

Sturm im Wasserglas

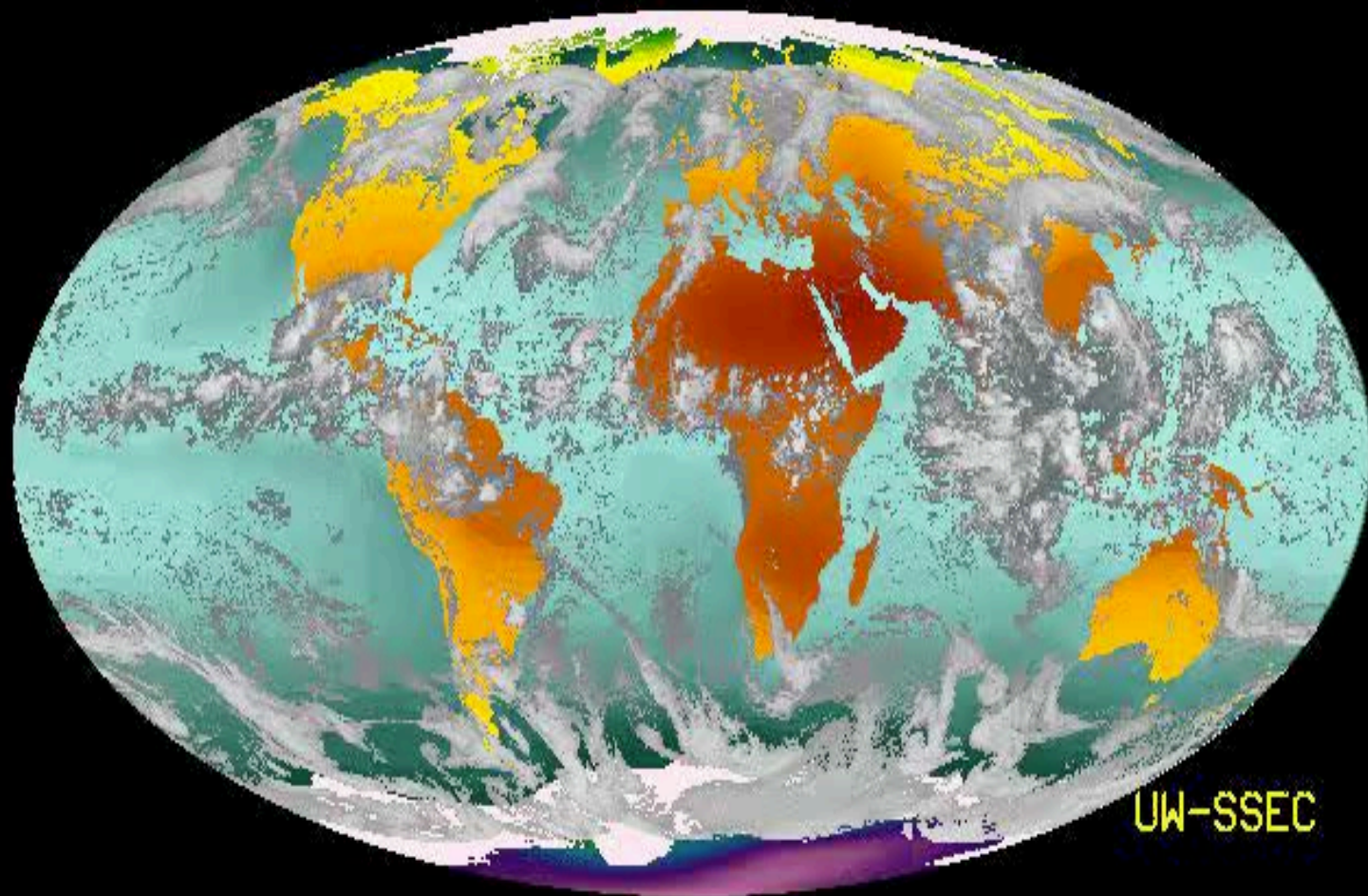
Die Physik des Wetters

in (wenig) Theorie und (viel) Experiment

Prof. Hubertus Fischer &

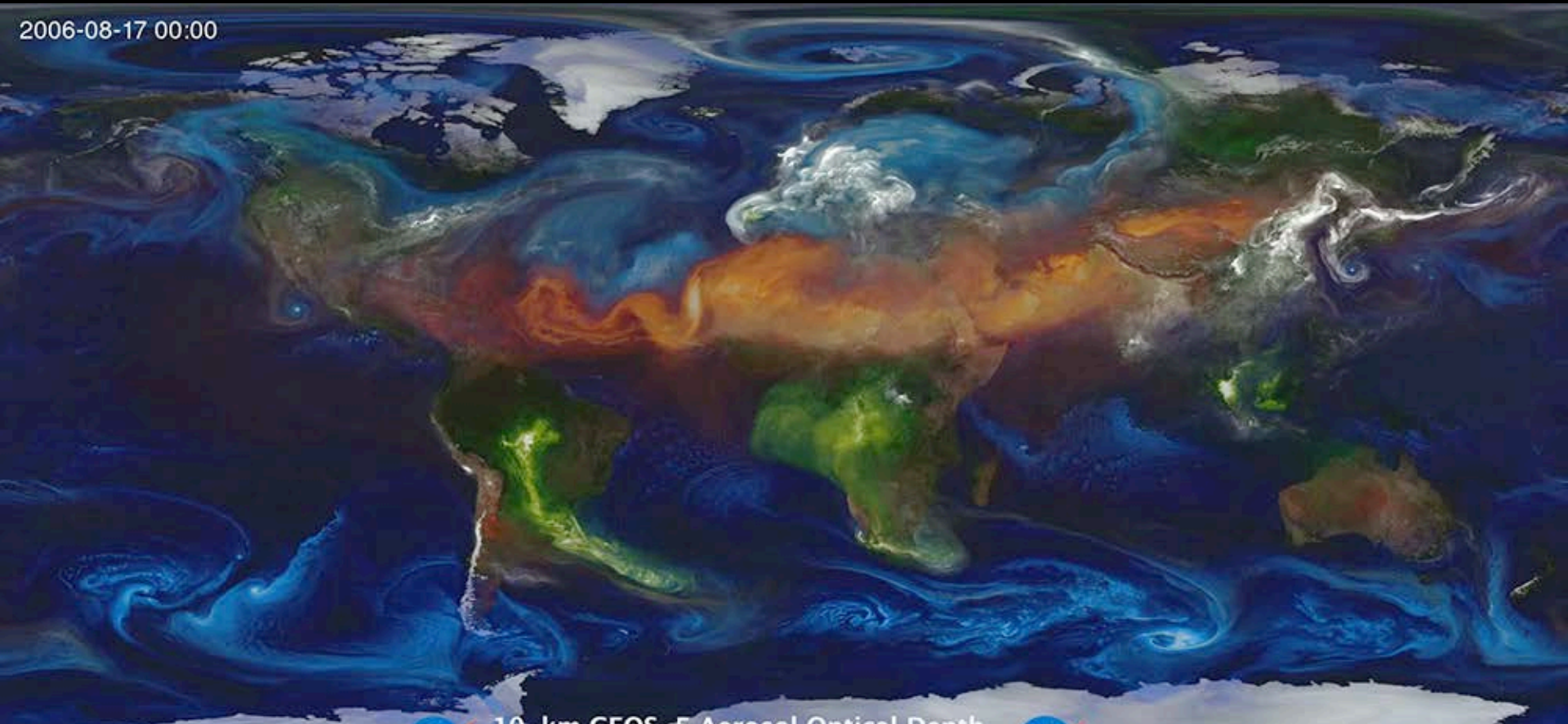
Urs Lauterburg, Patrik Pfister

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla p - \vec{g} \cdot \vec{r} + K \frac{d^2 \vec{v}}{dz^2} - 2\vec{\omega} \times \vec{v} - \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$



