

Wintersemester 2023/2024

Physische Geographie 1

(Grundkursvorlesung PG 1 – Vorlesungsteil Klimatologie)

Prof. Dr. Christoph Beck

Lehrstuhl für Physische Geographie mit Schwerpunkt Klimaforschung

Institut für Geographie

Universität Augsburg

Vertikale Luftbewegungen

Adiabatische Zustandsänderungen:

adiabatisch: physikalischer oder chemischer Vorgang, bei dem zwischen System und Umgebung kein Wärmeaustausch stattfindet.

Vertikale Aufwärtsbewegung:

⇒ **Expansion und Abkühlung** der gehobenen Luft

Grad der Abkühlung in Abhängigkeit davon ob:

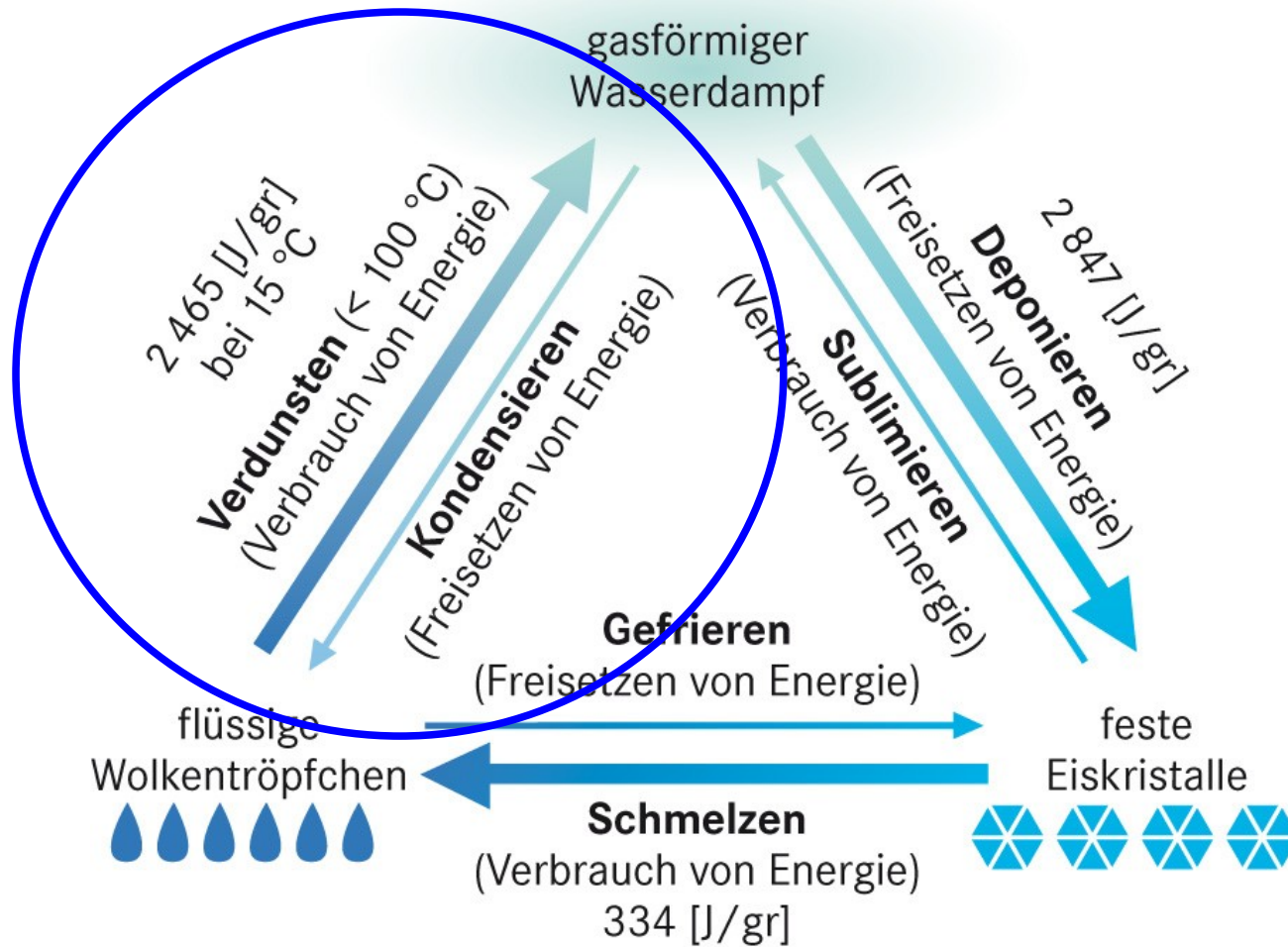
Aggregatzustandsänderungen des Wassers

(insbes. Kondensation + Freisetzung latenter Wärme) stattfinden

1) **ohne** Aggregatzustandsänderungen:
trockenadiabatisch

1) **mit** Aggregatzustandsänderungen:
feuchtadiabatisch

Aggregatzustände von H₂O



Aus Gebhardt/Glaser/Radtke/Reuber: *Geographie*. 1. Aufl., © 2007 Elsevier GmbH

Verdunstungsenergie E_v in Abhängigkeit von der Temperatur T :

T [°C]	-10	0	10	20	30	40	100
E_v [J/g]	2524	2498	2478	2452	2427	2394	2256

Vertikale Luftbewegungen

Adiabatische Zustandsänderungen:

Trockenadiabatischer vertikaler Temperaturgradient:

gilt für $e < E$;

