

# Vorlesung 14

# Physikalisches Kolloquium

## Fachgruppe Physik/Astronomie der Universität Bonn

**Freitag, 25. November 2022, 15 Uhr c.t. - Online**



**Laura Kreidberg**

MPI für Astronomie, Heidelberg

**„Planets are Places: Exoplanet Atmosphere Characterisation in the JWST Era“**

The past 25 years have revealed a diversity of exoplanets far beyond what was imagined from the limited sample in the Solar System. With new and upcoming observing facilities and a rapidly growing number of nearby planets, we are beginning to bring this diversity into focus, with detailed follow-up characterization of the planets' atmospheres. In this talk, I will focus on two key questions in exoplanet atmosphere studies: (1) what can we learn about giant planets' origins from their present-day atmospheres? And (2) what can we learn about habitability from "Earth cousins", planets that are a little bigger or a little hotter than the Earth? I will provide some historical context on these two questions, share a few preliminary results from the first JWST observations of transiting planets, and conclude with a longterm perspective on exoplanet atmosphere characterization through the 2040s, including the search for biosignatures in the atmospheres of potentially inhabited planets.

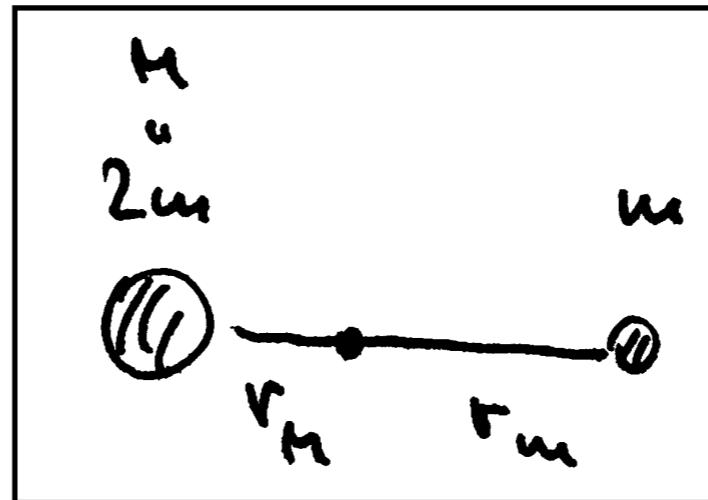


<https://uni-bonn.zoom.us/j/93502490448?pwd=Yy9QZ1hOd3kvcG0xSTdRcjRWd0hqdz09>

## Drehapparat

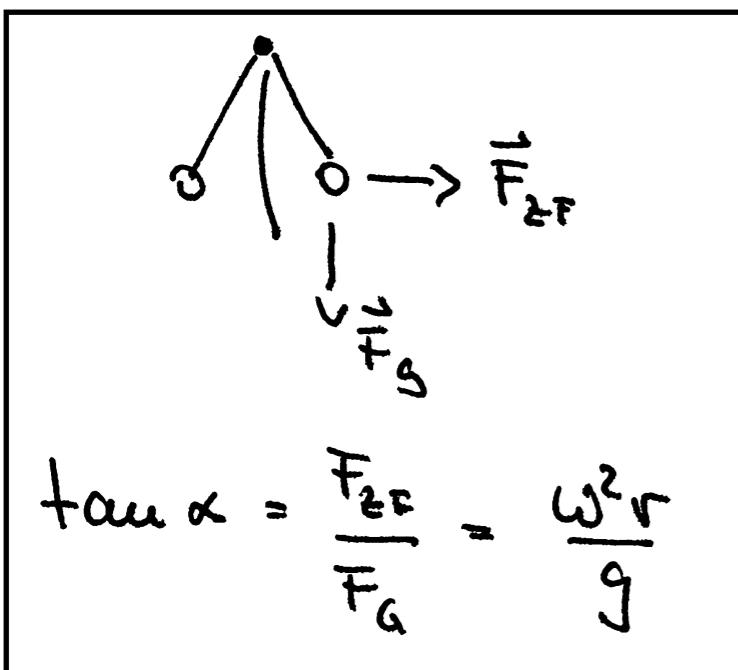
### 2 Massen

Gleichgewicht wenn  $r_M = \frac{1}{2}r_m$



$$Mr_M \omega^2 = mr_m \omega^2$$

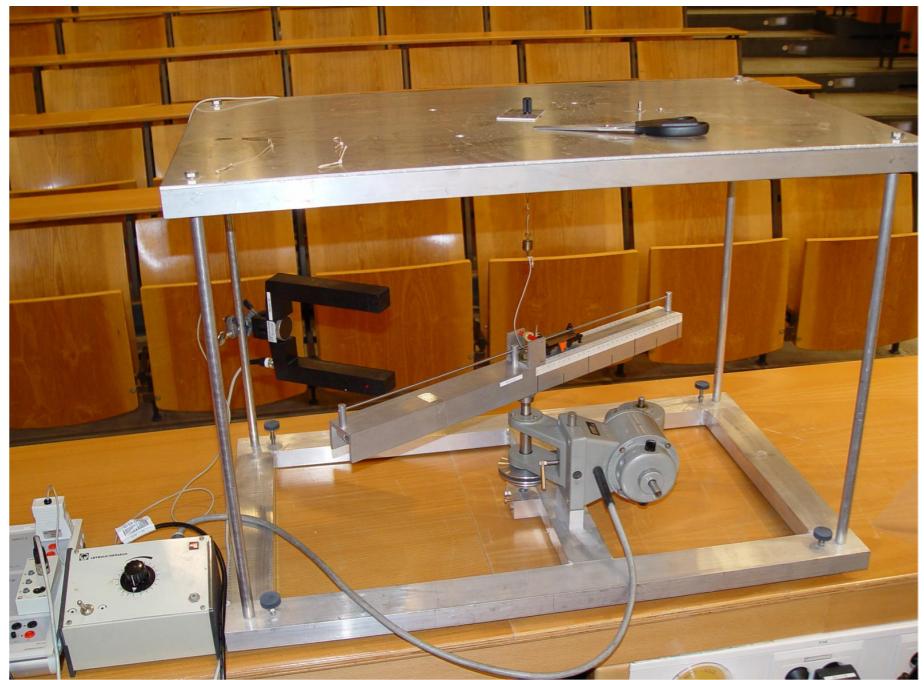
## Drehzahlregler



rotierendes Wasserglas / Kerze / Pb / Kugel + Korken

## Messung: Wagen auf Drehbalken

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$



Der Drehbalken wird in Rotation versetzt. Die Kraft auf den Wagen wird bei verschiedenen Fadenlängen gemessen.

Es gilt

$$F = m\omega^2 r \quad (1)$$

Bei doppelter Winkelgeschwindigkeit erhält man eine vierfache Kraft. Bei doppeltem Radius erhält man die doppelte Kraft.

## 4.3 Erde als rotierendes Bezugssystem

Erde ist **kein** Inertialsystem

→ **Trägheitskräfte**  $\vec{F}_c$ ,  $\vec{F}_{ZF}$  (klein, aber “oho”)

Betrag bis zu ca. 0.35% der Gravitationskraft

Winkelgeschw. der Erde :

$$\omega_E = \frac{2\pi}{3600 \times 24 \text{ s}} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