UW-SSEC

2006-08-17 00:00



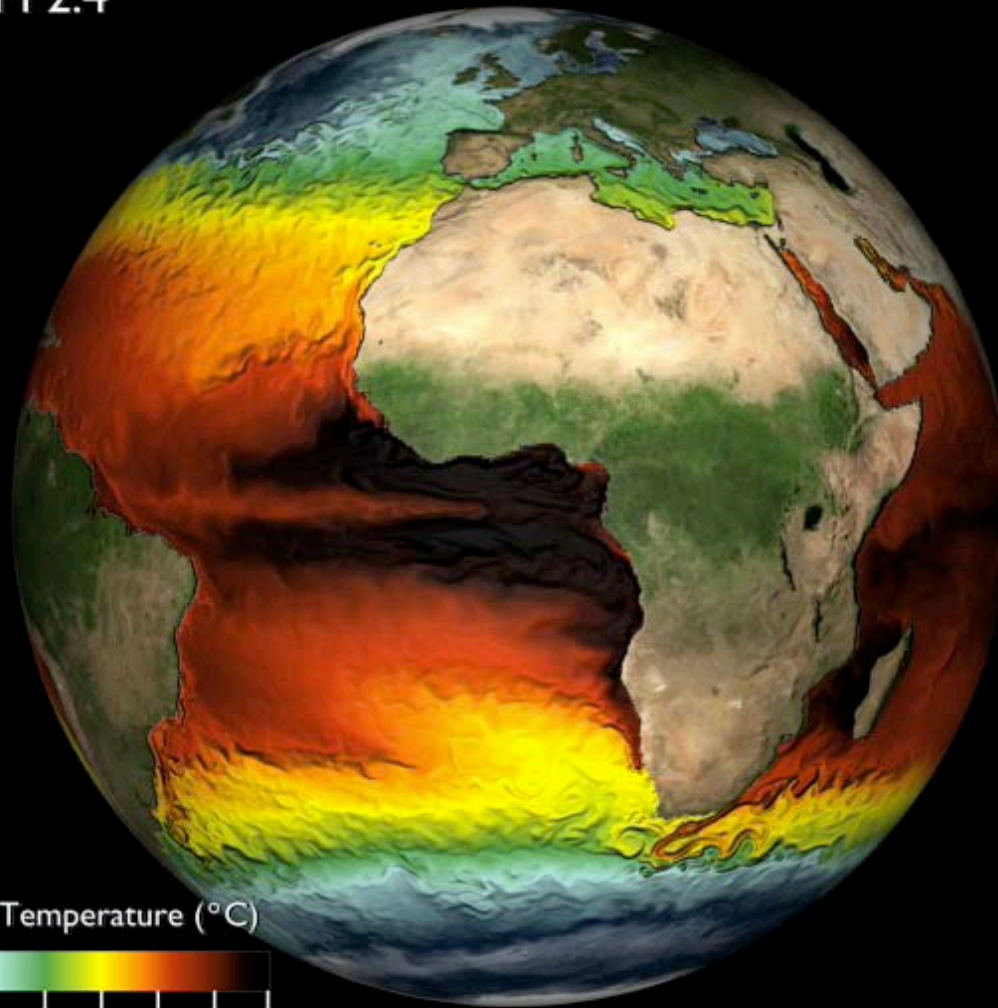
10-km GEOS-5 Aerosol Optical Depth

Dust | Organic & Black Carbon | Sulfates | Sea Salt

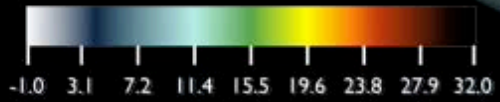


Global Modeling and Assimilation Office - Williams.M.Putman@nasa.gov

GFDL CM 2.4



Sea Surface Temperature ($^{\circ}\text{C}$)



Wohin bläst der Wind?

Wohin fließt der Ozean?

Was treibt den Wind/den Ozean an?

Warum bilden sich Wirbel?

Was treibt eigentlich die Zirkulation an?

Newton lässt grüssen

1. Newton'sches Axiom:

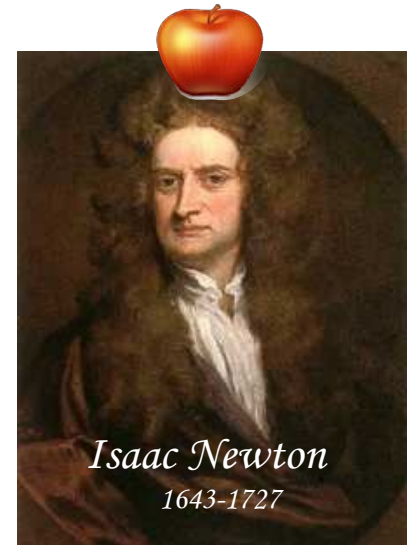
Ein Körper ändert nur seine Bewegung, wenn eine Kraft auf ihn wirkt (Trägheitsprinzip)

2. Newton'sches Axiom:

„Kraft ist Masse mal Beschleunigung“

$$\vec{F}_{\text{gesamt}} = m\vec{a} \quad \text{oder} \quad \vec{a} = \frac{1}{m} \vec{F}_{\text{gesamt}}$$

Die Beschleunigung ist proportional und in Richtung der Gesamtkraft, die auf den Körper wirkt“



Welche Kräfte & Gesetze beeinflussen eigentlich die Zirkulation auf der Erde?

(1. Erdanziehung)

2. Druckunterschiede

(3. Fliehkraft)

4. Corioliskraft

5. Reibung

6. Energie-, Impuls- und Drehimpuls-Erhaltung

back of the envelope

Gegeben:

$$\Delta p = 1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa};$$

$$r = 2 \text{ cm} = 0.02 \text{ m};$$

$$m = 2.7 \text{ g} = 0.0027 \text{ kg};$$

$$s = 2 \text{ m}$$

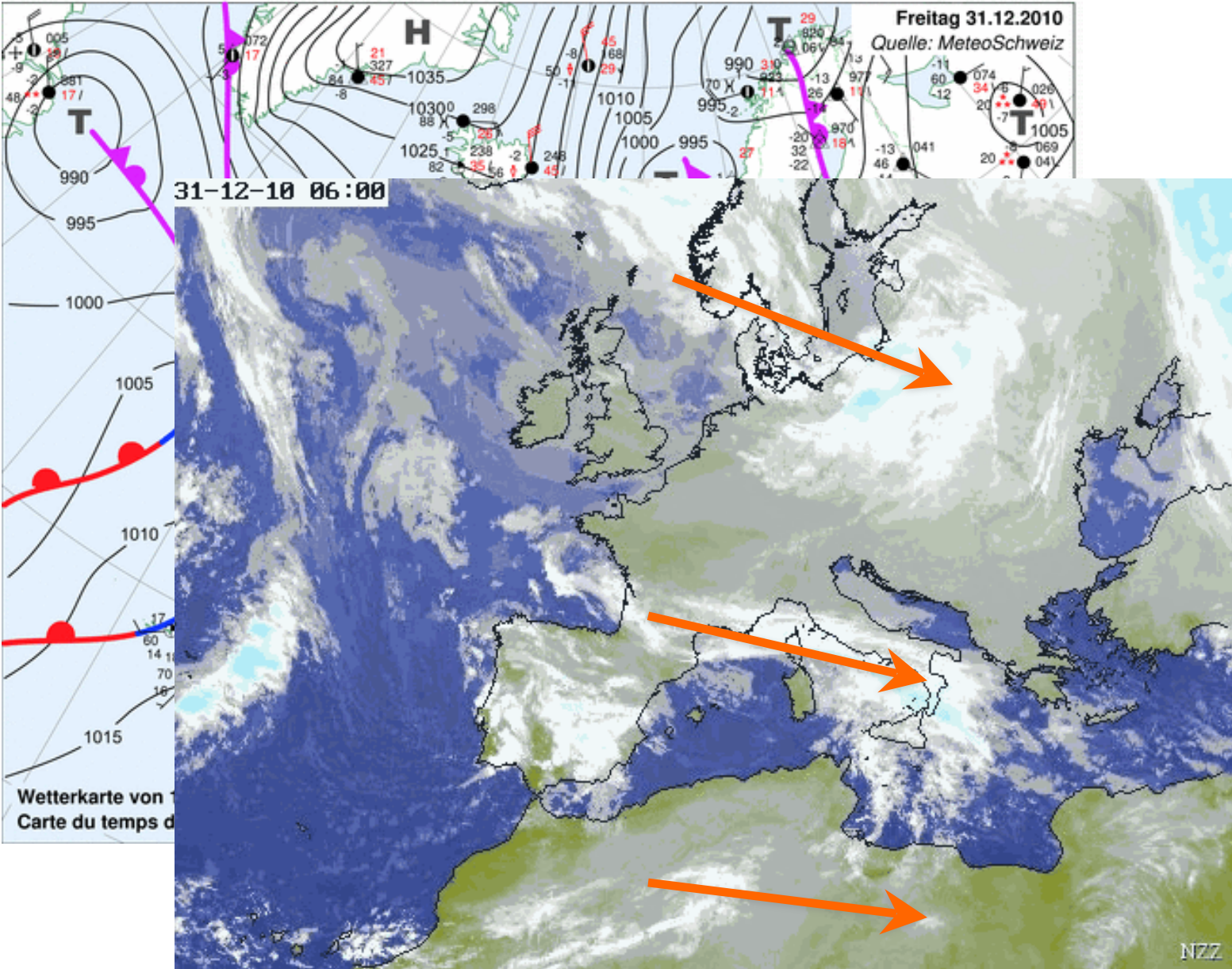
Gesucht: Geschwindigkeit v

$$F = pA = p \pi r^2 = 126 \text{ N}$$

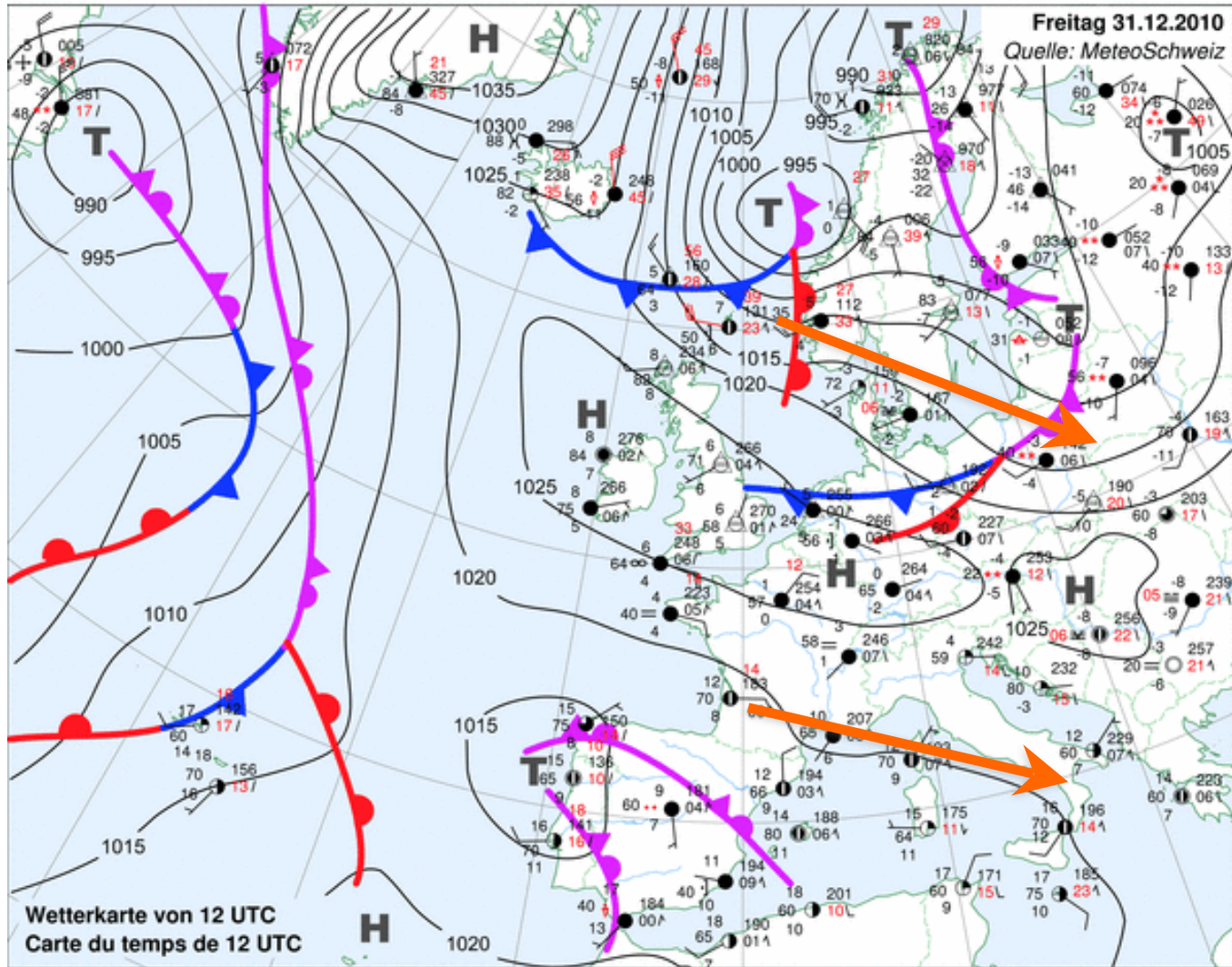
$$a = F/m = 46542 \text{ m/s}^2 = 4744 \text{ g}!!!$$

$$v = \sqrt{2sa} = 442 \text{ m/s} = 1590 \text{ km/h} (???)$$

Luftdruckunterschiede auf der Wetterkarte



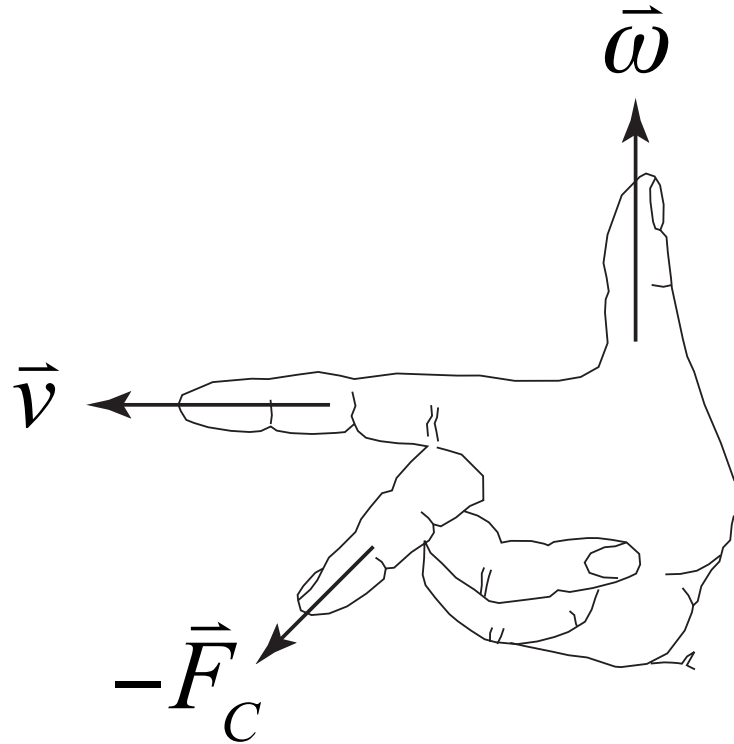
Luftdruckunterschiede auf der Wetterkarte



