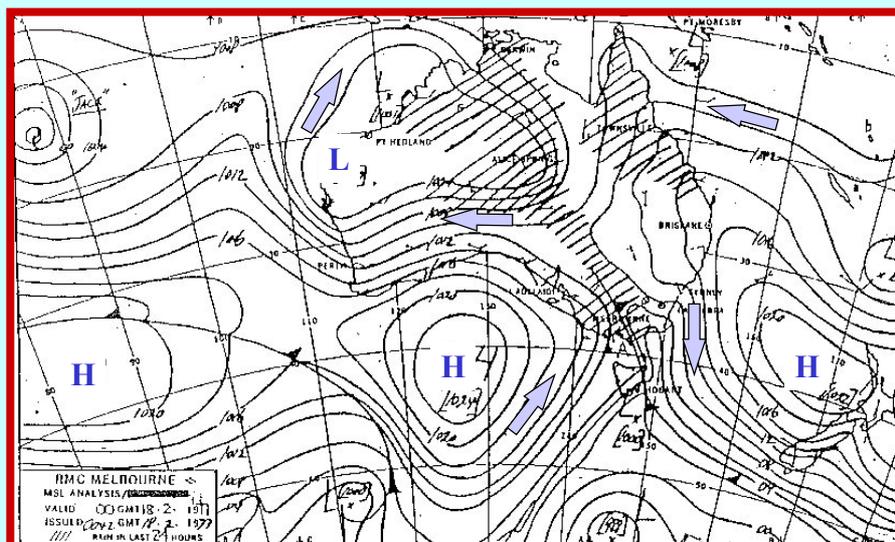
Eine Kaltfront über München



Ausgeprägte atmosphärische Fronten

- Zumeist sehr scharfe Temperaturunterschiede entlang der Vorderseite – ein paar Grad über wenige Kilometer Distanz.
- Beispiele:
 - Melbournes berühmte **“Cool Change“** im Sommer,
 - Sydneys **“Southerly Buster“**,
 - Neuseelands **“Southerly Change“**.
- Die ersten zwei sind südostaustralische Frontensysteme, die eine scharfe Übergangsregion zwischen sehr warmen Luftmassen tief im Landesinneren und viel kälterer Luft im südlichen Ozean bilden.

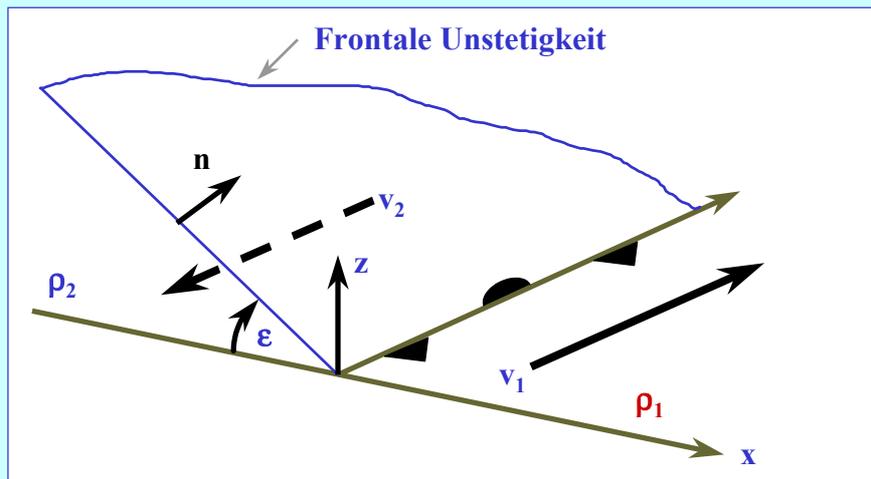
Bodendruckkarte über Australien



'Southerly Buster' über Sydney, Australien



Margules Modell



Das einfachste Modell stellt eine Frontale "Unstetigkeit" dar. Die Front wird idealisiert als eine **scharfe, flache Unstetigkeit der Temperatur**, die zwei **reibungsfreie, homogene, geostrophische Strömungen** voneinander trennt.