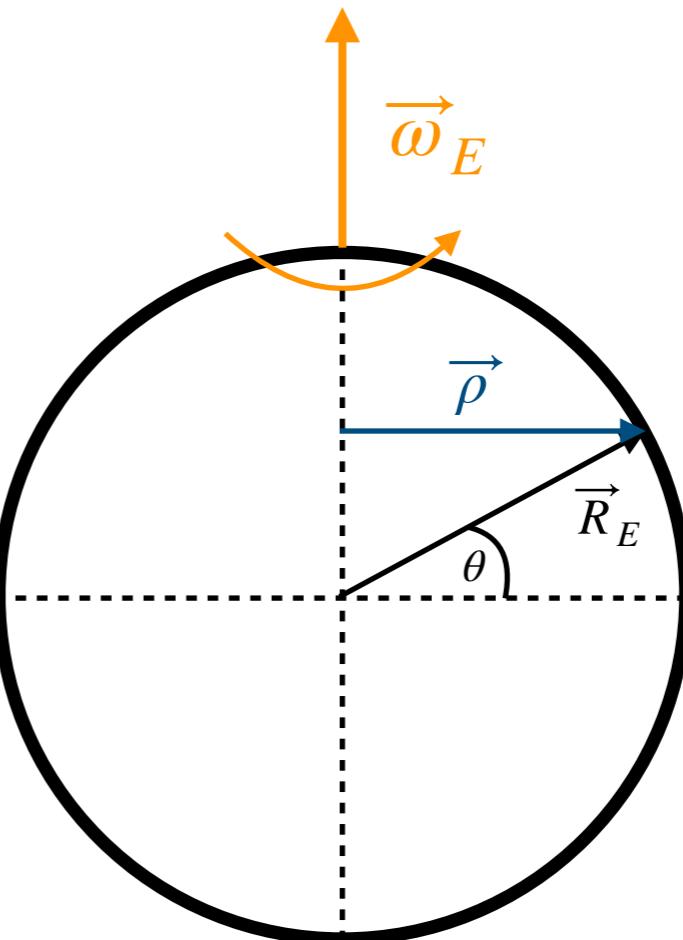


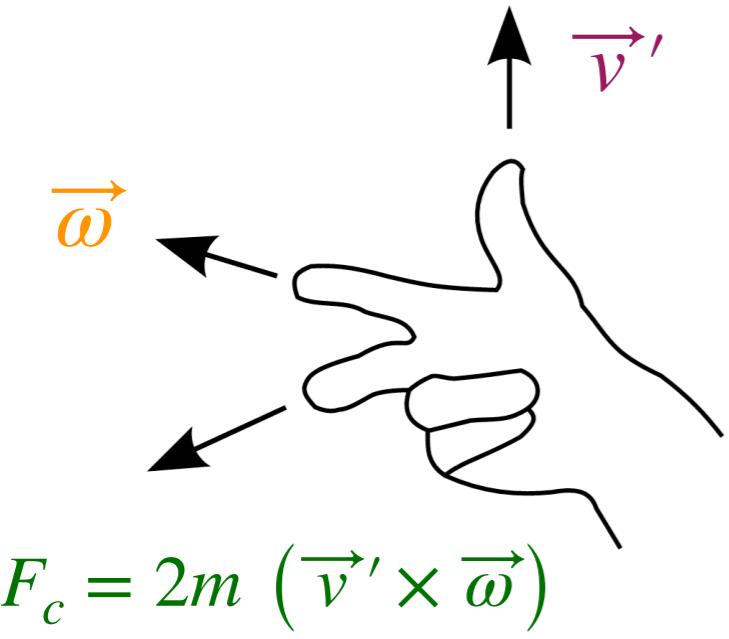
Rotationsgeschw. am Äquator :

$$v_E = \omega_E \cdot R_E = 7 \cdot 10^{-5} \cdot 6.4 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$= 470 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1700 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