vertikaler Temperaturgradient: $\approx 1^\circ\text{C}/100\text{m}$

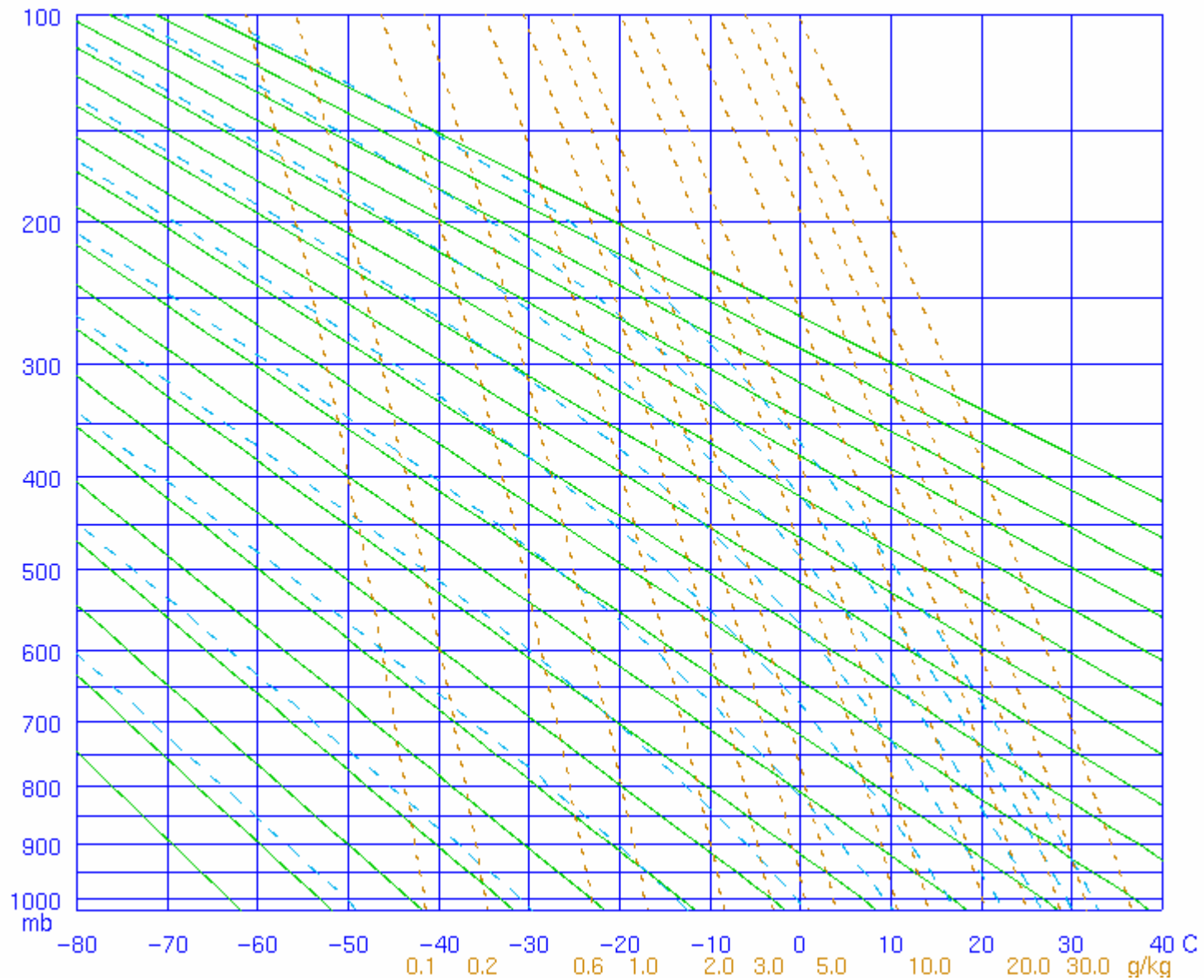
Feuchtadiabatischer vertikaler Temperaturgradient:

gilt für $e = E$;

vertikaler Temperaturgradient: **temperaturabhängig**
am häufigsten: 0.5 bis $0.7^\circ\text{C}/100\text{m}$

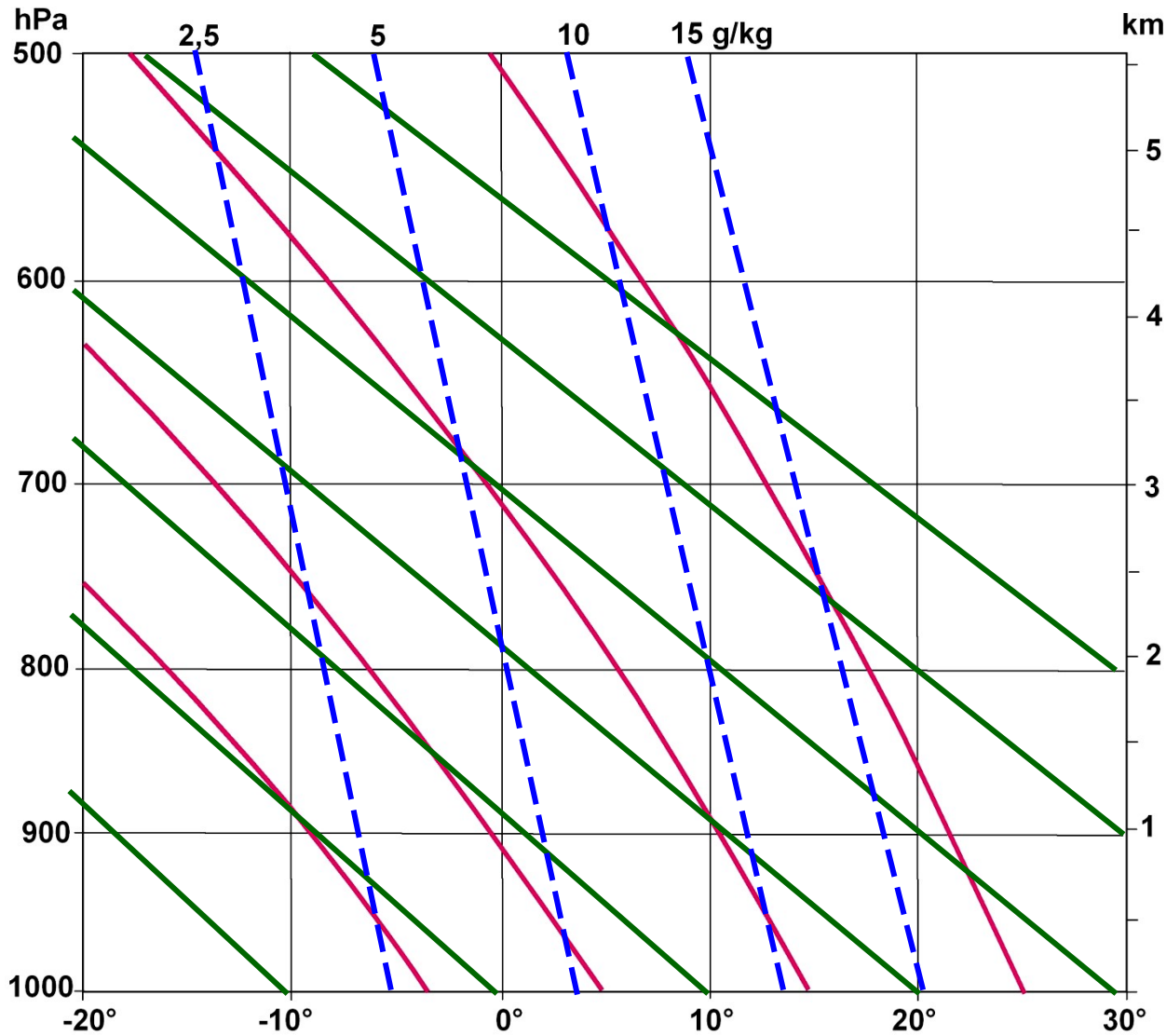
Thermodynamisches Diagramm

(nach Stüve 1927)



Thermodynamisches Diagramm

(nach Stüve 1927)