Corioliskraft

Auf einen Körper, der sich in einem rotierenden Bezugssystem (Karussell, Achterbahn, Erde) mit der Geschwindigkeit v bewegt, wirkt eine (Schein-)Kraft senkrecht auf die Geschwindigkeitsrichtung und senkrecht auf die Drehachse (rechte Hand Regel)

$$\vec{F}_C = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v})$$

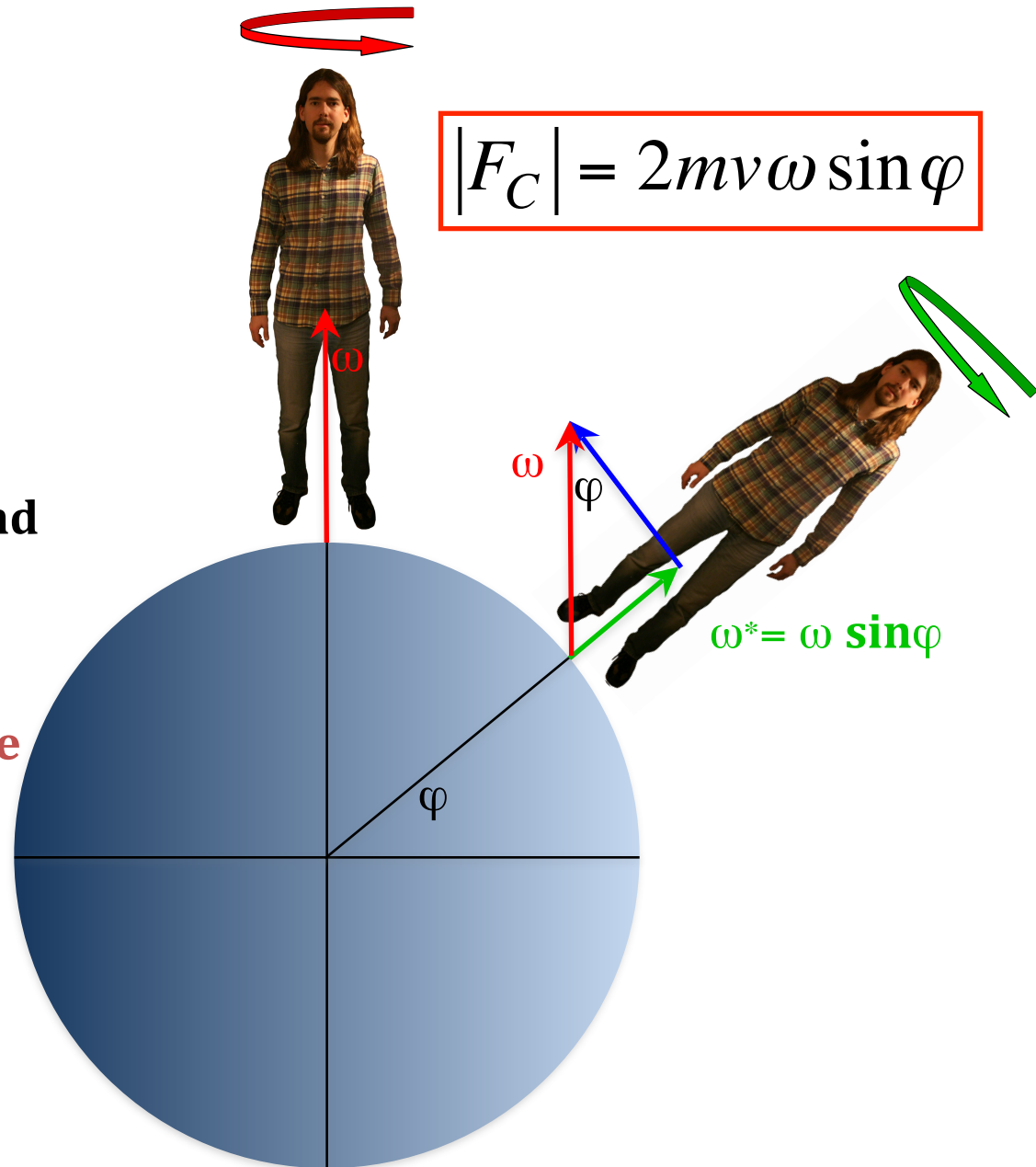


Corioliskraft

Auf einen Körper, der sich in einem rotierenden Bezugssystem (Karussell, Achterbahn, Erde) mit der Geschwindigkeit v bewegt, wirkt eine (Schein-)Kraft senkrecht auf die Geschwindigkeitsrichtung und senkrecht auf die Drehachse (rechte Hand Regel)

einfach ausgedrückt: die Erde dreht sich unter dem Körper weg

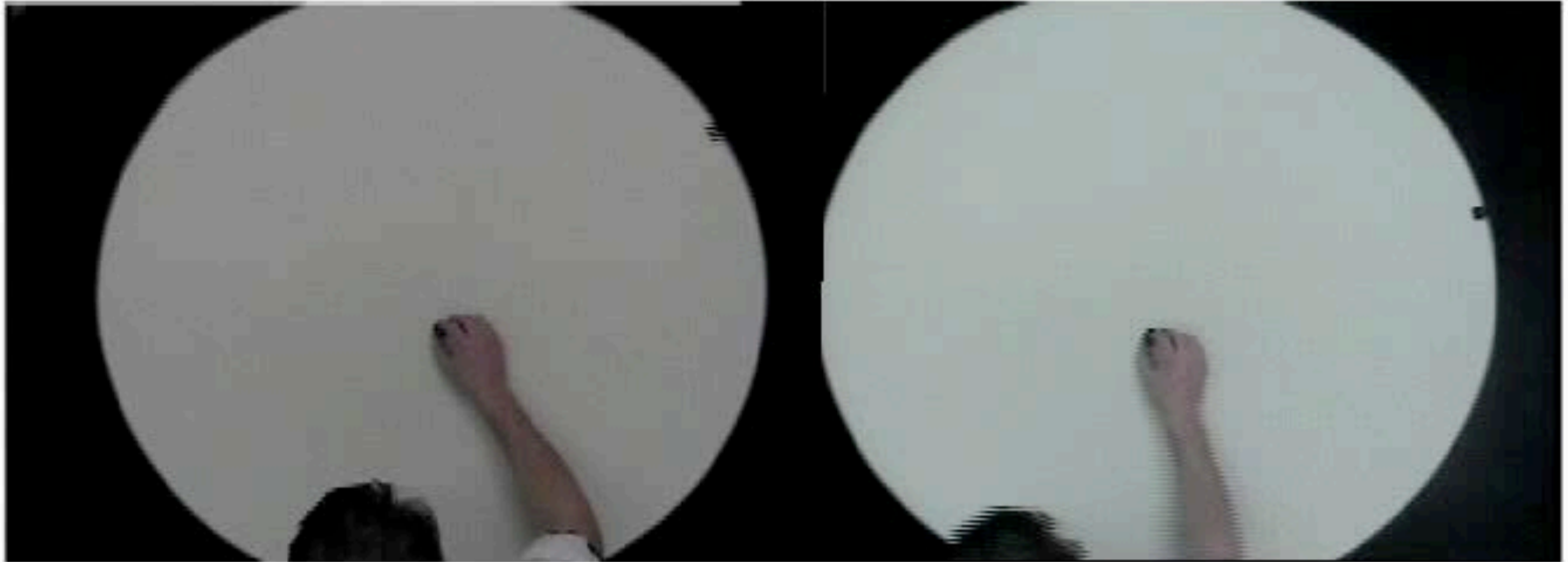
$$\vec{F}_C = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v})$$