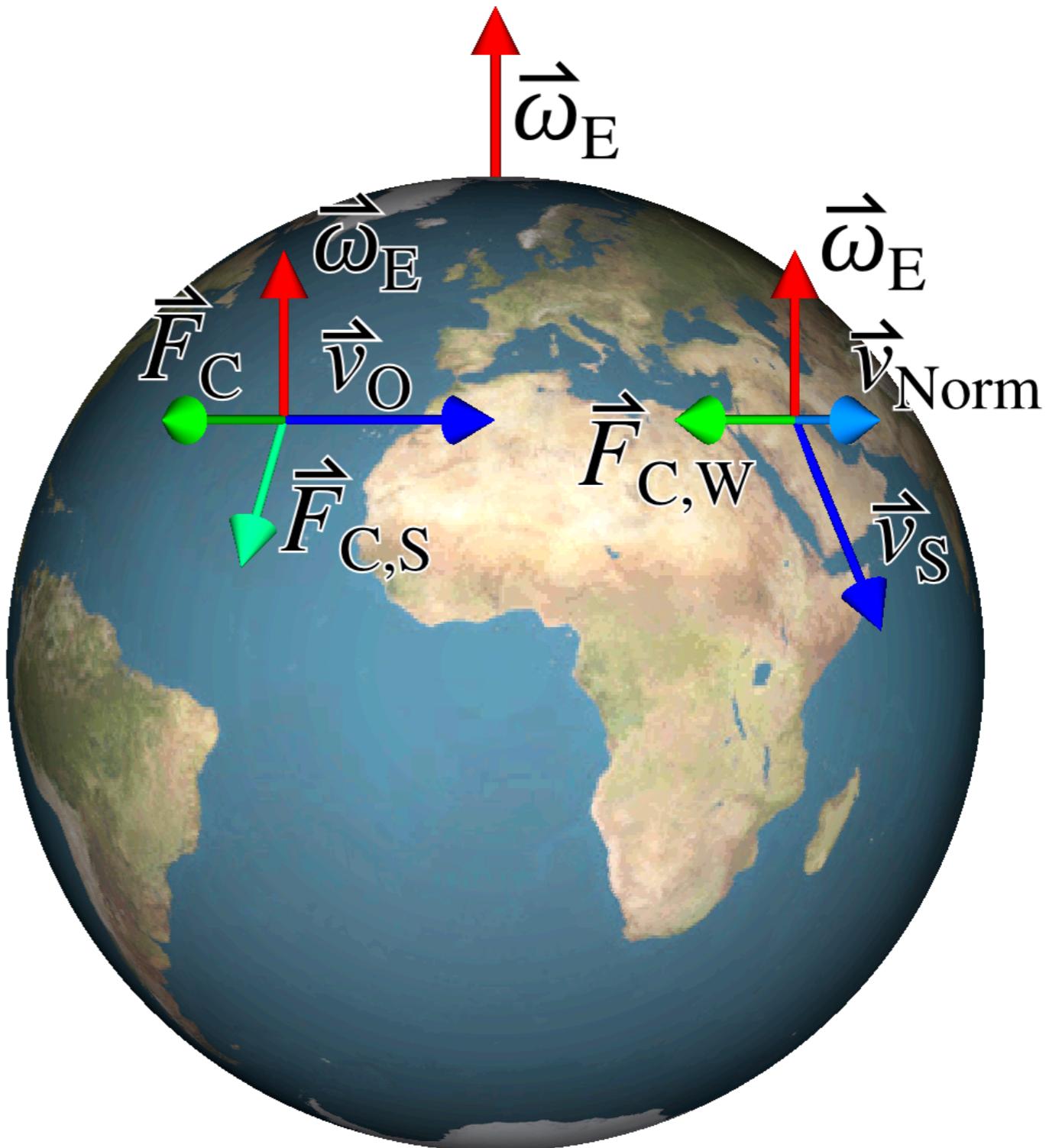
Rotationsgeschw. Entlang eines Breitengrades