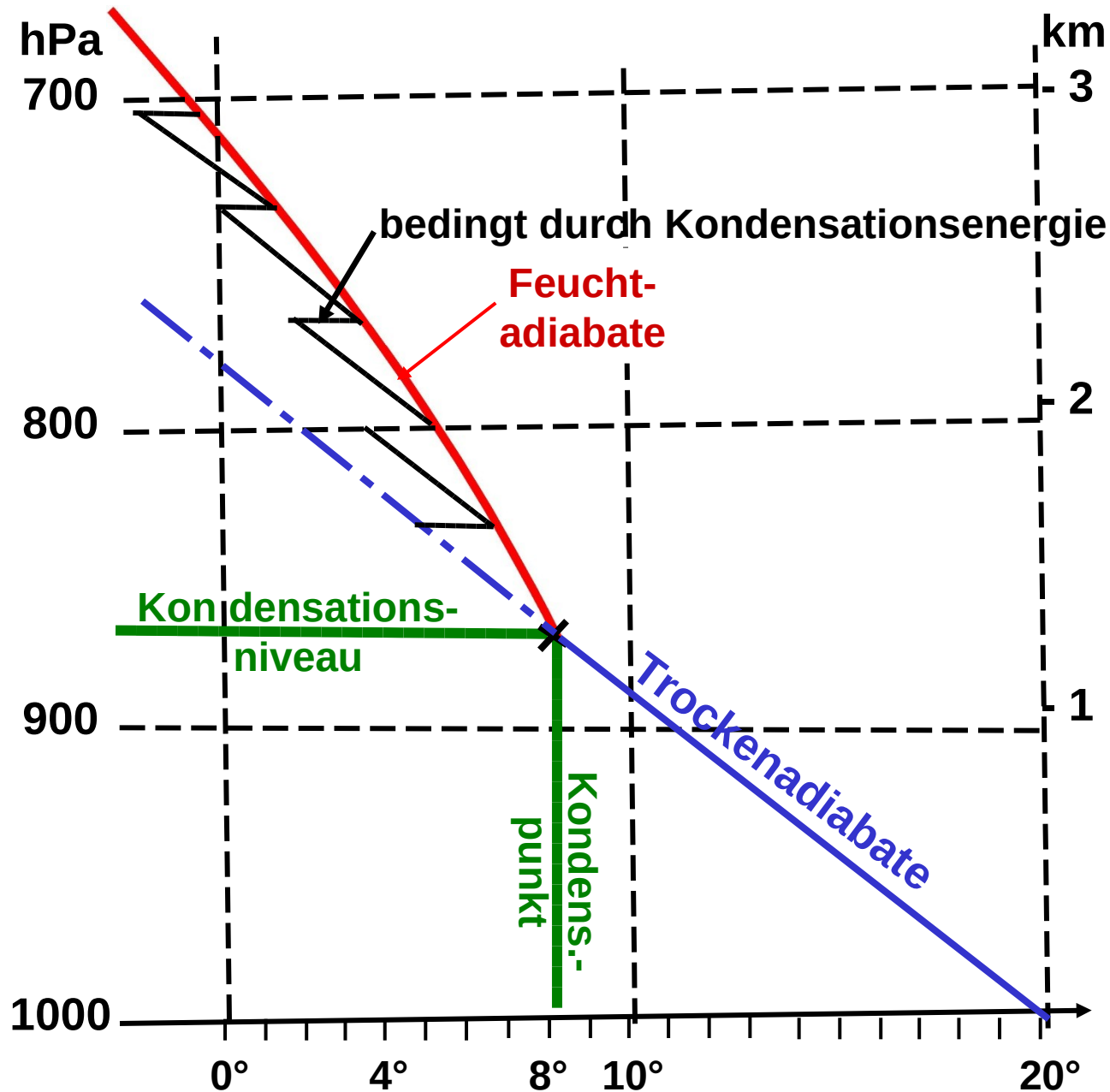


— Feuchtadiabaten

- - - (maximale) spezifische Feuchte

— Trockenadiabaten

Trocken- und feuchtadiabatische Zustandsänderung



(Weischet 2002)

Vertikale Luftbewegungen

Adiabatische Zustandsänderungen:

Trockenadiabatischer und **feuchtadiabatischer** Temperaturgradient

Aus temperaturabhängigkeit des Sättigungsdampfdrucks ergibt sich:

Bei hohen Lufttemperaturen

(warme Klimate, untere Troposphärenschichten):

⇒ **feuchtadiabatischer Temperaturgradient wesentlich kleiner als der trockenadiabatische.**

Bei niedrigen Lufttemperaturen

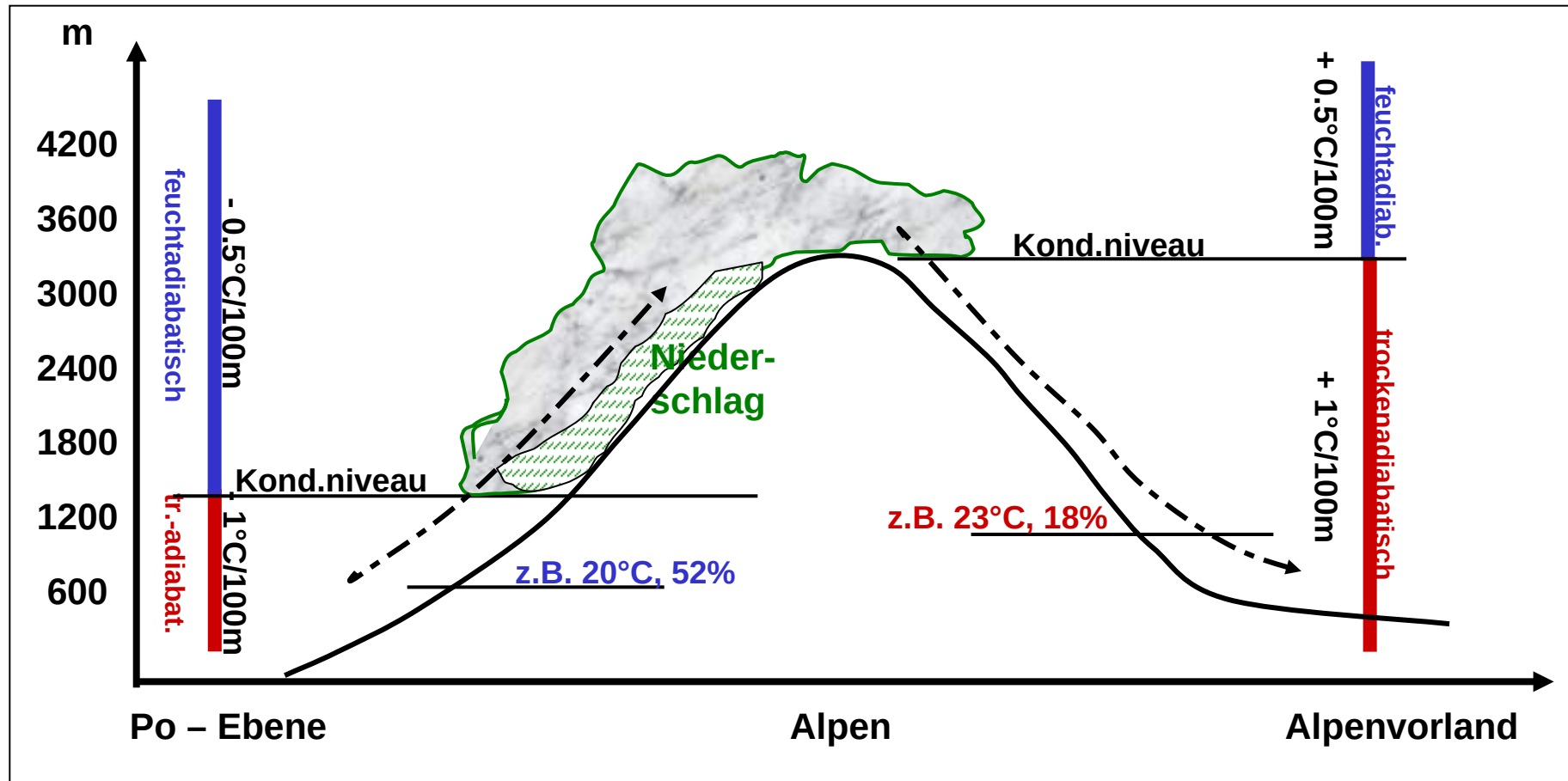
(kalte Klimate, höhere Troposphärenschichten):

⇒ **feuchtadiabatischer Temperaturgradient gleicht sich dem trockenadiabatischen immer mehr an.**