Annahmen für das Modell von Margules

- (i) die **Boussinesq Approximation**; insbesondere, dass die Temperaturdifferenz zwischen den Luftmassen klein ist.
- Es gilt $(T_1 - T_2)/T^* \ll 1$, $T^* = (T_1 + T_2)/2$ ist die mittlere Temperatur der zwei Luftmassen und T_2 ist die Temperatur der Kaltluft.
- (ii) die Strömung ist überall parallel zur Front, entlang der Front gibt es keine Änderung der Strömung: $\partial/\partial y \equiv 0$.
- (iii) Keine Diffusion; die frontale Unstetigkeit bleibt unverändert.

Bewegungsgleichungen

Geostrophische Gleichung

$$-fv = -\frac{1}{\rho_*} \frac{\partial p'}{\partial x}$$

$$fu = 0$$

Störungsdruck

Hydrostatische Gleichung

$$0 = -\frac{1}{\rho_*} \frac{\partial p'}{\partial z} + g \left[\frac{T - T_2}{T_*} \right]$$

Herleitung

Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Hydrostatische Gleichung

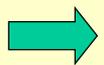
Allgemein

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -g\rho$$



$$\frac{\partial}{\partial z} \overbrace{(p - p_2)}^{p'} = -g(\rho - \rho_2)$$

$$\rho = p/RT$$

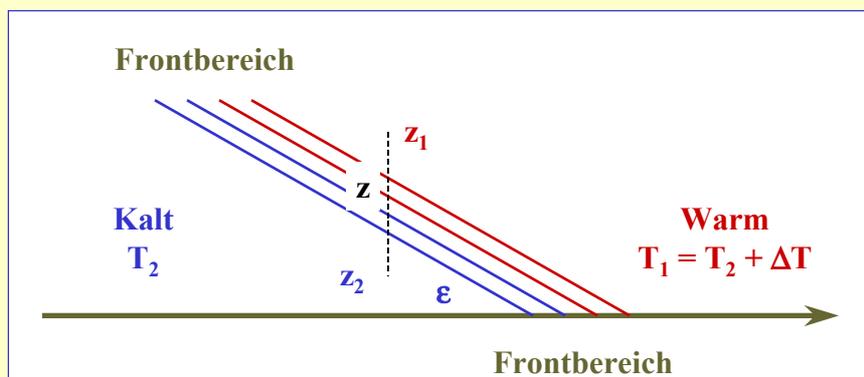


$$\frac{1}{\rho^*} \frac{\partial}{\partial z} (p - p_2) = -g \frac{(\rho - \rho_2)}{\rho^*} \approx g \frac{(T - T_2)}{T^*}$$



$$0 = -\frac{1}{\rho^*} \frac{\partial p'}{\partial z} + g \left[\frac{T - T_2}{T^*} \right]$$

Wir betrachten Margules' Lösung als **Grenzfall** für die Situation, wo der Temperaturgradient sehr klein ist, ausser an der Front selbst.



Entlang einer Isotherme gilt $\Delta T = \frac{\partial T}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial T}{\partial z} \Delta z = 0$

Sei $\varepsilon(x,z)$ die lokale Neigung einer Isotherm im Frontbereich:

$$\tan \varepsilon = -\frac{\Delta z}{\Delta x} = \frac{\frac{\partial T}{\partial x}}{\frac{\partial T}{\partial z}}$$

Beachte, dass $\Delta x > 0$ $\Delta z < 0$ bedingt falls, wie gezeigt, $0 < \varepsilon < \pi/2$.

Eliminiere p aus

$$-fv = -\frac{1}{\rho_*} \frac{\partial p}{\partial x} \quad \text{und} \quad 0 = -\frac{1}{\rho_*} \frac{\partial p}{\partial z} + g \left[\frac{T - T_2}{T_*} \right]$$

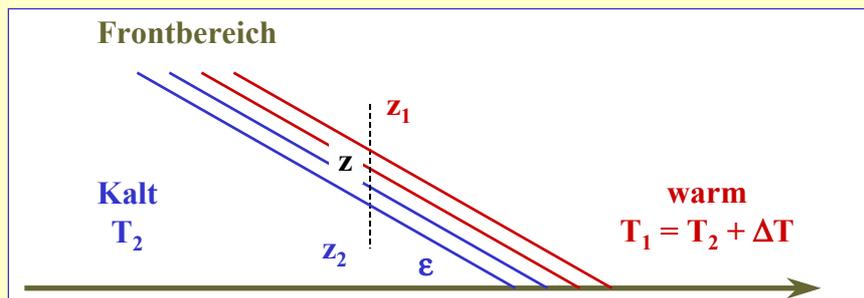


$$f \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{1}{\rho_*} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial z} = \frac{g}{T_*} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{g}{T_*} \tan \varepsilon \frac{\partial T}{\partial z}$$

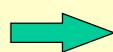
⇒ die Thermische Windgleichung ⇒ die vertikale Scherung des Windes quer zur Front in Abhängigkeit vom horizontalen Temperatur Gradienten.

