

Wintersemester 2023/2024

Physische Geographie 1

(Grundkursvorlesung PG 1 – Vorlesungsteil Klimatologie)

Prof. Dr. Christoph Beck

Lehrstuhl für Physische Geographie mit Schwerpunkt Klimaforschung

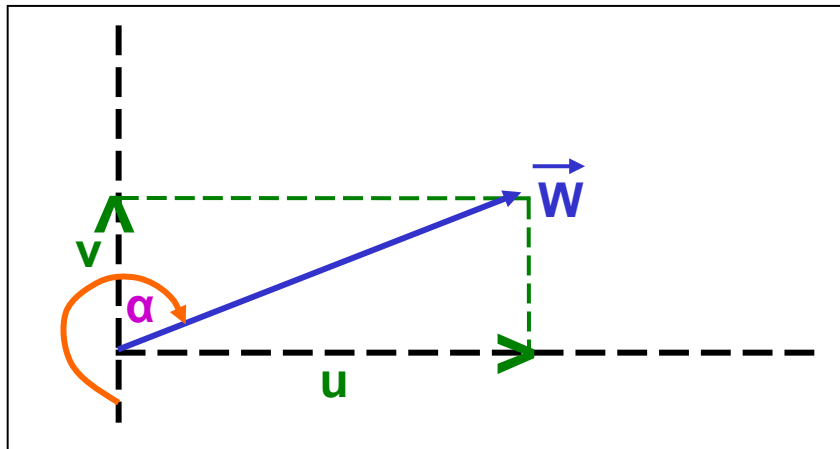
Institut für Geographie

Universität Augsburg

Horizontale Luftbewegungen

Charakterisierung horizontaler Luftbewegungen:

Zweidimensionaler (horizontaler) Windvektor \vec{W}



$\alpha = 0^\circ \rightarrow$ N-Wind
 $\alpha = 90^\circ \rightarrow$ O-Wind
 $\alpha = 180^\circ \rightarrow$ S-Wind
 $\alpha = 270^\circ \rightarrow$ W-Wind

1.) $\vec{W} = \{ WR ; WG \}$ {Windrichtung; Windgeschwindigkeit}

$$WR = \alpha$$

$$WG = |\vec{W}|$$

2.) $\vec{W} = (u, v)$

u : zonale Windkomponente
 v : meridionale Windkomponente

Horizontale Luftbewegungen

Charakterisierung horizontaler Luftbewegungen:

Maßeinheiten und Messung

Windgeschwindigkeit:

- m/s, kn
- Beaufort-Skala

Beaufort-grad	Bezeichnung	Mittlere Windgeschwindigkeit in 10m Höhe über freiem Gelände		Beispiele für die Auswirkungen des Windes im Binnenland
		m/s	km/h	
0	Windstille	0 - 0,2	< 1	Rauch steigt senkrecht auf
1	leiser Zug	0,3 - 1,5	1 - 5	Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches
2	leichte Brise	1,6 - 3,3	6 - 11	Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich
3	schwache Brise schwacher Wind	3,4 - 5,4	12 - 19	Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel
4	mäßige Brise mäßiger Wind	5,5 - 7,9	20 - 28	Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier
5	frische Brise frischer Wind	8,0 - 10,7	29 - 38	kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen
6	starker Wind	10,8 - 13,8	39 - 49	starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Telegrafeneleitungen pfeifen im Wind
7	steifer Wind	13,9 - 17,1	50 - 61	fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich
8	stürmischer Wind	17,2 - 20,7	62 - 74	Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien
9	Sturm	20,8 - 24,4	75 - 88	Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben abgehoben)
10	schwerer Sturm	24,5 - 28,4	89 - 102	Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern
11	orkanartiger Sturm	28,5 - 32,6	103 - 117	Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden
12	Orkan	ab 32,7	ab 118	schwere Verwüstungen

Horizontale Luftbewegungen

Charakterisierung horizontaler Luftbewegungen:

Maßeinheiten und Messung

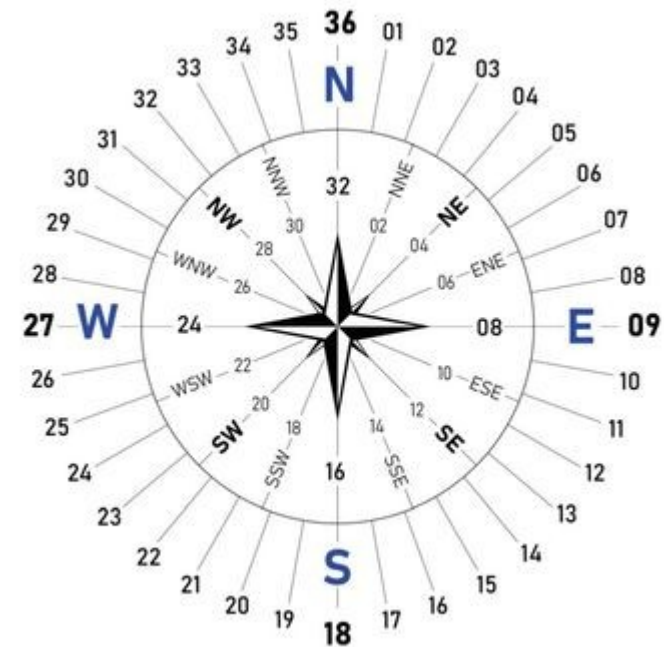
Windgeschwindigkeit:

- m/s, kn
- Beaufort-Skala

Windrichtung:

Angabe der Richtung, aus der der Wind kommt

In der Klimatologie – nach **achtteiliger Windrose**



(www.dwd.de)

Im Rahmen der Wetterbeobachtung – nach **360°-Skala in 10°-Schritten**

Horizontale Luftbewegungen

Charakterisierung horizontaler Luftbewegungen:

Maßeinheiten und Messung

Messgeräte:

- Schalenkreuzanemometer
- Hitzdrahtanemometer (thermische Anemometrie)
- Windfahne
- Windsack



Horizontale Luftbewegungen

Ursache horizontaler Luftbewegungen:

⇐ Horizontale Luftdruckunterschiede (**Luftdruckgradienten**) lösen Luftbewegungen aus (Wind).

Entstehung horizontaler Luftdruckunterschiede:

- **Thermische** Druckgebilde (siehe kleinräumige Windsysteme)
- **Dynamische** Druckgebilde (siehe Allgemeine Zirkulation der Atmosphäre)

Hochdruckgebiete = Gebiete relativ hohen Luftdrucks

Tiefdruckgebiete = Gebiete relativ geringen Luftdrucks

Horizontale Luftbewegungen

Kleinräumige – großräumige horizontale Luftbewegungen:

1.) kleinräumig (Einfluss der Erdrotation kann unberücksichtigt bleiben)

⇔ **direkte thermische Ausgleichszirkulation**

z.B. Land-Seewind-System,

2.) großräumig (Einfluss der Erdrotation muss berücksichtigt werden)