Vertikale Luftbewegungen

Adiabatische Zustandsänderungen:

Das Föhnprinzip



Vertikale Luftbewegungen

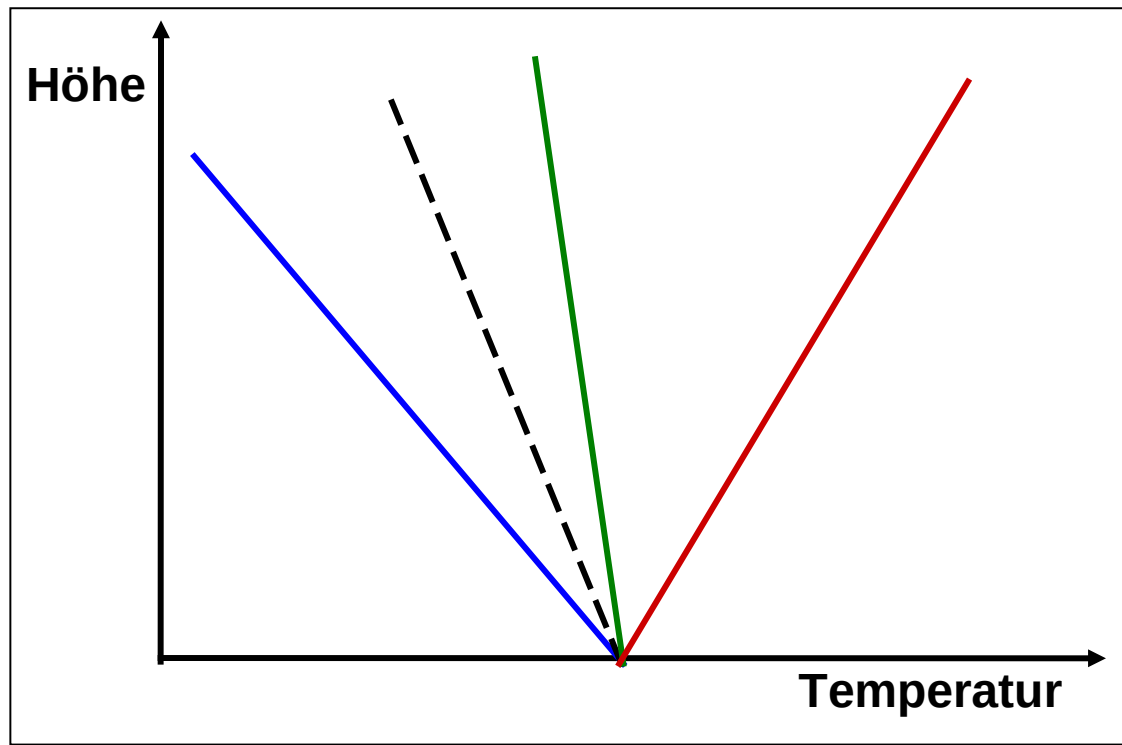
Adiabatische Zustandsänderungen:

Das Föhnprinzip



Vertikale Luftbewegungen

Adiabatische Zustandsänderungen und thermische Vertikalschichtung in der Atmosphäre (geometrischer vertikaler Temperaturgradient):