$$v(\theta) = w_E \rho(\theta) = w_E R_e \cos \theta$$





$$F_c = 2m (\vec{v}' \times \vec{\omega})$$

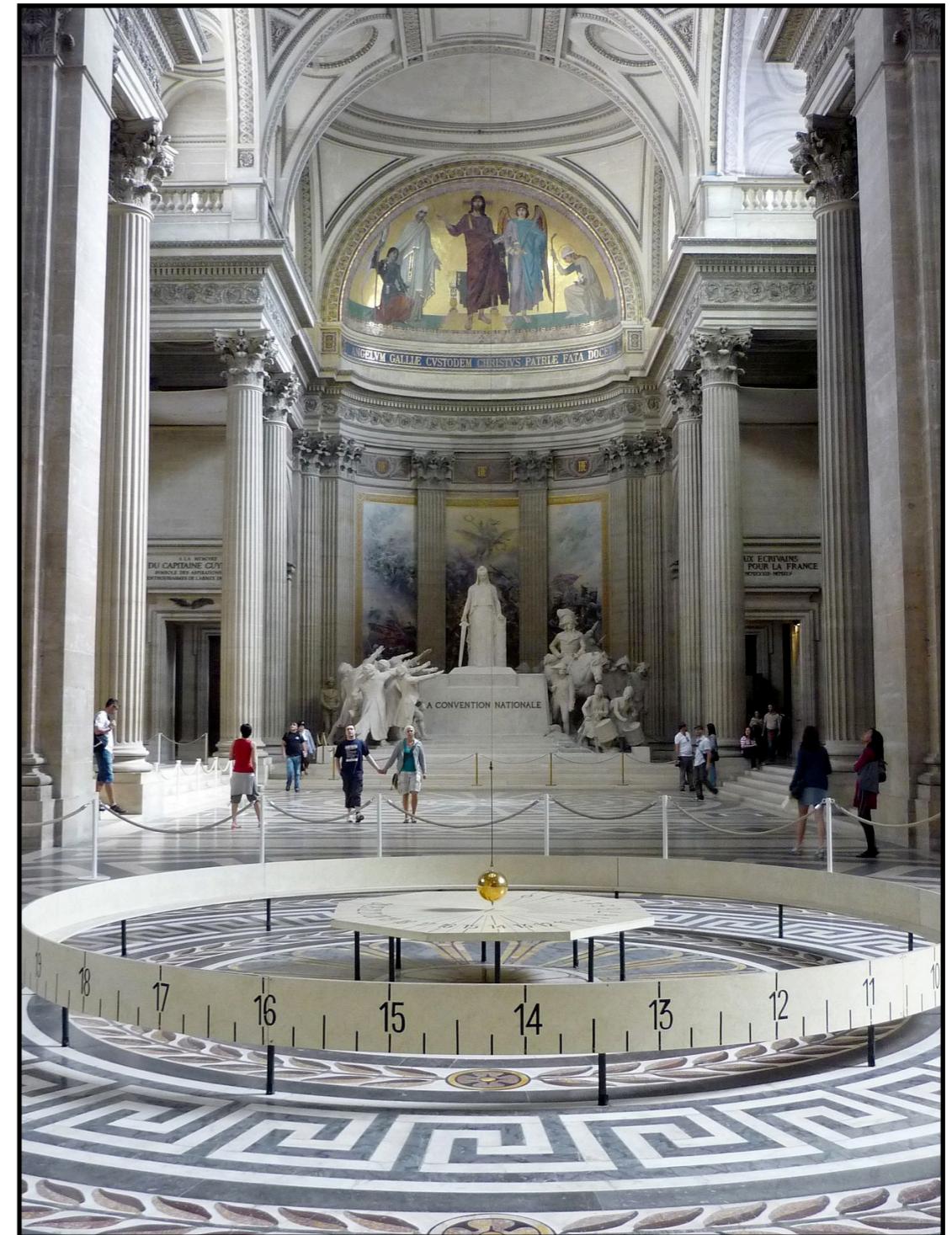
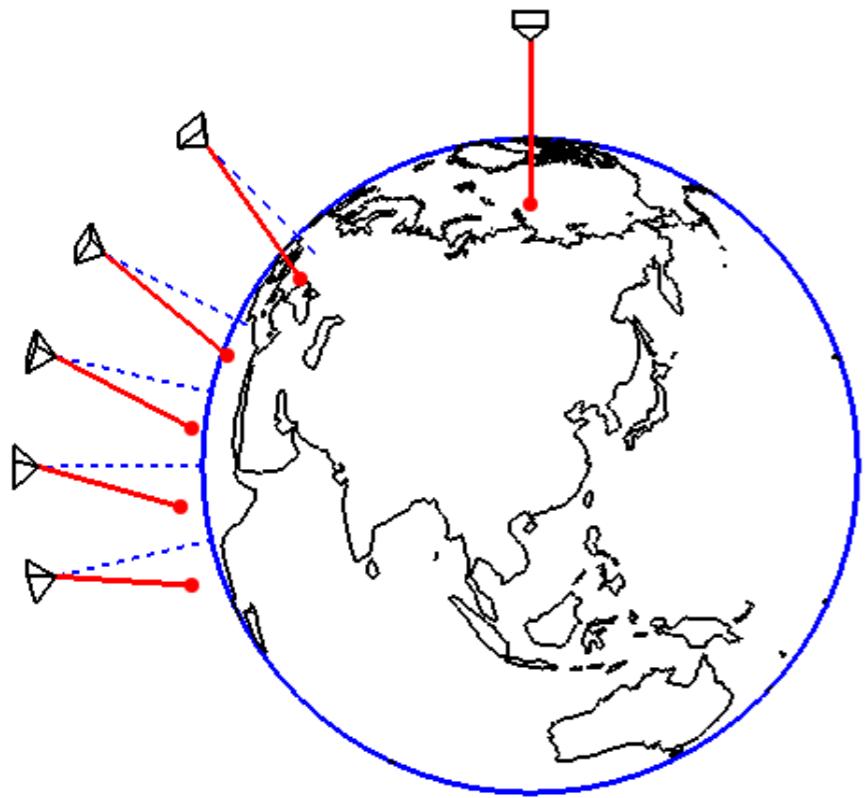