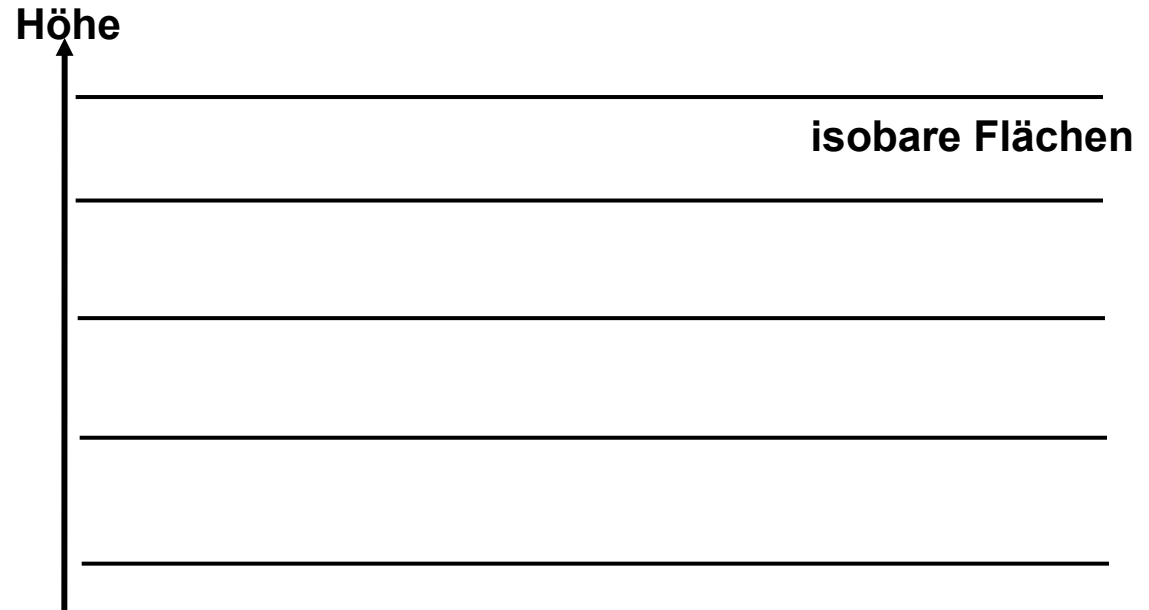
Horizontale Luftbewegungen

Kleinräumige Windsysteme

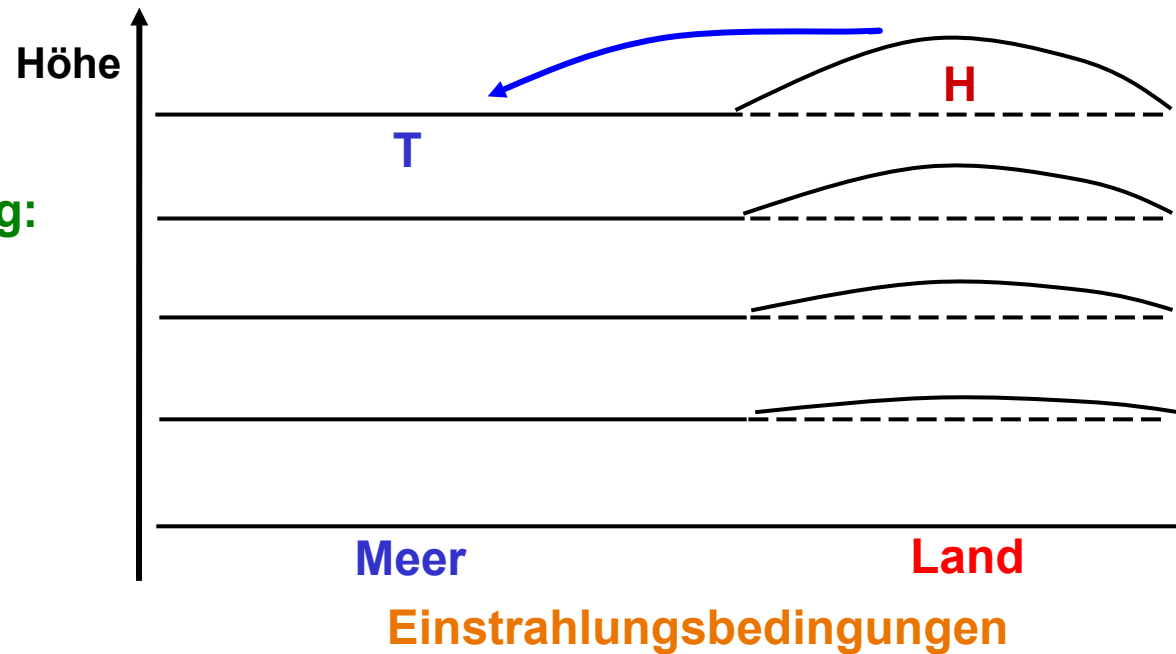
Beispiel: Land-See-Windsystem

- Tagesperiodisches Phänomen
- wechselnde Ausbildung thermischer Hochs und Tiefs
- und daraus resultierender Winde
- Ausprägung bei großräumig ungestörten Bedingungen
- Vertikalerstreckung bis ca. 0.5-2km
- Horizontalerstreckung bis ca. 30-100km

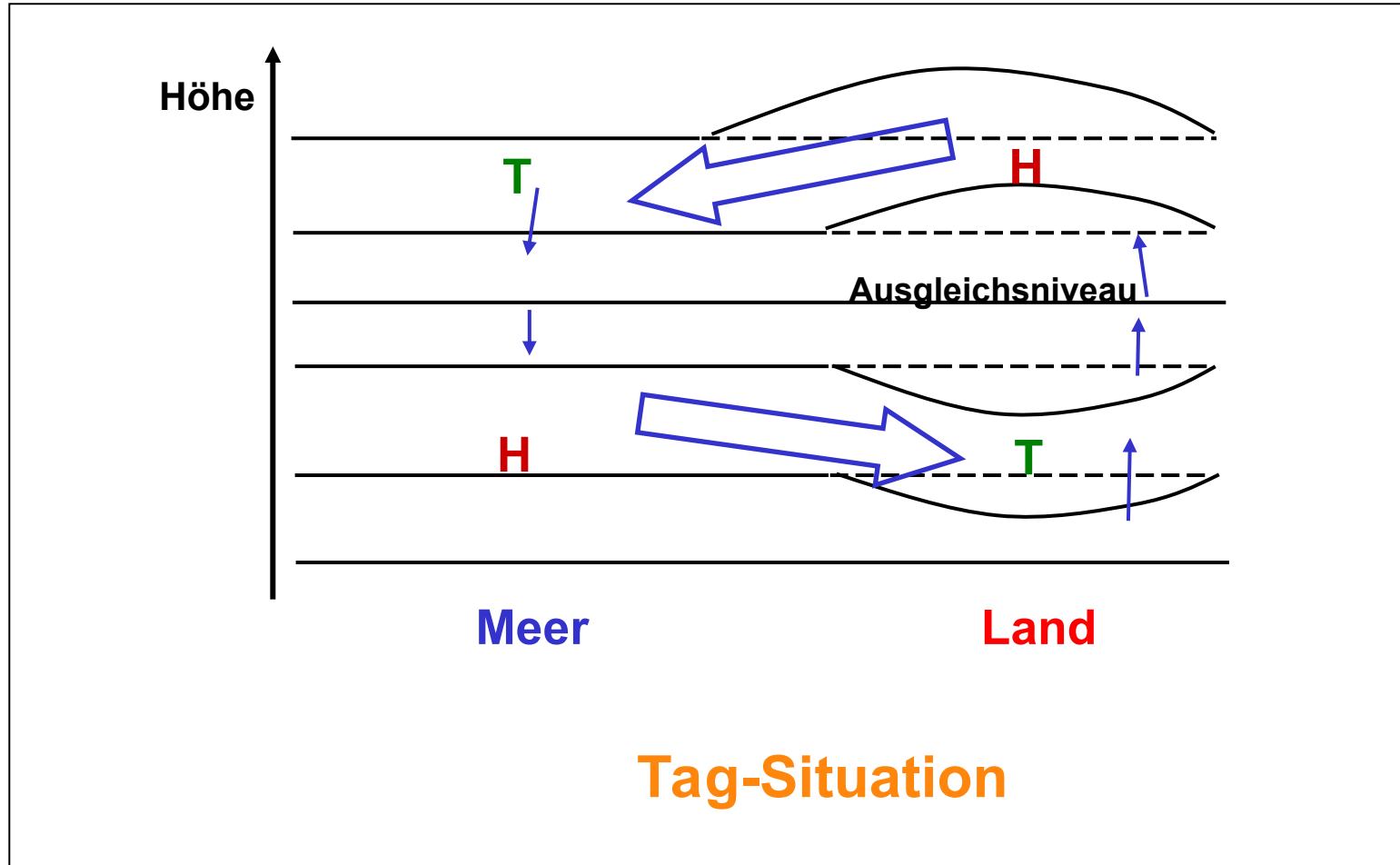
barotrope Schichtung:



barokline Schichtung:



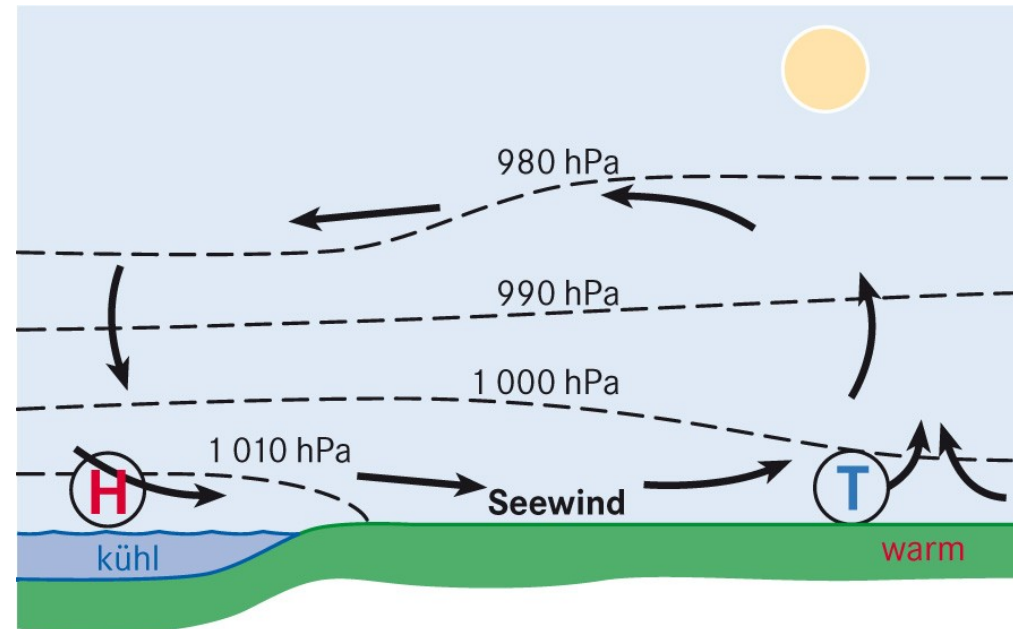
Thermische Ausgleichszirkulation (schematisch)



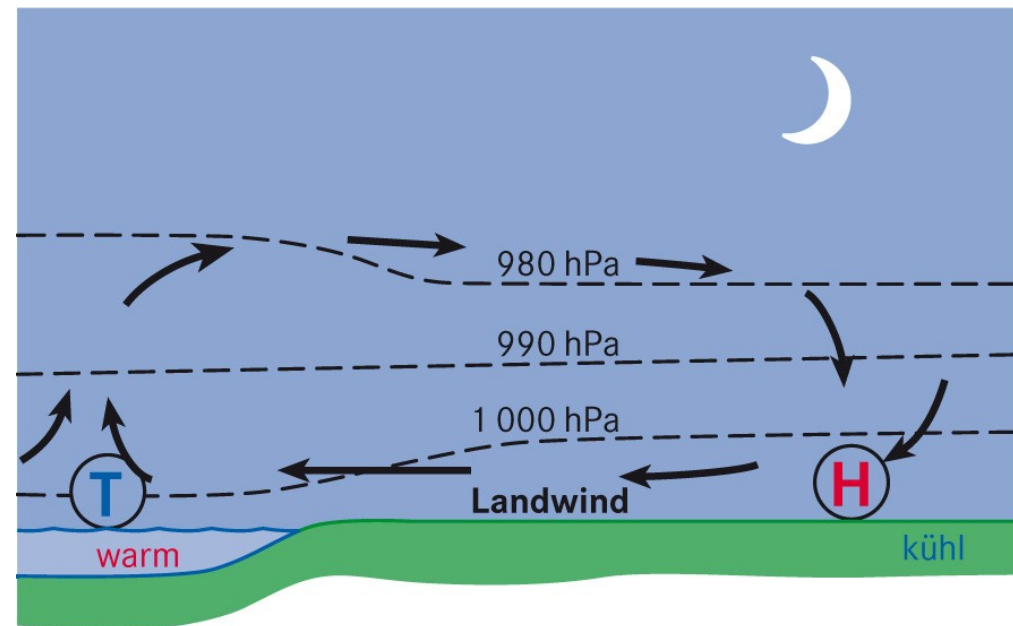
Horizontale Luftbewegungen

Kleinräumige Windsysteme Beispiel: Land-See-Windsystem

Tag-Situation



Nacht-Situation



(Beck 2007)

Horizontale Luftbewegungen

Kleinräumige – großräumige horizontale Luftbewegungen:

1.) kleinräumig (Einfluss der Erdrotation kann unberücksichtigt bleiben)

⇔ **direkte thermische Ausgleichszirkulation**

z.B. Land-Seewind-System,

Berg-Talwind-System,

urbane Flurwinde

2.) großräumig (Einfluss der Erdrotation muss berücksichtigt werden)

Horizontale Luftbewegungen

Kleinräumige – großräumige horizontale Luftbewegungen:

2.) großräumig (Einfluss der Erdrotation muss berücksichtigt werden)

- (zunächst) für den Fall unbeschleunigter (stationärer) Bewegung (konst. Geschwindigkeit)
 - in der höheren Atmosphäre (nahezu reibungsfrei)
→ geostrophischer Wind
 - in der Peplosphäre (mit Reibungseinfluss)
→ geotriptischer Wind