Adiabate

labile Schichtung

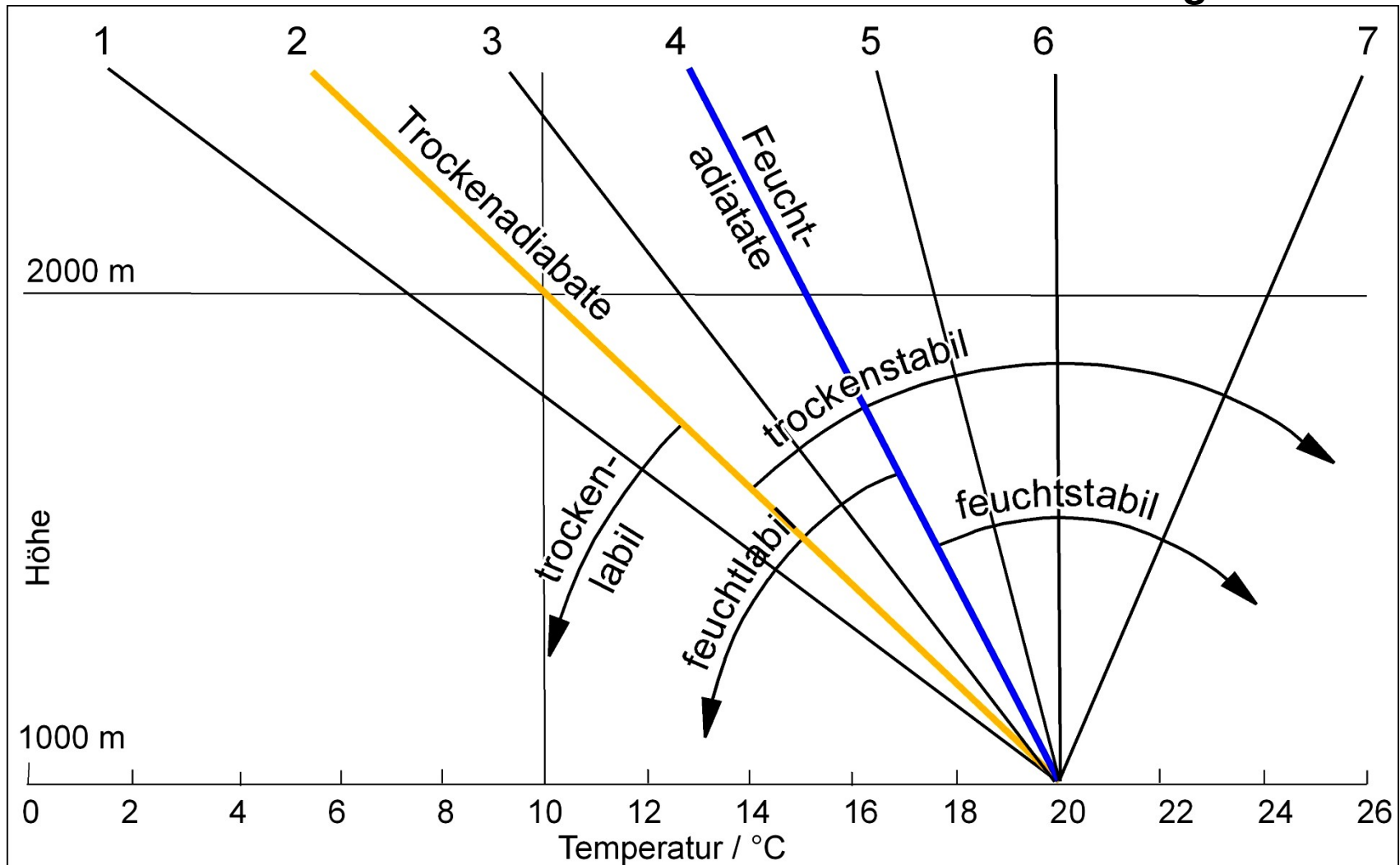
stabile Schichtung

Inversion

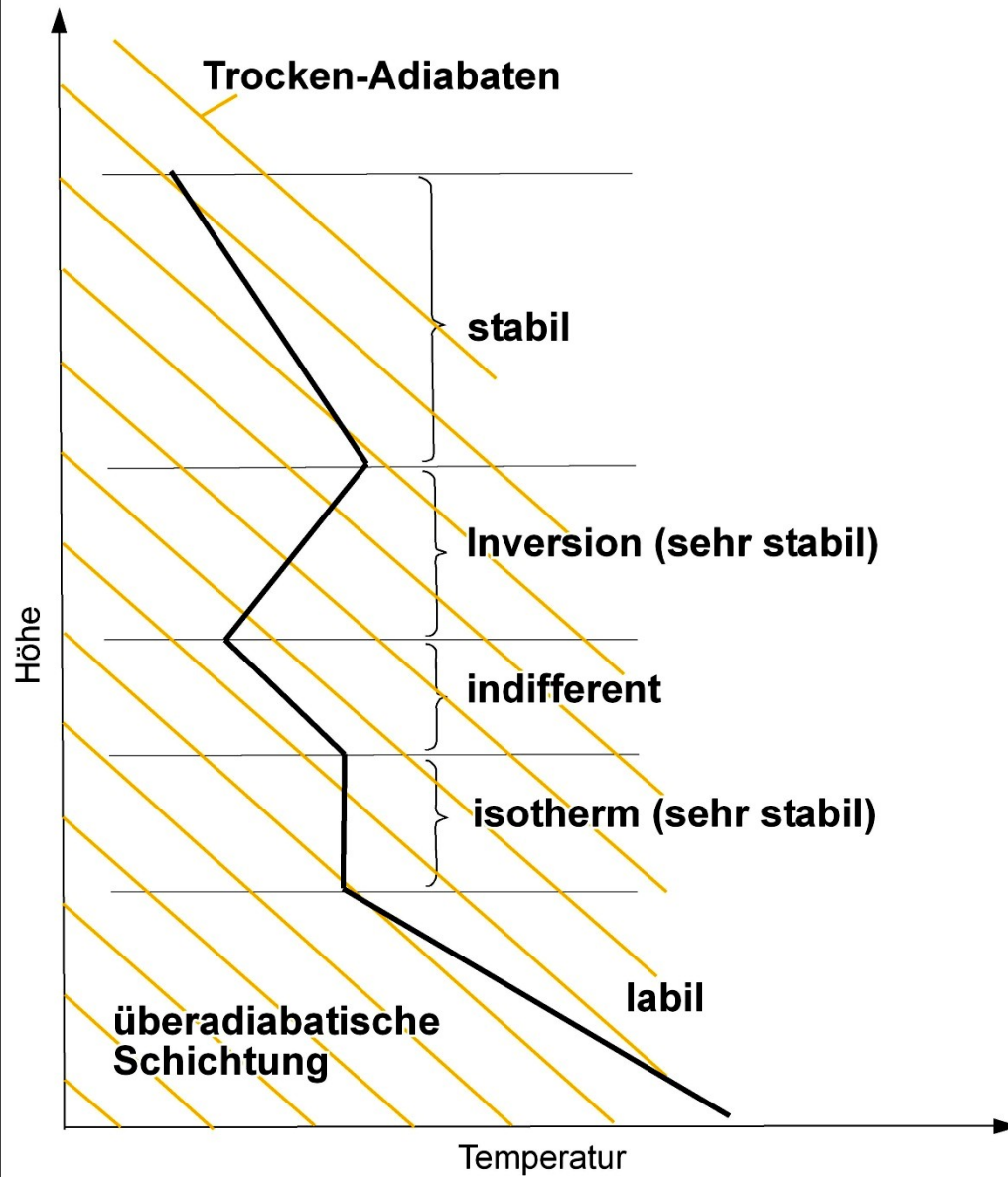
Stabilität und **Labilität**
der vertikalen
thermischen Schichtung

Vertikale Luftbewegungen

Stabilität und **Labilität** der vertikalen thermischen Schichtung:



Die möglichen Gleichgewichtszustände der Atmosphäre
(nach Scharnow et al. 1990)



**Beispiel eines vertikalen Temperaturprofils
mit unterschiedlichen Schichtungen**

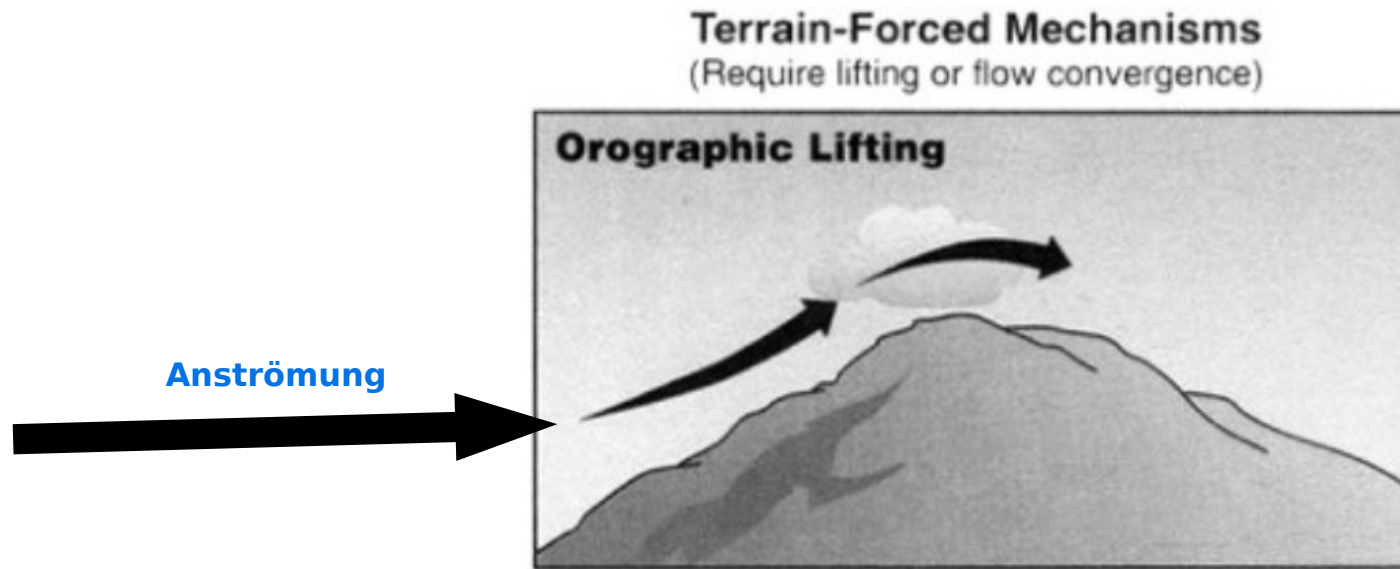
(nach Wörnecke 1991)

Vertikale Luftbewegungen

Ursachen für vertikale Luftbewegungen:

- orographisch erzwungene Anhebung

Hebung von Luftmassen an orographischem Hindernis

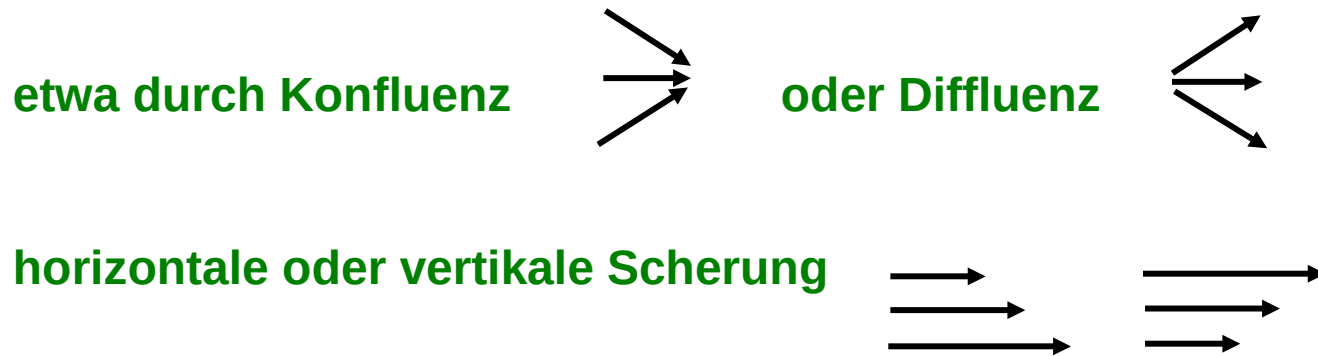


(Tucker 2005)

Vertikale Luftbewegungen

Ursachen für vertikale Luftbewegungen:

- orographisch erzwungene Anhebung
- Verwirbelung einer (horizontalen) Strömung (“dynamische Turbulenz“)



- katabatischer Kaltluftabfluss
- Advektion unterschiedlich temperierter Luftmassen
 - Aufgleitbewegung
 - erzwungener Aufstieg

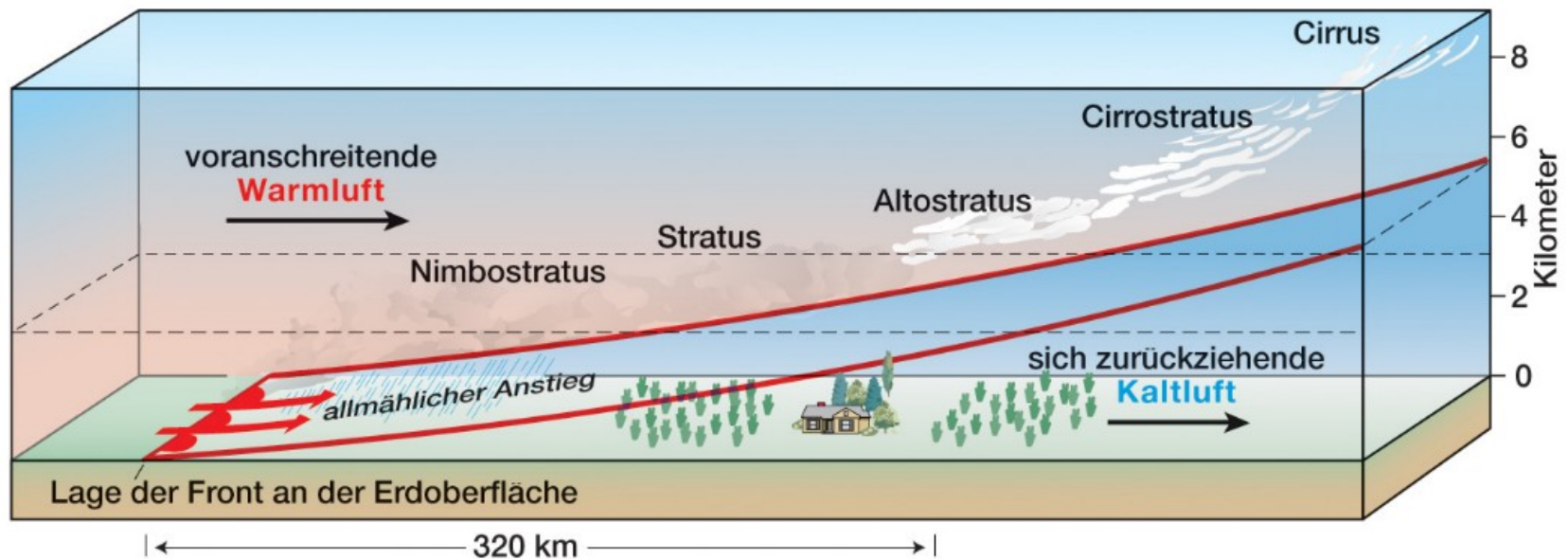
Vertikale Luftbewegungen

Ursachen für vertikale Luftbewegungen:

- Advektion unterschiedlich temperierter Luftmassen

Aufgleitbewegung:

← warme Luft wird gegen kalte Luft geführt



(McKnight & Hess 2009)

Warmfront

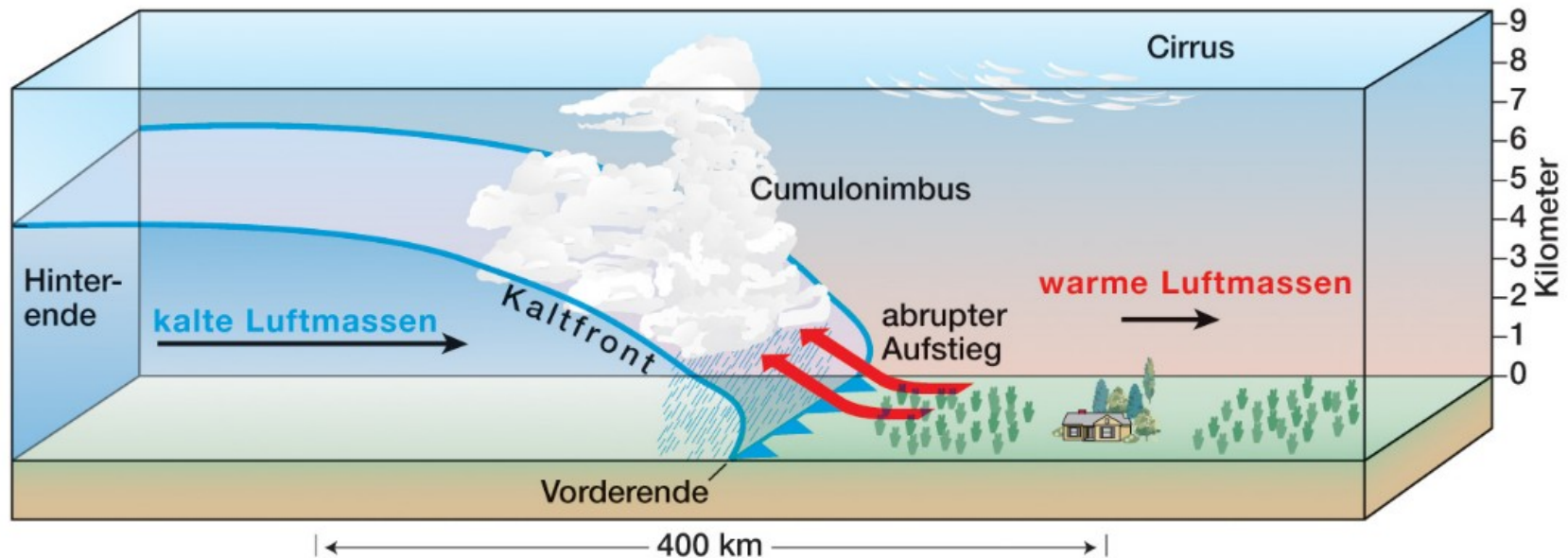
Vertikale Luftbewegungen

Ursachen für vertikale Luftbewegungen:

- Advektion unterschiedlich temperierter Luftmassen

Einbruchsprozess:

← kalte Luft wird gegen warme Luft geführt



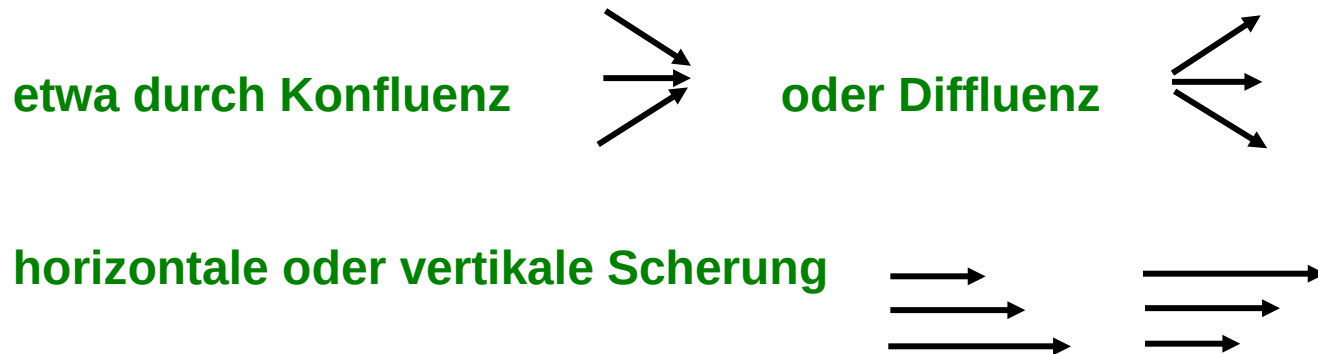
(McKnight & Hess 2009)

Kaltfront

Vertikale Luftbewegungen

Ursachen für vertikale Luftbewegungen:

- orographisch erzwungene Anhebung
- Verwirbelung einer (horizontalen) Strömung (“dynamische Turbulenz“)



- katabatischer Kaltluftabfluss
- Advektion unterschiedlich temperierter Luftmassen
 - Aufgleitbewegung
 - erzwungener Aufstieg
- labile Schichtung
- Konvergenzen und Divergenzen
 - Massengewinn bzw. Massenverlust im horizontalen Strömungsfeld

	HOCH	TIEF
Rotation	antizyklonal	zyklonal
bodennahe Strömung	divergentes Ausströmen	konvergentes Einströmen
Vertikalbewegung	absinkend	aufsteigend
Bewölkung	gering	stark
aber:	Nebelbildung	Hitzetiefs

Vertikale Luftbewegungen

Witterungsphänomene bei ausgeprägter
Stabilität / Labilität der Schichtung:

Gewitter – Typen (ausgeprägte Labilität):

- Luftmassengewitter (“Wärmegewitter“)
- Frontalgewitter
- orographische Gewitter

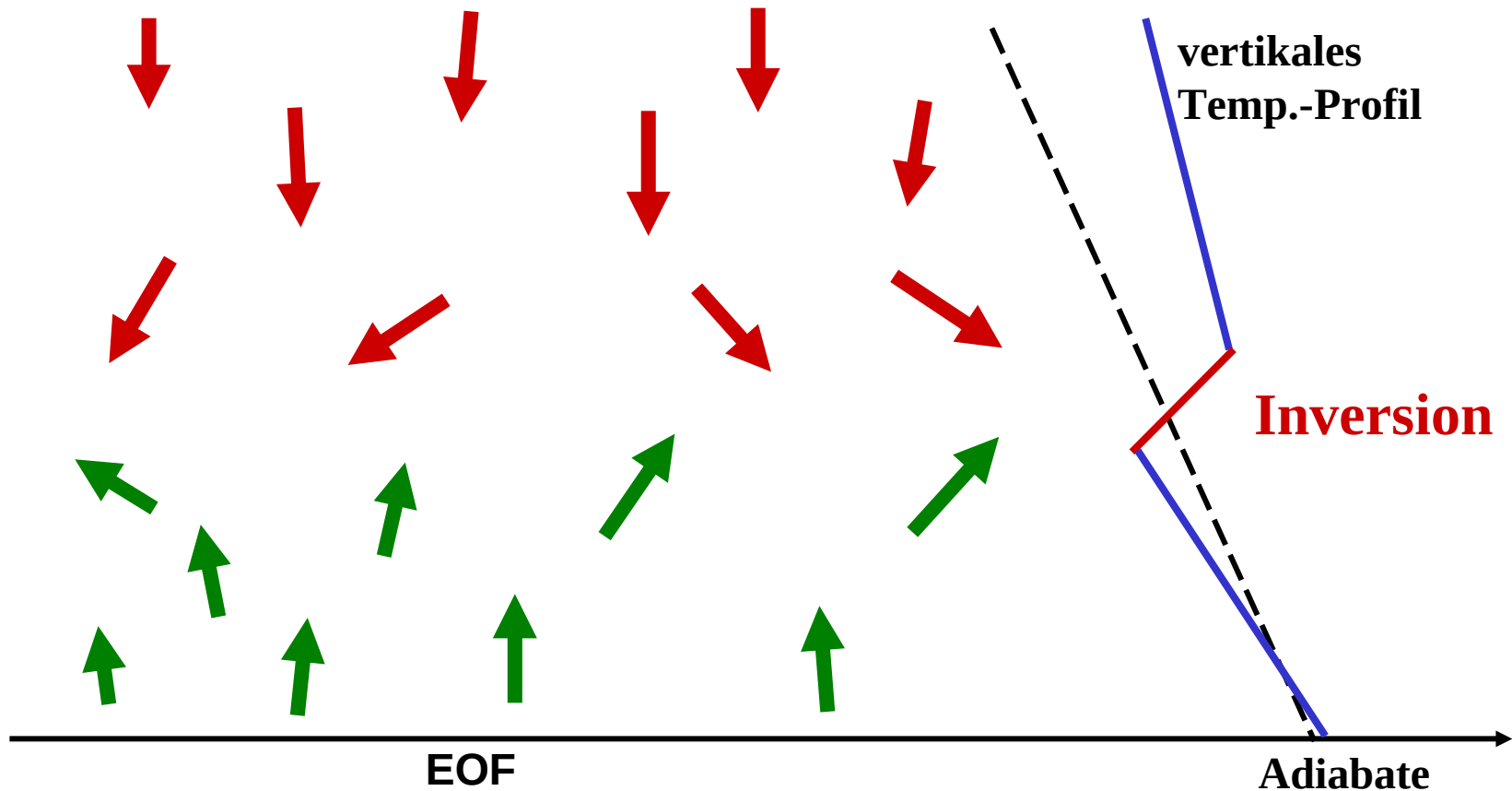
Inversions – Typen (ausgeprägte Stabilität):