Integriere $f \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{1}{\rho_*} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial z} = \frac{g}{T_*} \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{g}{T_*} \tan \varepsilon \frac{\partial T}{\partial z}$

vertikal von z_2 bis z



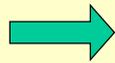
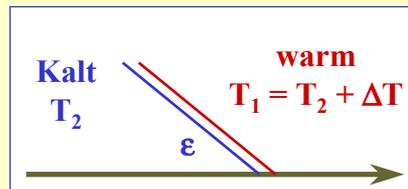
$$v(x, z) = v(x, z_2) + \frac{g}{fT_*} \int_{z_2}^z \tan \varepsilon \frac{\partial T}{\partial z} dz$$



$$v_1 = v_2 + \frac{g}{fT_*} (T_1 - T_2) \tan \varepsilon^*$$

ε^* ist der Winkel der Isothermen zwischen z_2 und z_1

$$v_1 = v_2 + \frac{g}{fT_*} (T_1 - T_2) \tan \varepsilon^*$$



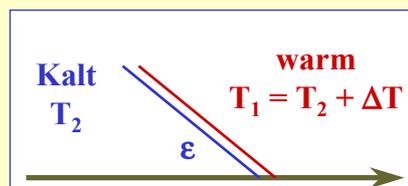
$$\Delta v = \frac{g\Delta T}{fT_*} \tan \varepsilon^*$$

Margules Formel

Die Margulesformel definiert die Änderung der geostrophischen Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Temperaturunterschied quer zur Front und der Neigung der Front.

$$\Delta v = \frac{g\Delta T}{fT_*} \tan \varepsilon$$

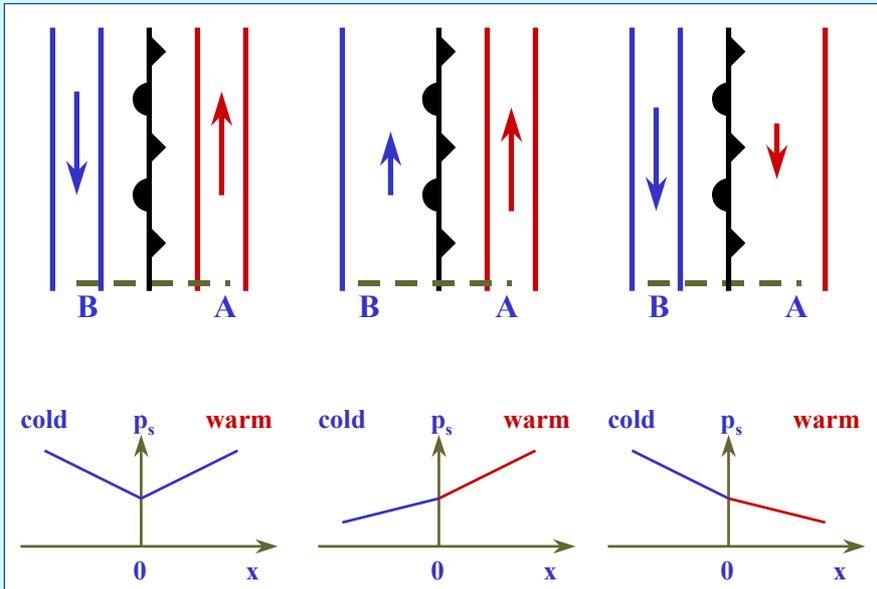
Margules Formel



Beachte: mit $0 < \varepsilon < \pi/2$ gilt

- (i) $\Delta T = T_1 - T_2 > 0$, andernfalls wäre die Strömung instabil bezüglich Schwerewellen
- (ii) $\Delta v < 0 (> 0)$ falls $f < 0 (> 0) \Rightarrow$ d.h. es gibt stets einen zyklonalen Sprung in v parallel zur Front an der Frontvorderseite.
- (iii) Es ist **nicht notwendig**, dass $v_1 < 0 (> 0)$ und $v_2 > 0 (< 0)$ getrennt gelten; nur die Geschwindigkeitsdifferenz ist **wichtig**.