Horizontale Luftbewegungen

Großräumige Luftbewegungen: Einfluß der Erdrotation

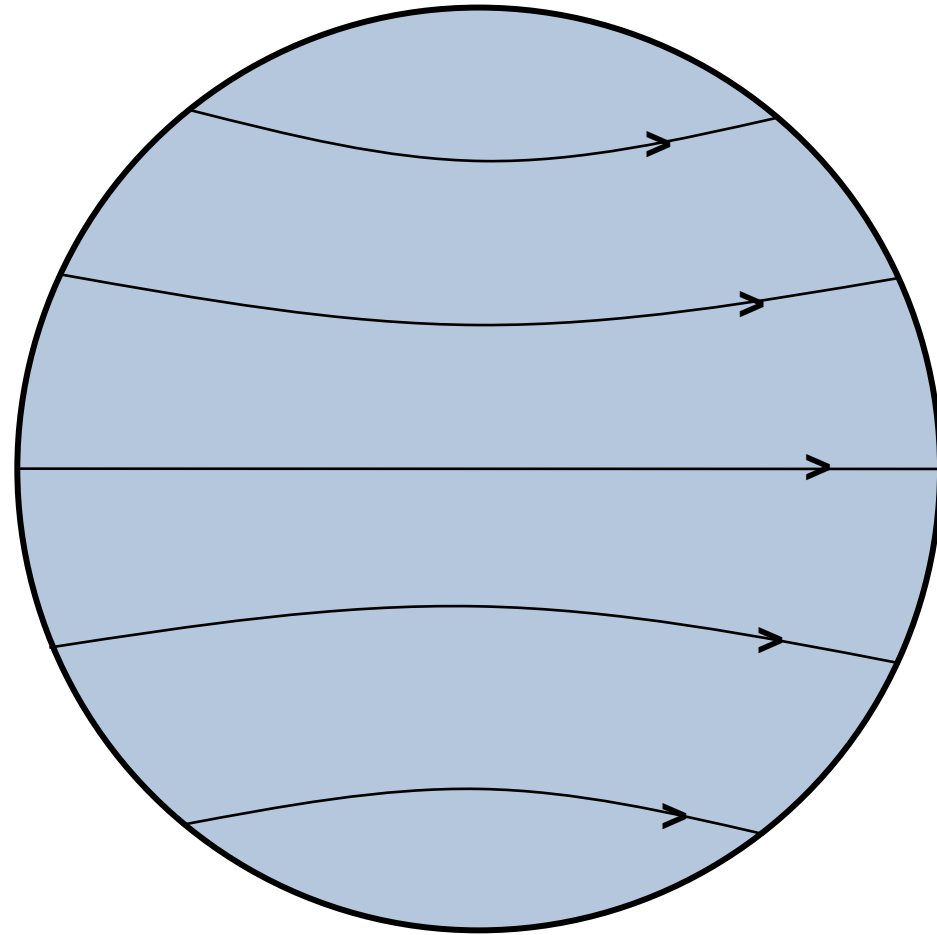
Winkelgeschwindigkeit $\omega = \frac{2\pi}{1d}$

Mitführungsgeschwindigkeit

$$V_{\phi} = \frac{2\pi * R * \cos \phi}{1d} = \omega * R * \cos \phi$$

R : Erdradius

ϕ : geograph. Breite



Horizontale Luftbewegungen

Großräumige Luftbewegungen: Einfluß der Erdrotation

Coriolisbeschleunigung

⇐Ablenkende Kraft der Erdrotation in Folge von Massenträgheit gegenüber unterschiedlichen Mitführungsgeschwindigkeiten

Breiten-Unterschiede der Mitführungsgeschwindigkeit:

am Äquator: 1 670 km/h

auf 30° Breite: 1 450 km/h

auf 60° Breite: 835 km/h

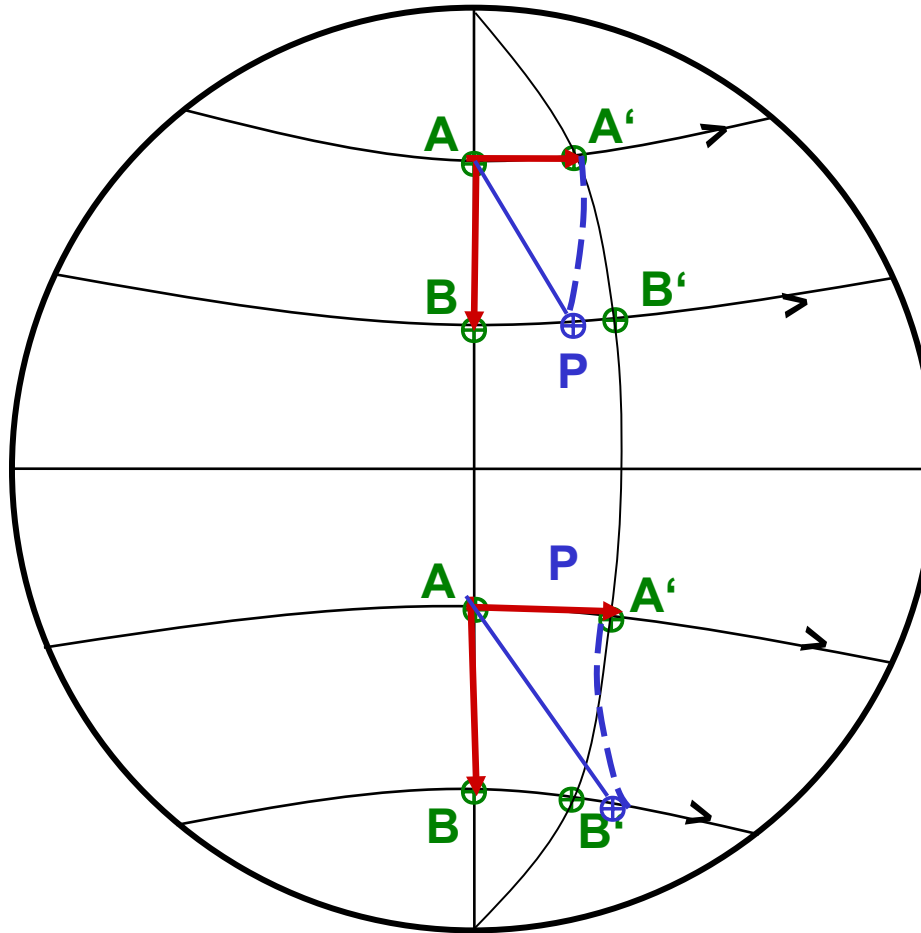
an den Polen: 0 km/h

Horizontale Luftbewegungen

Großräumige Luftbewegungen:

Einfluß der Erdrotation

bei meridionaler Luftbewegung



Rechtsablenkung

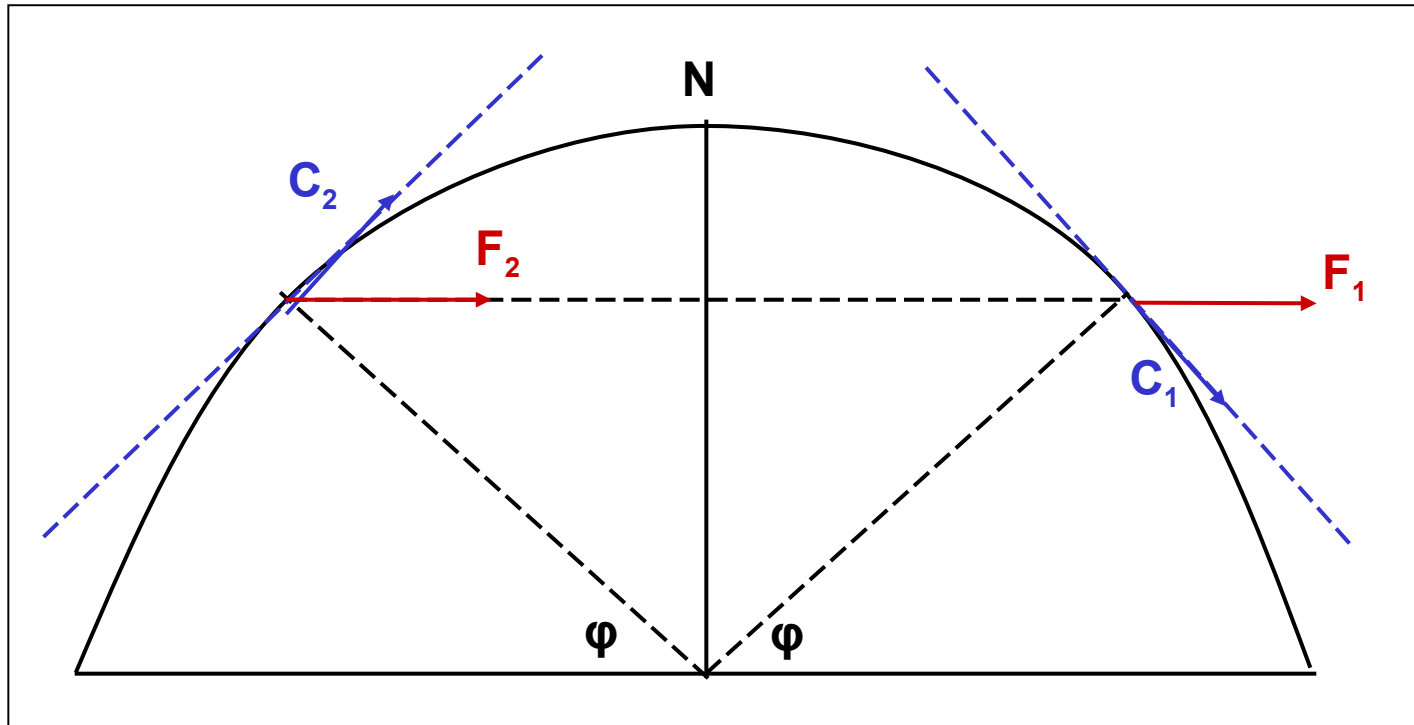
Linksablenkung

Horizontale Luftbewegungen

Großräumige Luftbewegungen:

Einfluß der Erdrotation

bei zonaler Luftbewegung



- F_1 : verstärkte Zentrifugalbeschleunigung bei Westwinden
- F_2 : abgeschwächte Zentrifugalbeschleunigung bei Ostwinden
- C_1 : Horizontalkomponente der Coriolisbeschleunigung
- C_2 : Horizontalkomponente der Coriolisbeschleunigung

Horizontale Luftbewegungen

Großräumige Luftbewegungen: Einfluß der Erdrotation

Coriolisbeschleunigung

$$C = 2\omega * \sin \phi * v$$

v: velocity

Coriolisbeschleunigung

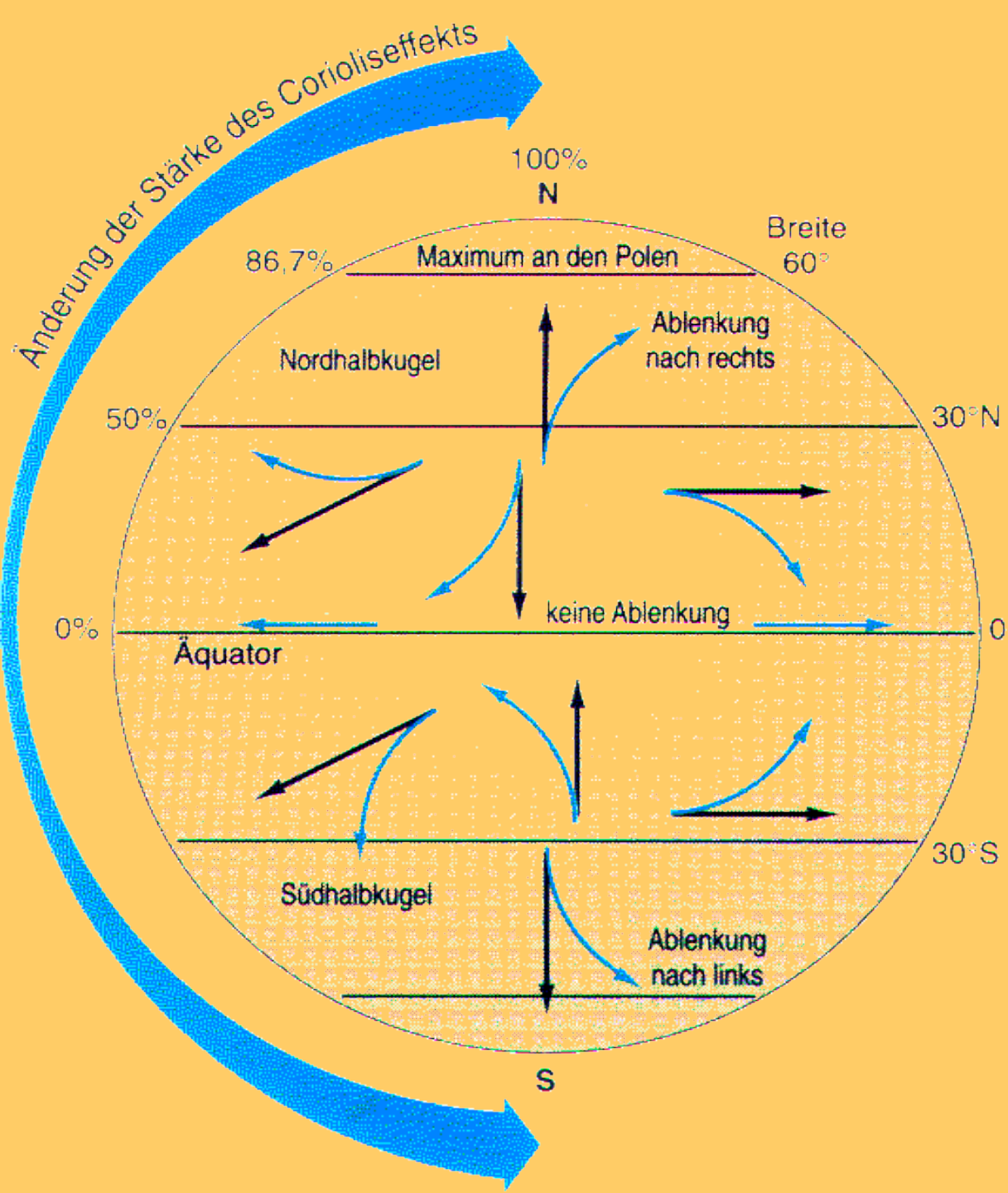
⇔Ablenkende Kraft der Erdrotation in Folge von Massenträgheit gegenüber unterschiedlichen Mitführungsgeschwindigkeiten