Kann ausgenutzt werden zur **Sichtbarmachung**  
der Erdrotation :

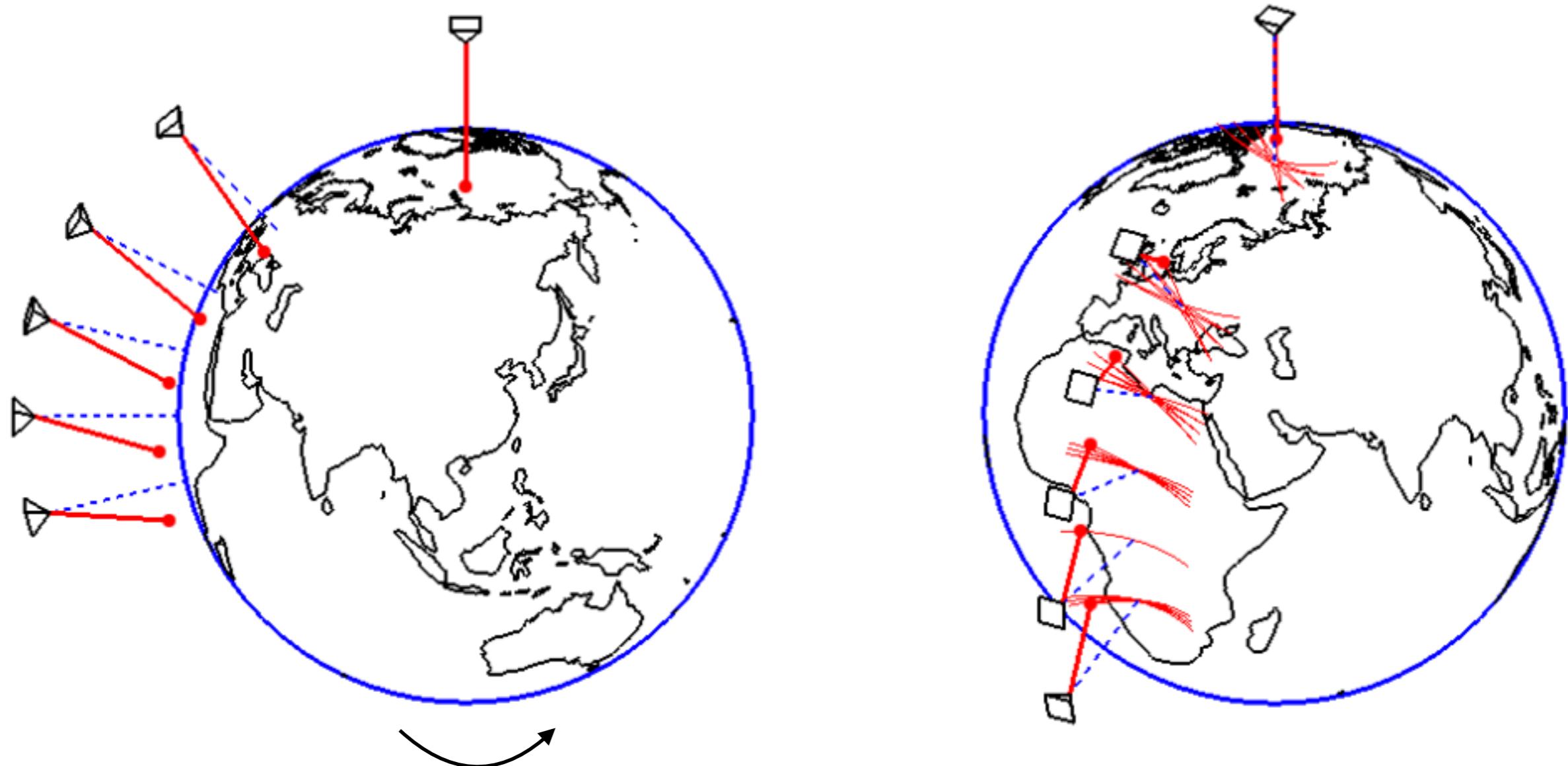
**Foucault-Pendel 1851 Pantheon, Paris**

$$\ell = 67 \text{ m}, \quad M = 28 \text{ kg}, \quad T = 2\pi\sqrt{l/g} = 16.5 \text{ s}$$