Die Corioliskraft

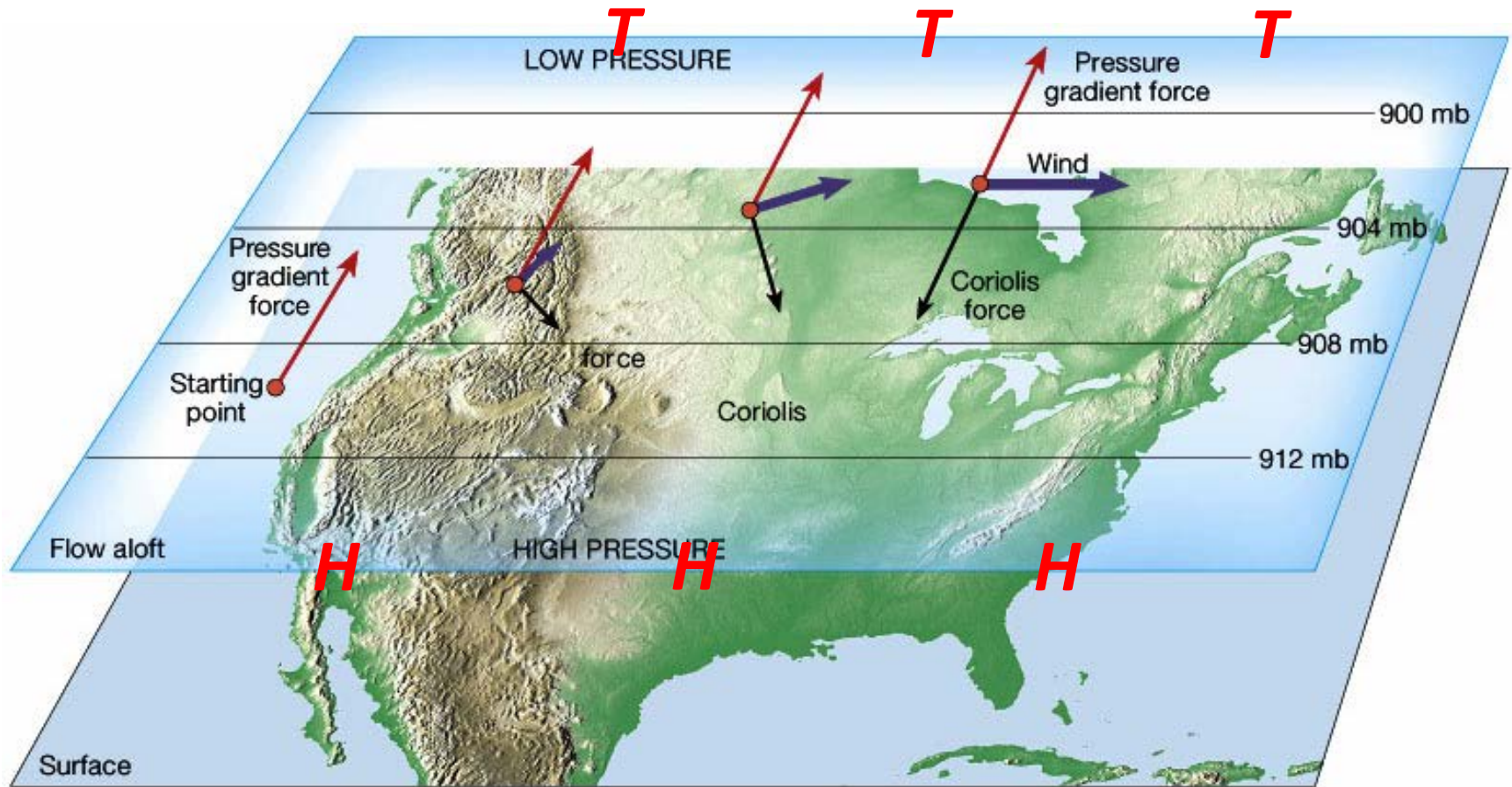
Kamera fest
„von aussen beobachtet“

Kamera mitrotierend
„von Drehtisch aus beobachtet“



In welche Richtung weht der Wind?

(weit vom Erboden entfernt)

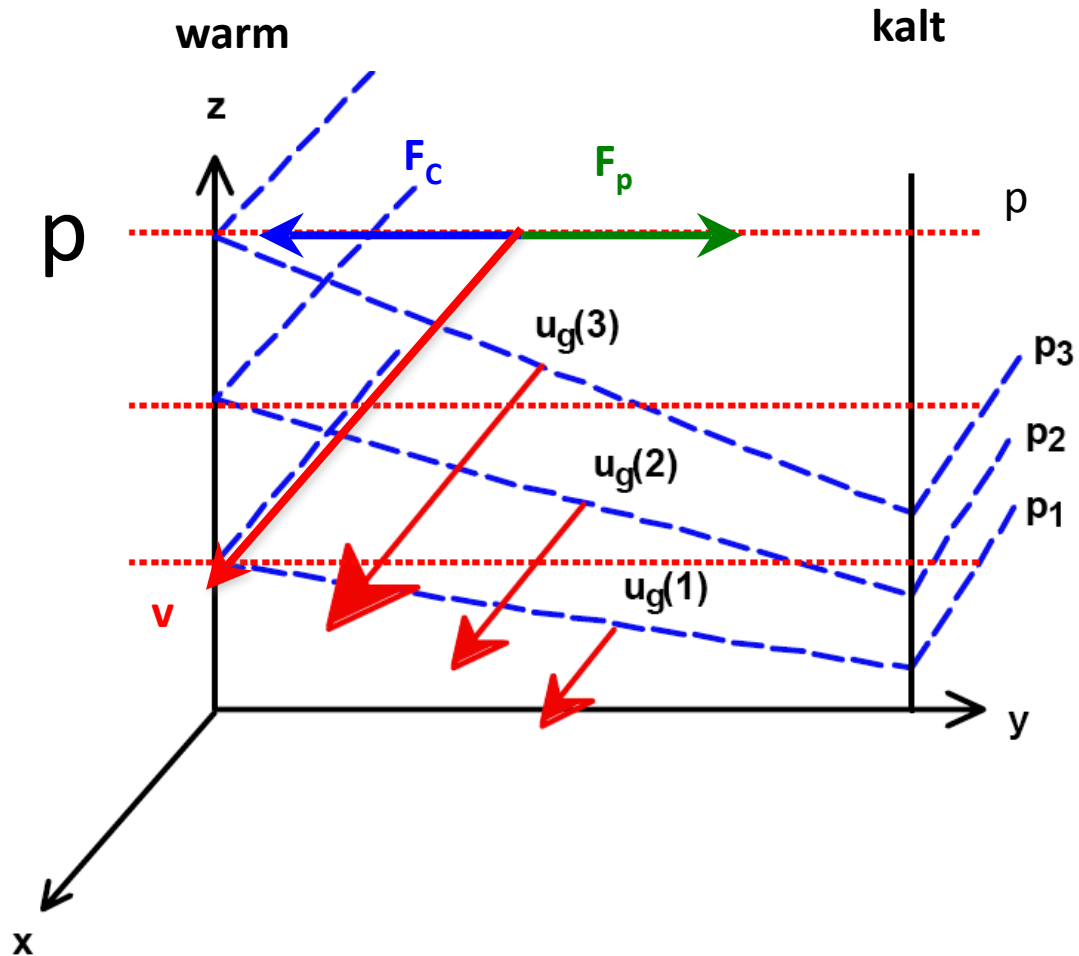


Wind bläst in Richtung der „Isobaren“ (nicht von Hoch zu Tief)