⇒Ablenkung nach rechts auf der Nordhalbkugel /
nach links auf der Südhalbkugel

⇒Breitenabhängigkeit der Coriolisbeschleunigung

⇒Coriolisbeschleunigung nimmt mit der Eigengeschwindigkeit zu

⇒kleiner Betrag der Coriolisbeschleunigung
⇒ wirkt erst über große Entfernungen



Auswirkung der Corioliskraft auf bewegte Luftmassen

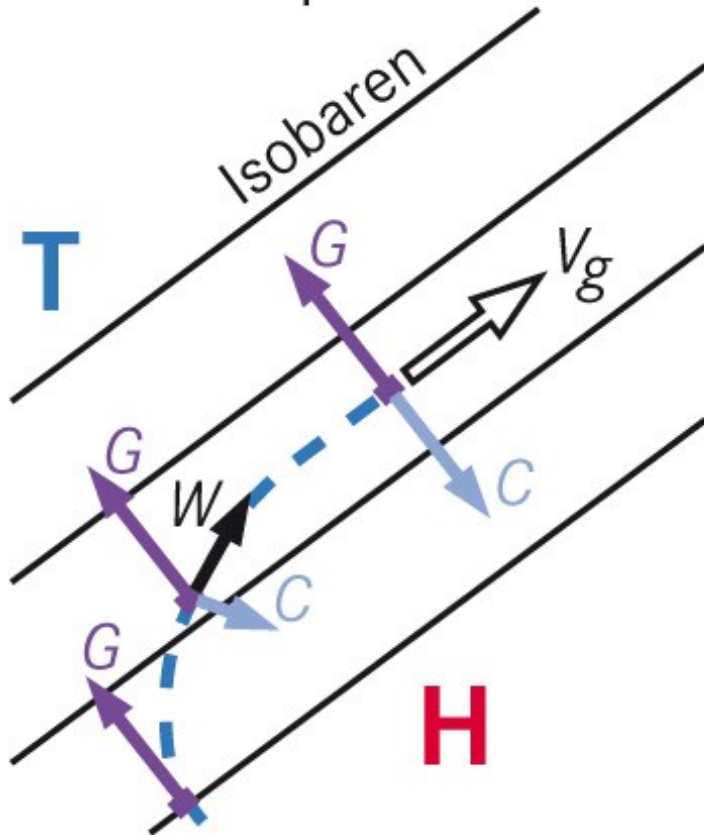
Schwarze Pfeile:
Luftströmung
ohne Erdrotation

Blaue Pfeile:
Luftströmung unter dem
Einfluss der Erdrotation

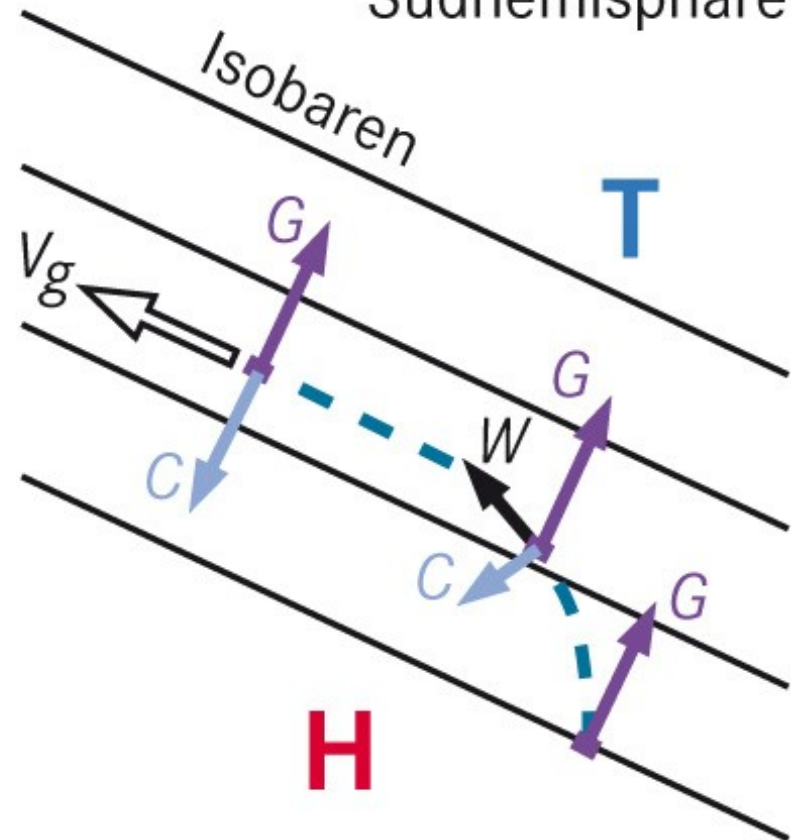
Horizontale Luftbewegungen

Großräumige Luftbewegungen: Geostrophischer Wind (v_g)

Nordhemisphäre



Südhemisphäre



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

G: Druckgradientkraft

C: Corioliskraft

Horizontale Luftbewegungen

$$G = C$$


Großräumige Luftbewegungen:
Geostrophischer Wind (v_g)

$$G = \frac{1}{\rho} * \frac{dp}{dn}$$

$$C = 2\omega * \sin \phi * v_g$$

ρ : Luftdichte

dp/dn : Druckgradient (Druckänderung senkrecht zu den Isobaren)