Drei mögliche Konfigurationen



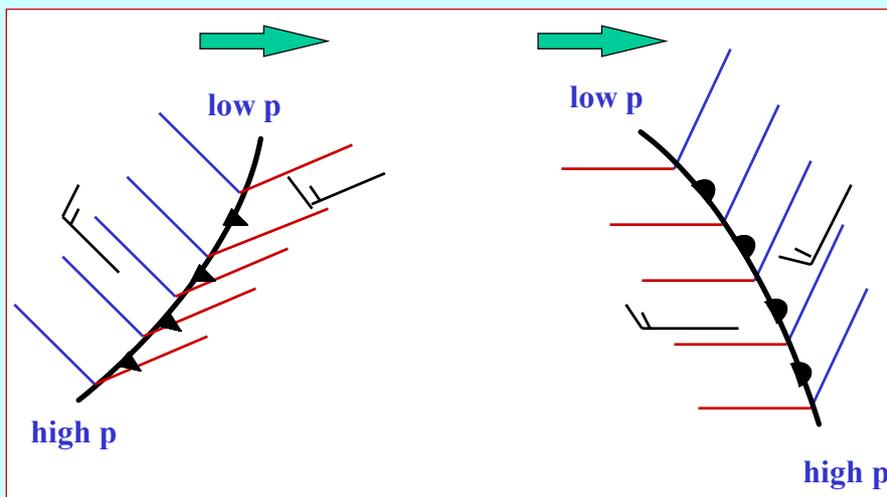
Einige Bemerkungen

- Margules Lösung für v (wie gezeigt, mit u und w überall null) ist eine **exakte** Lösung der Eulergleichungen im rotierenden System.
- Die Margulesformel stellt eine diagnostische Beziehung dar für eine stationäre oder quasi-stationäre Front; Sie sagt nichts über die Entwicklung (**Frontogenese**) oder die Auflösung (**Frontolyse**) von Fronten aus.
- Die Margulesformel ist von geringem praktischen Nutzen in der Wettervorhersage. Aktive Fronten (verantwortlich für '**signifikantes Wetter**' in den mittleren Breiten) sind stets mit wachsenden Vertikalbewegungen verknüpft, und werden normalerweise von Niederschlag begleitet.

- Die Erweiterung von Margules Modell bezüglich Fronten mit einer einheitlichen geostrophischen Strömung übergeht ist ebenfalls eine problematisch Näherung. (Sutcliffe, 1938; Smith, 1990).
- Fronten treten auch über den Ozeanen auf.

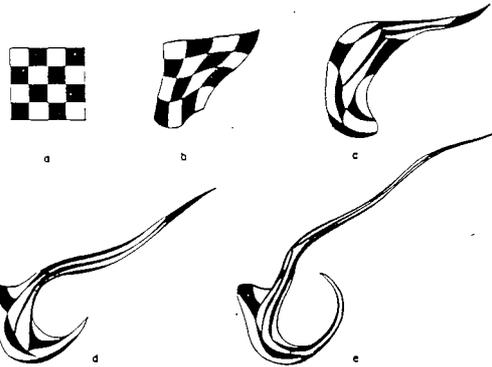
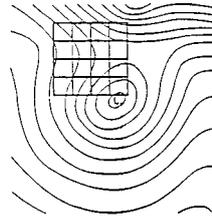
Smith, R. K., 1990
 Surface pressure fields in balanced air mass models of fronts.
Mon. Wea. Rev., 118, 1922-1926.

http://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/~roger/MWR_1990_Smith.pdf



Schematische Darstellung einer wandernden **Kaltfront** und einer wandernden **Warmfront**, wie sie auf Bodendruckkarten in der nördlichen Hemisphäre vorkommen. Beachte, dass der scharfe Isobarenknick des Windes die un stetige Neigung der Isobaren widerspiegelt.

Strömungsdeformationen,
dargestellt mittels eines
passiven "Tracers" (aus
Welander 1955)



Ende