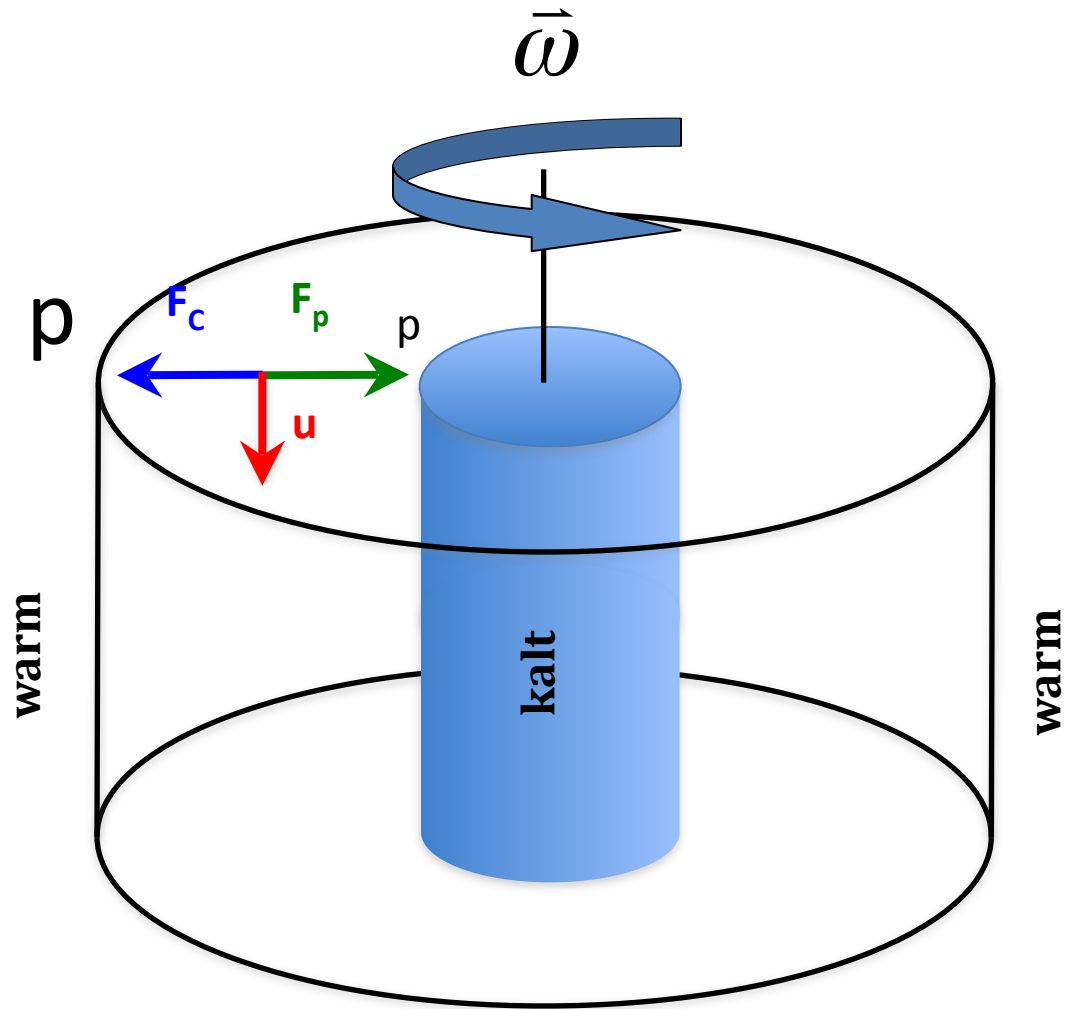
Thermischer Wind

$$p = p_0 e^{-mgz/RT(\text{warm})}$$

$$p = p_0 e^{-mgz/RT(\text{kalt})}$$



Thermischer Wind in unserem 2.5D „Ozean“



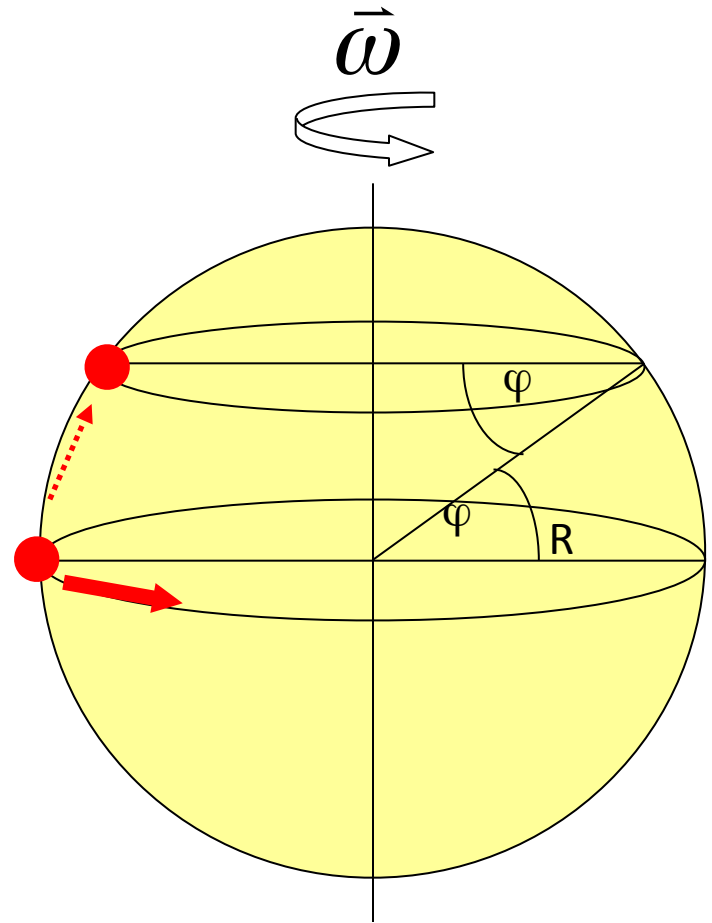
Wirbelbildung im 2.5D Ozean (hohe Rotation)



Drehimpulserhaltung

Werden rotierende Massen näher zur Drehachse bewegt, dann wird deren Umdrehung schneller

Werden Luftmassen in Ruhe vom Äquator nach Norden bewegt (d.h. näher zur Erdachse), dann wird die Luft nach Osten beschleunigt



back of the envelope

Gegeben:

$$\omega = 2\pi/24\text{h} = 7.3 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$$

$$R_E = 6.38 \cdot 10^3 \text{ km} = 6.38 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Gesucht:

Geschwindigkeit v

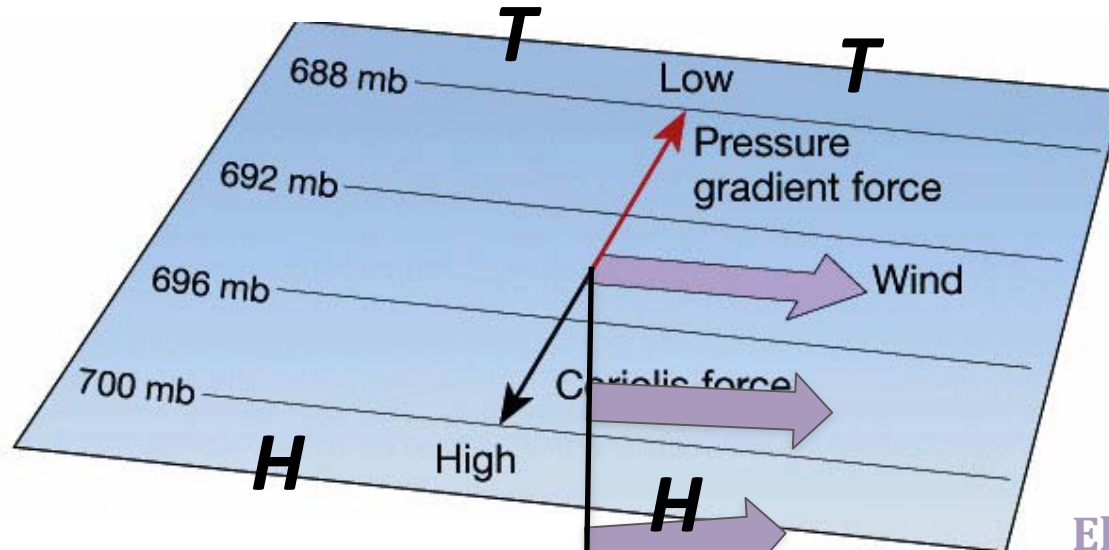
$$L(\varphi = 0) = L(\varphi = 45^\circ \text{ N})$$