- Ausstrahlungsinversion
- Aufgleitinversion
- dynamische Absinkinversion

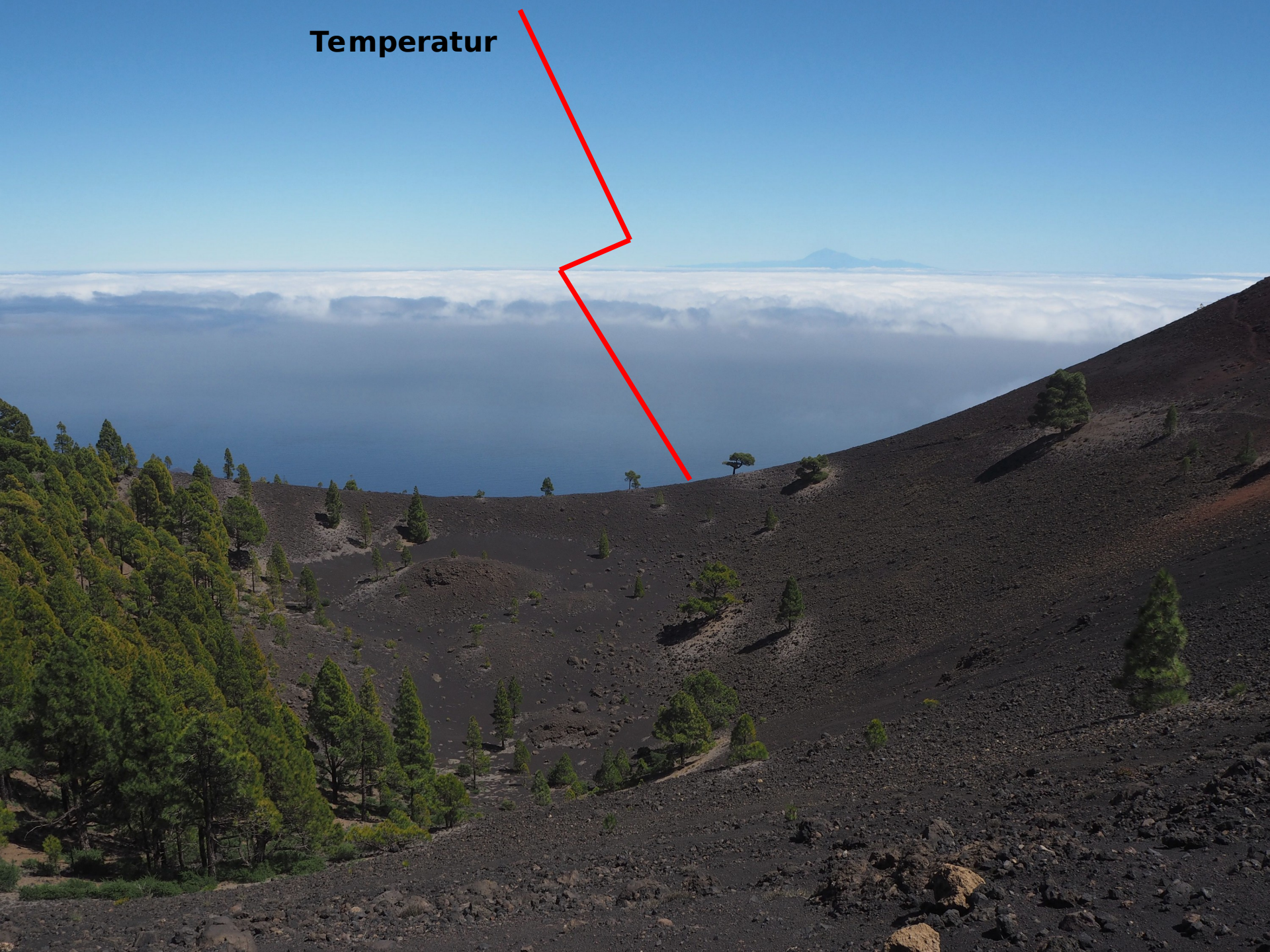
Vertikale Luftbewegungen

Witterungsphänomene bei ausgeprägter Stabilität / Labilität der Schichtung:

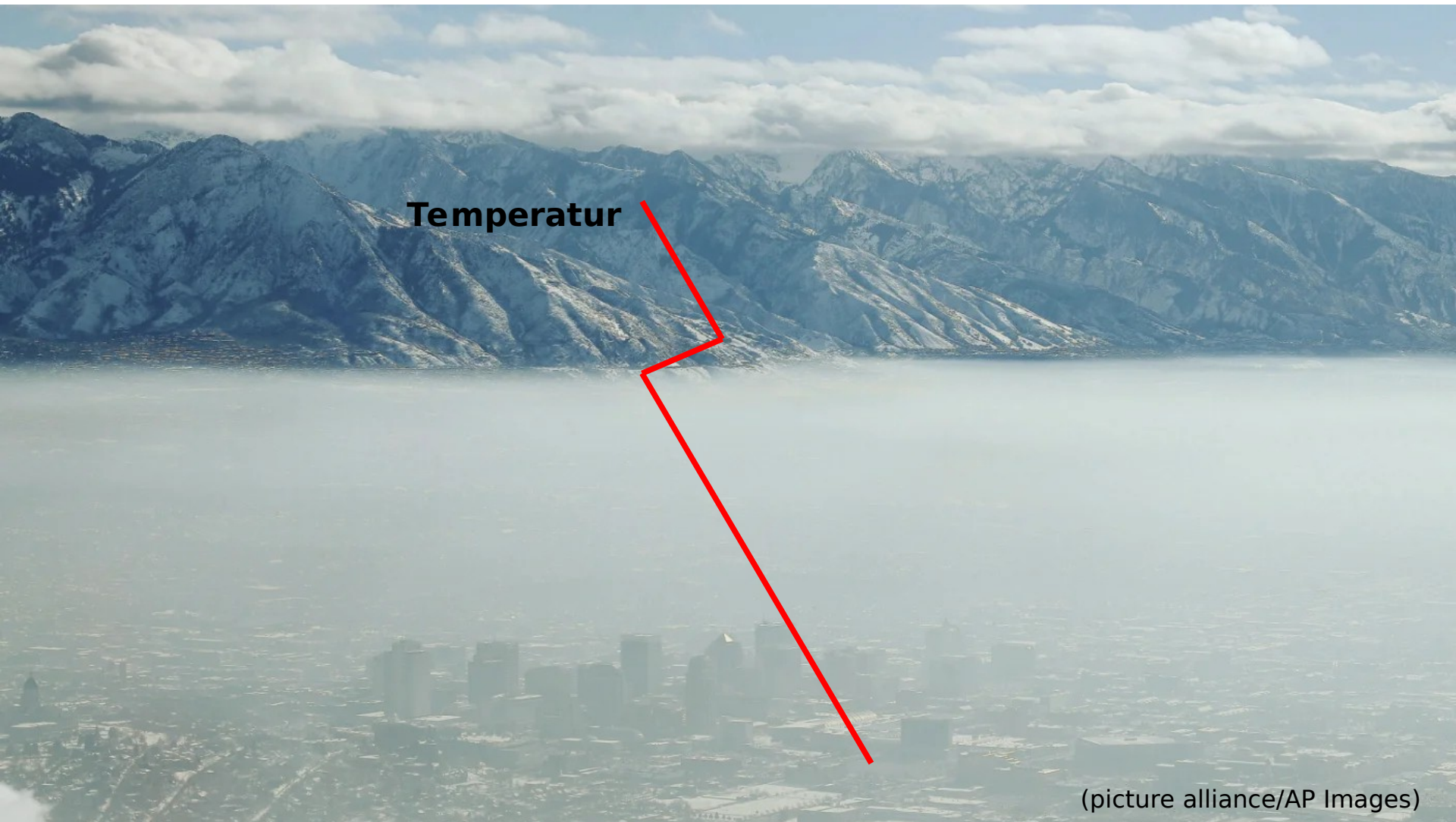
dynamische Absinkinversion:



Temperatur



Inversionslage:



(picture alliance/AP Images)

Winterliche Inversionslage in Salt Lake City