$$v_g = \frac{1}{\rho} * \frac{dp}{dn} * \frac{1}{2\omega * \sin \phi}$$

Kehrwert des Coriolisparameters f

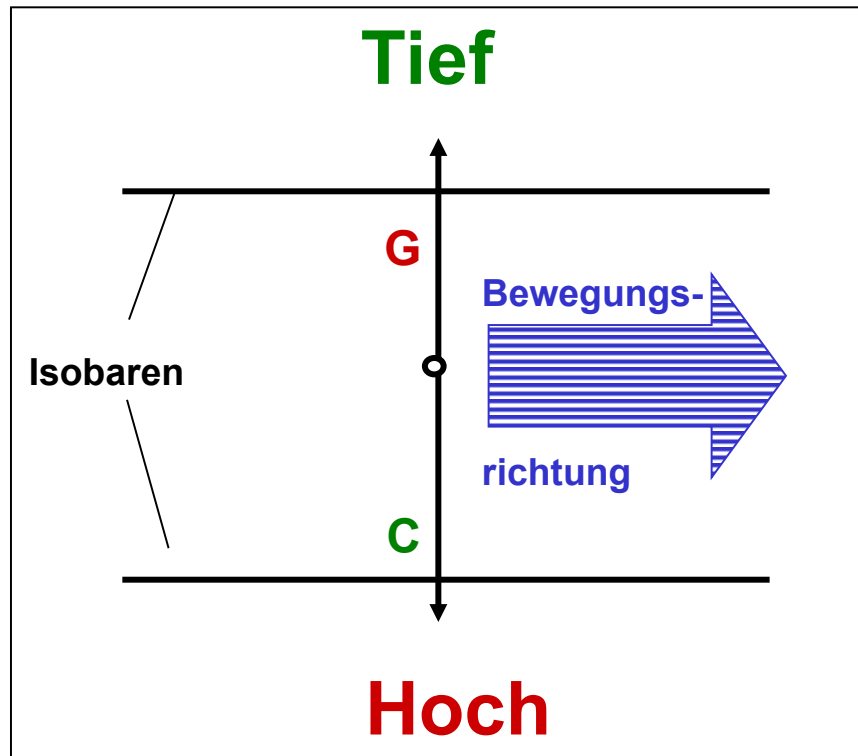


Horizontale Luftbewegungen

Nordhalbkugel

Großräumige Luftbewegungen:
Einfluß der Reibung

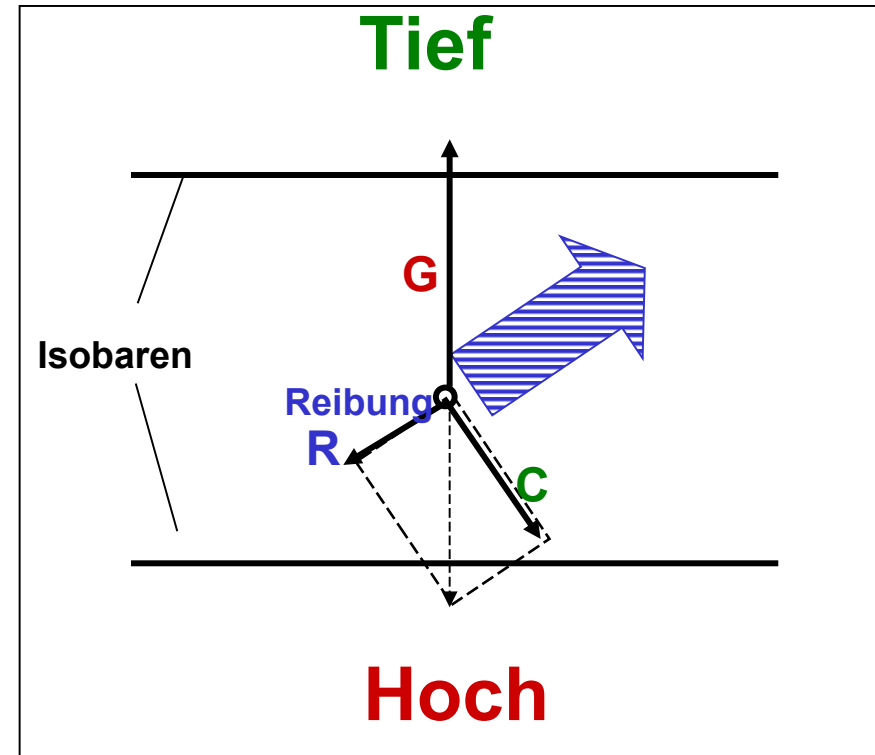
Geostrophischer Wind



ohne Reibungseinfluß

G: Druckgradientkraft
C: Corioliskraft

Geotripterischer Wind



mit Reibungseinfluß

Horizontale Luftbewegungen

Nordhalbkugel

Großräumige Luftbewegungen:

Geostrophischer Wind

ohne Reibungseinfluß:

isobarenparallel

Geotriptischer Wind

mit Reibungseinfluß:

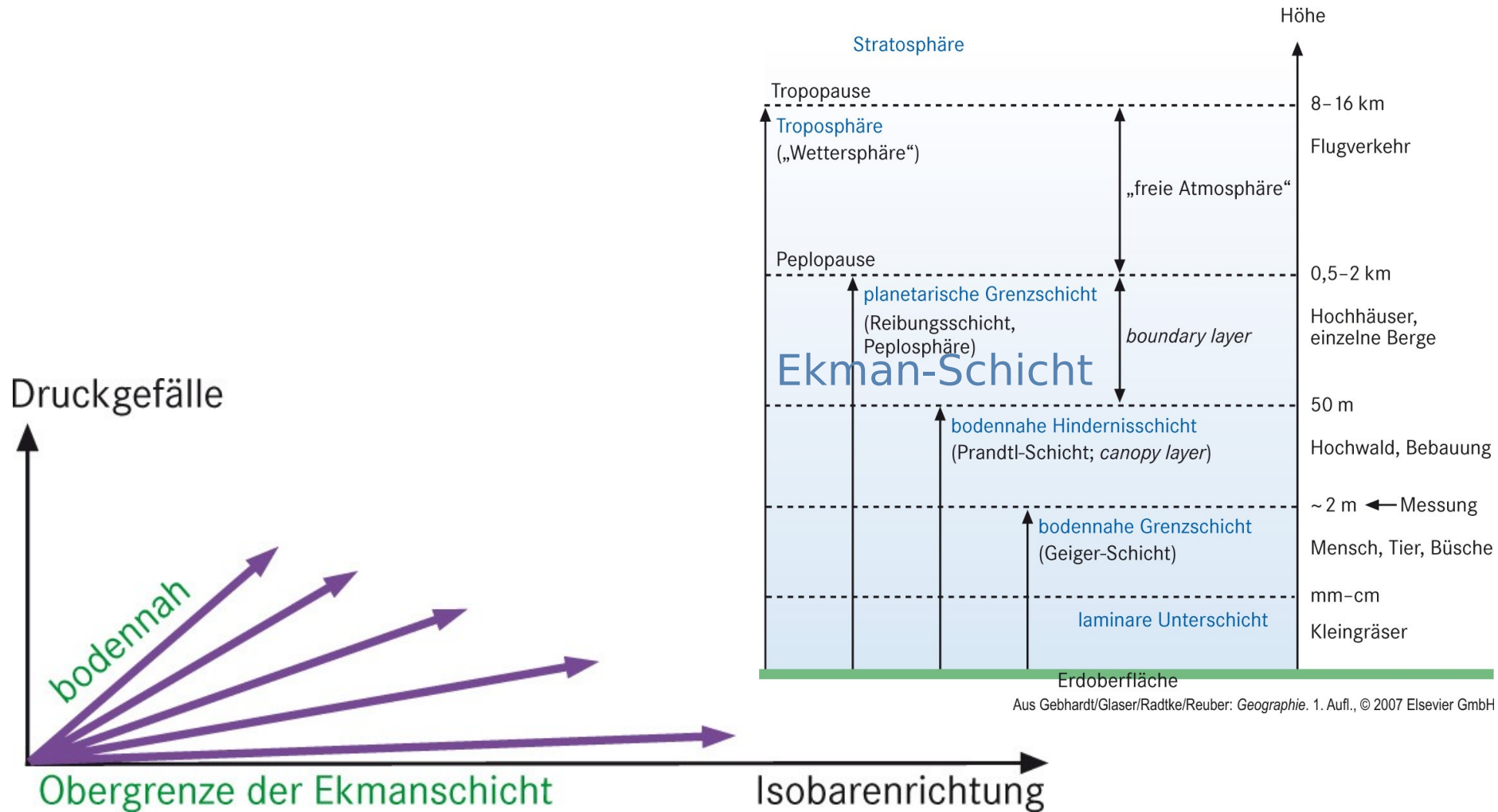
Ablenkung zum tiefen Druck
(30 – 45°)

Geostrophisch- zyklostrophischer Wind

ohne Reibungseinfluß, bei
gekrümmten Isobaren:

isobarenparallel
zusätzlicher Einfluss der Fliehkraft

Vertikalaufbau der reibungsbeeinflussten unteren Troposphäre:



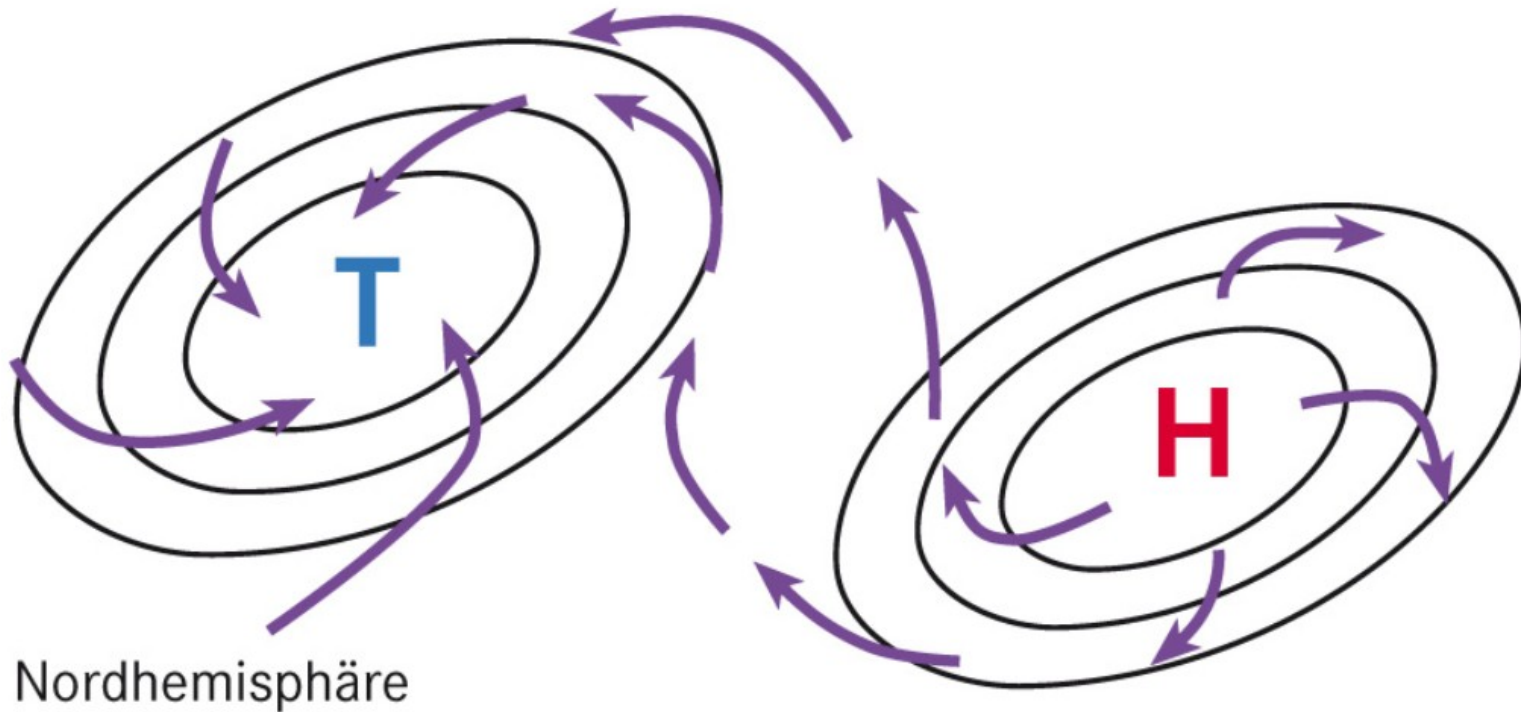
Aus Gebhardt/Glaser/Radtke/Reuber: *Geographie*. 1. Aufl., © 2007 Elsevier GmbH

Horizontale Luftbewegungen

Strömung im bodennahen Luftdruckfeld

Großräumige Luftbewegungen:

Nordhemisphäre:

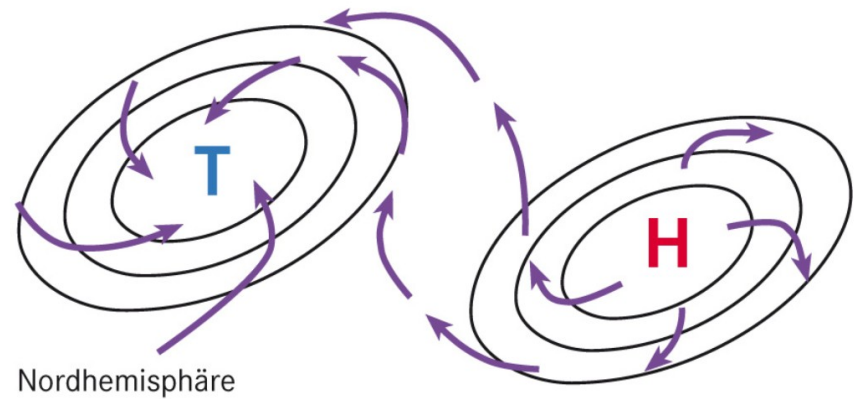


Horizontale Luftbewegungen

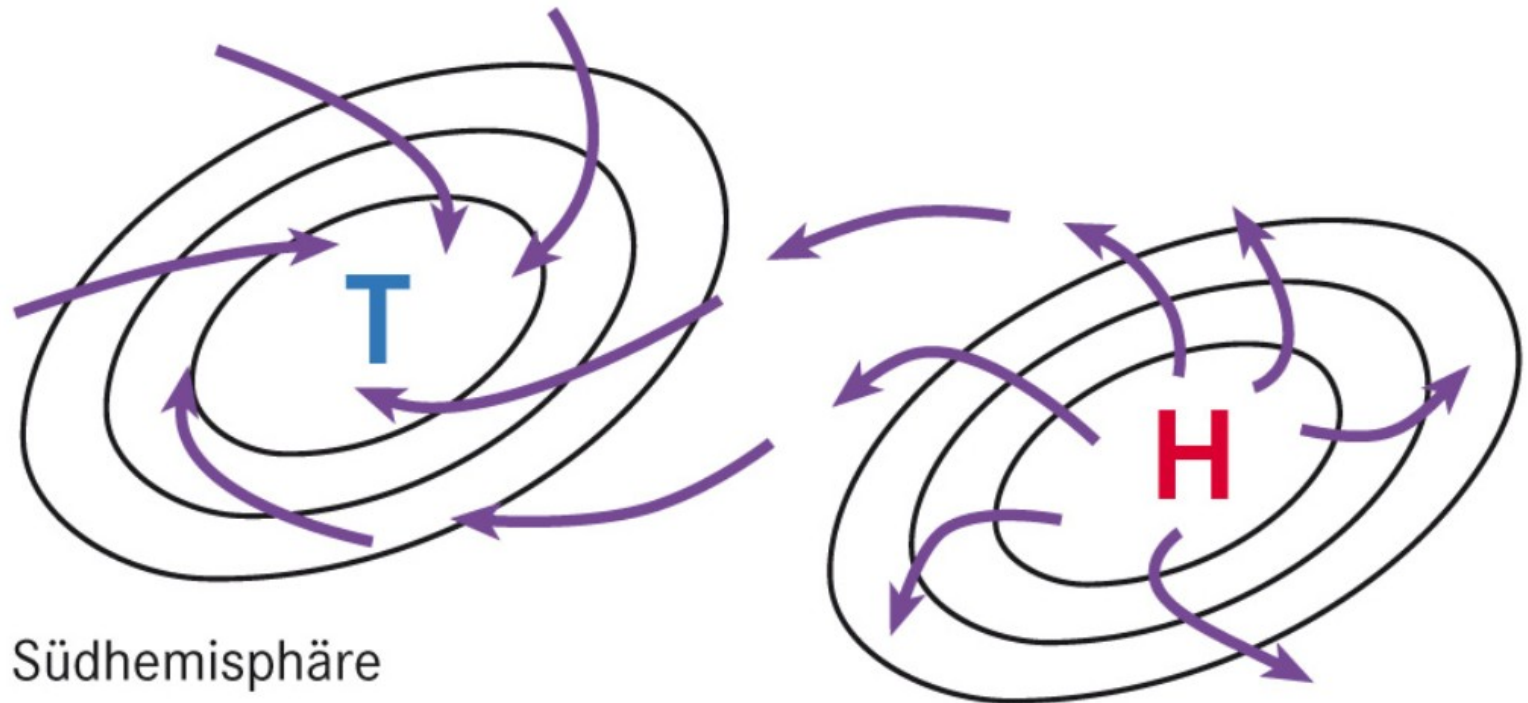
Strömung im bodennahen Luftdruckfeld

Großräumige Luftbewegungen:

Nordhemisphäre:



Südhemisphäre:



Horizontale Luftbewegungen

Großräumige Luftbewegungen: Charakteristika in Hoch- und Tiefdruckgebieten

	HOCH	TIEF
Rotation	antizyklonal	zyklonal
bodennahe Strömung	divergentes Ausströmen	konvergentes Einströmen