$$\rho\omega R_E^2 = \rho\omega(R_E \cos\varphi)^2 + \rho v(R_E \cos\varphi)$$

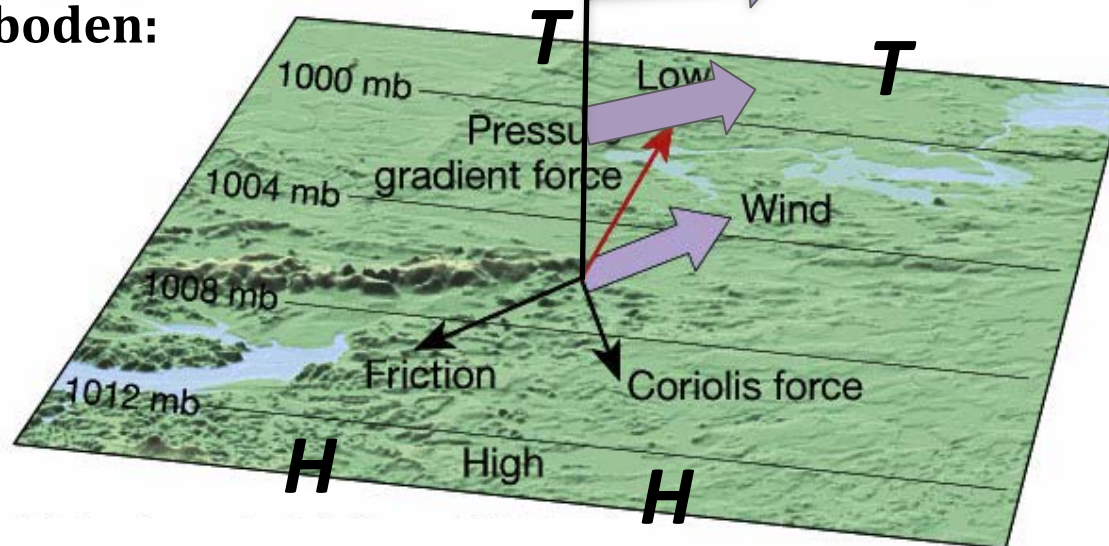
$$v(\varphi = 45^\circ \text{ N}) = \frac{\omega R_E (1 - \cos^2 \varphi)}{\cos \varphi} = \underline{\underline{328 \text{ m/s} = 1184 \text{ km/h}}}$$

In welche Richtung weht der Wind?

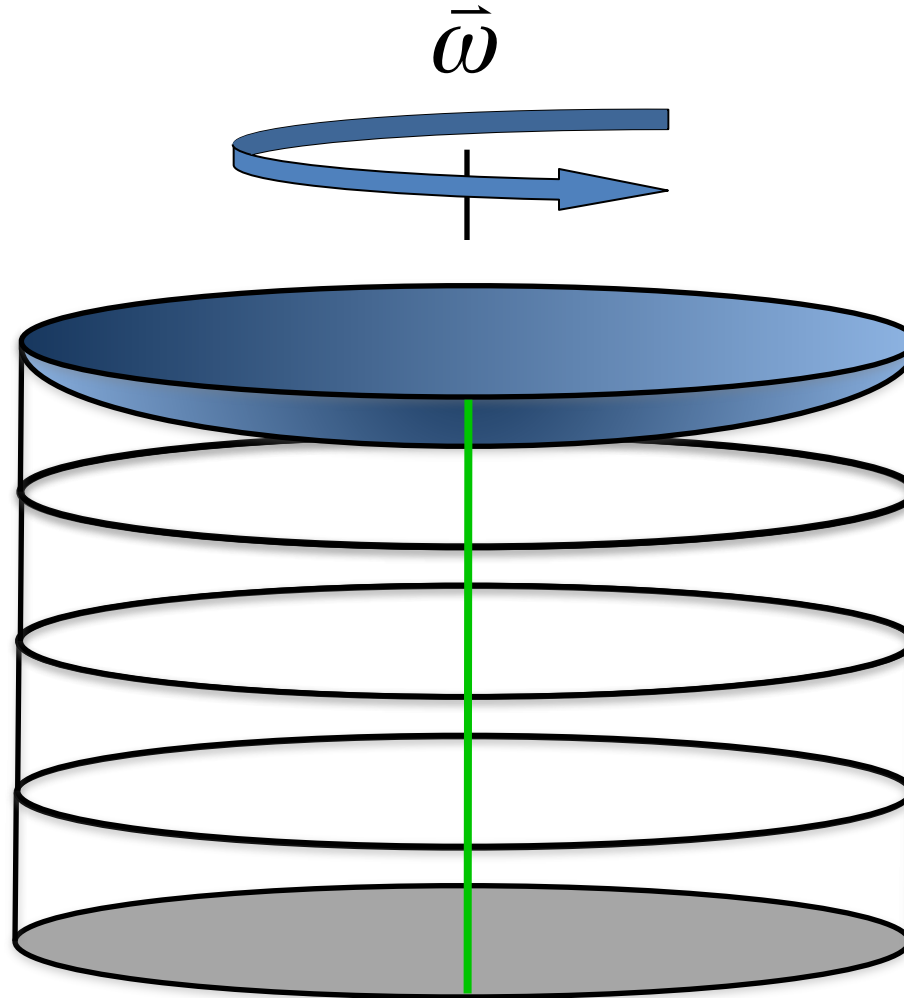
weit vom Erdboden entfernt:



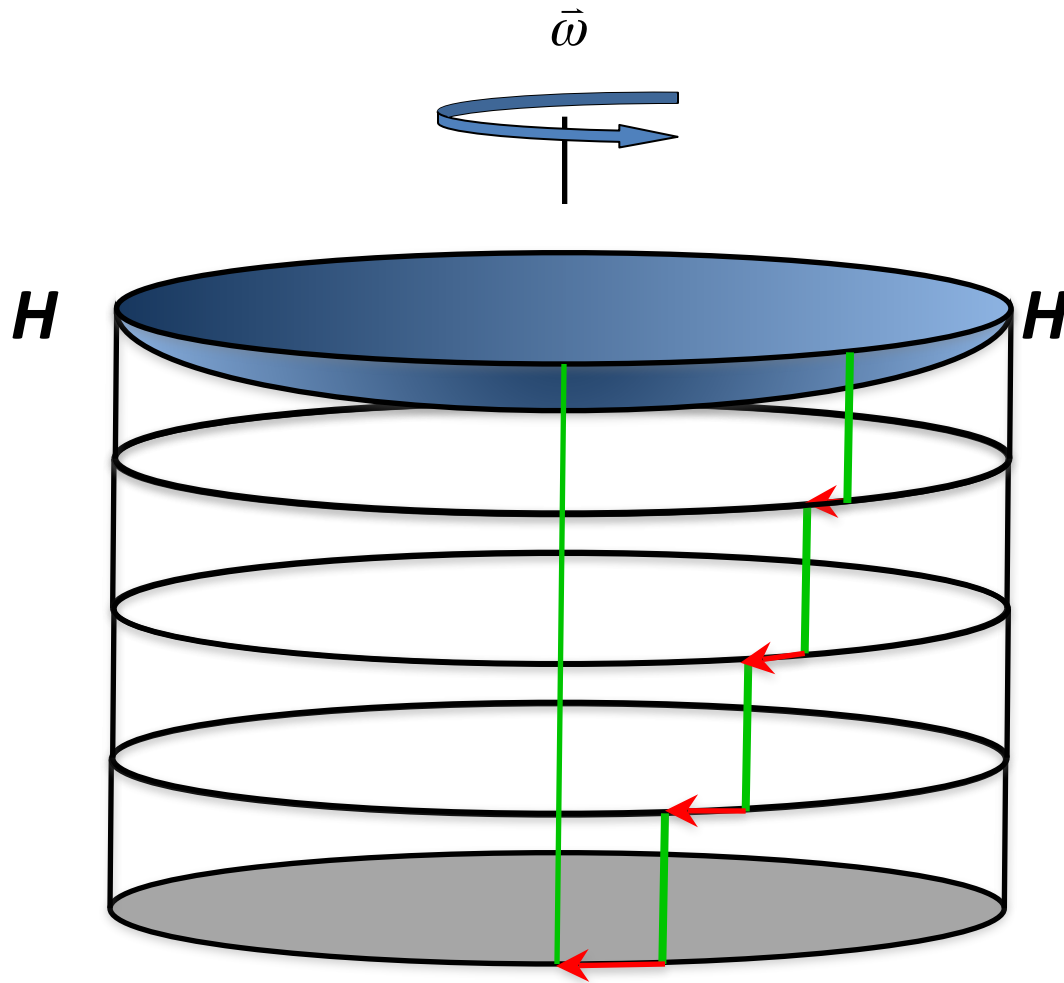
am Erdboden:



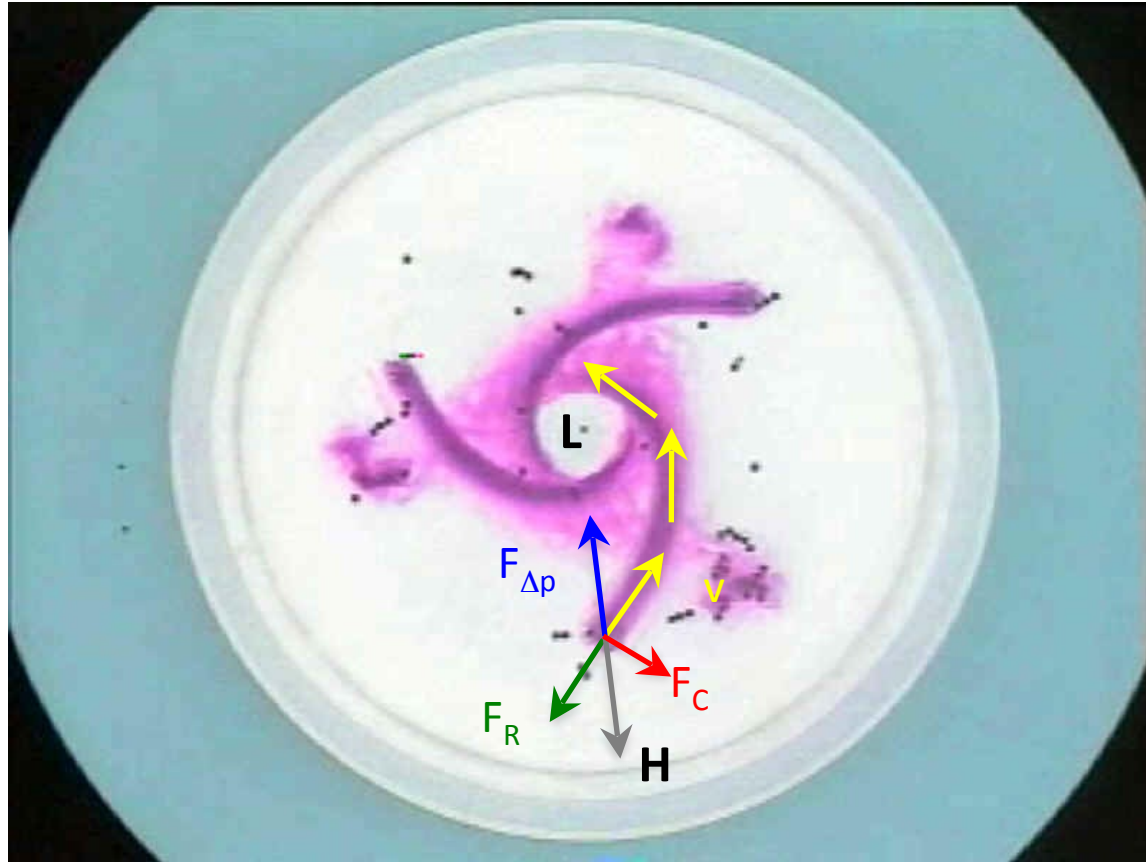
Die Ekmanspirale im 2.5D Ozean



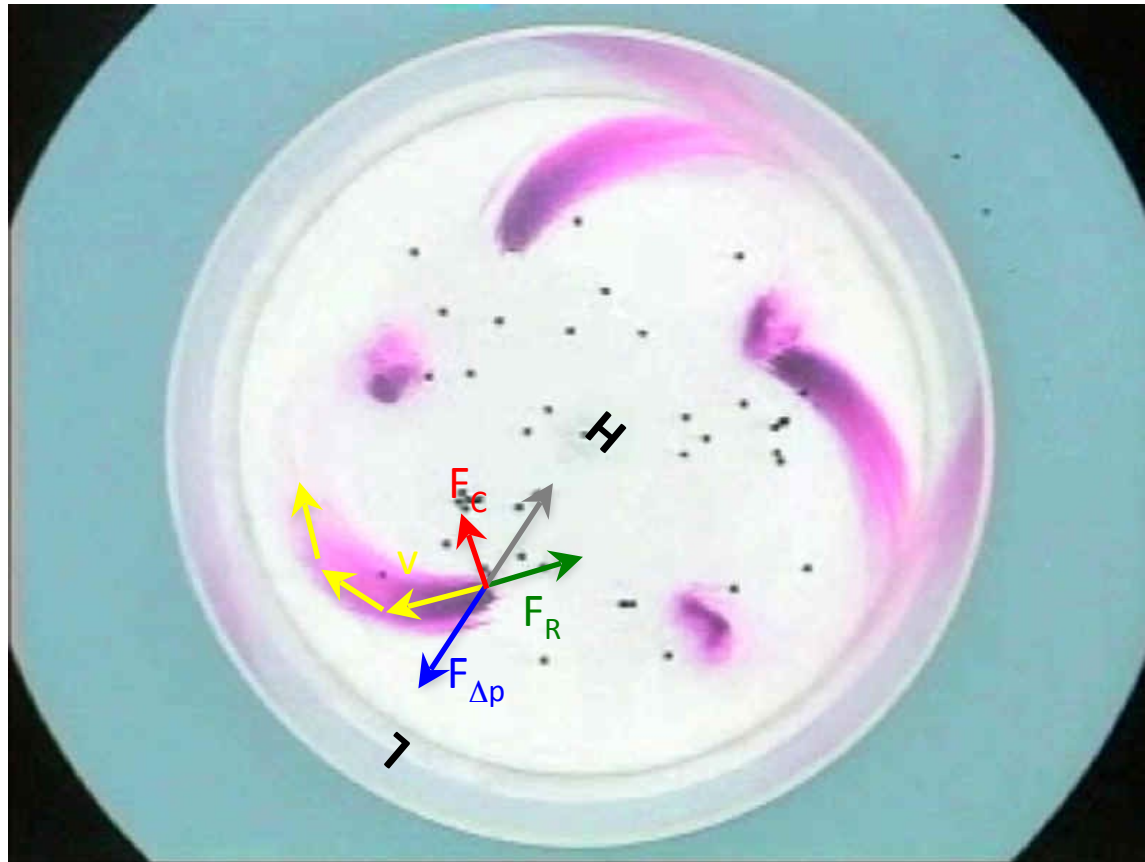
Abbremsen



Abbremsen



Beschleunigen



take home messages

Auch die Bewegung von Fluiden (Atmosphäre, Ozean) werden durch Newton's Gesetze beschrieben

Die wirkenden Kräfte sind Druckgradienten-, Reibungs- und Corioliskraft.

Sind die Fließgeschwindigkeiten zu hoch, bilden sich Wirbel, d.h. es wird chaotisch

Wenn sie das interessiert hat, dann studieren sie doch einfach (Klima-)Physik in Bern!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