Drehung des Schwingpendels hängt  
vom **Breitengrad** ab



## Schwingmuster nach einer Teilrotation (Illustration):



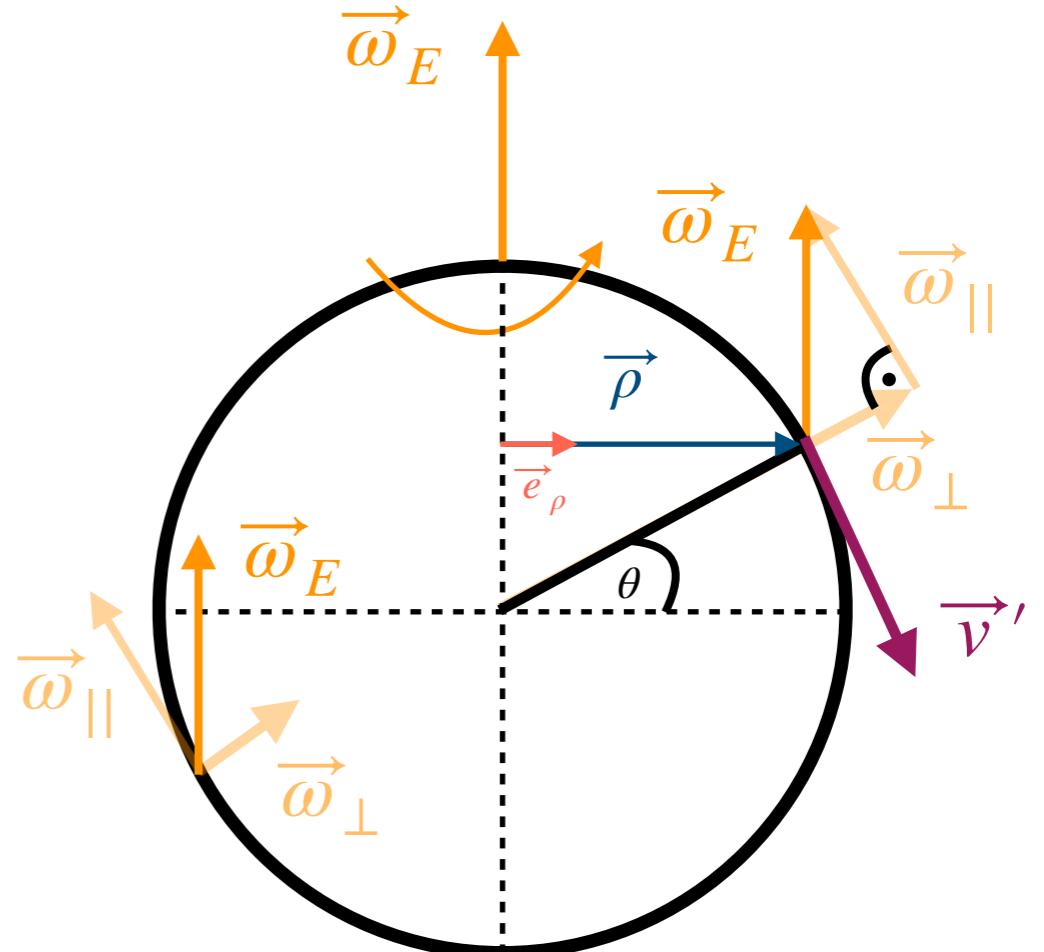
## Horizontale Coriolisbeschleunigung:

$$F_c = 2m (\vec{v}' \times \vec{\omega}_E) = 2m (\vec{v}' \times \vec{\omega}_{\perp}) \\ = - (2m \omega v' \sin \theta) \cdot (\vec{e}_{\omega_{\perp}} \times \vec{e}_{v'})$$

$\uparrow$   
 $\omega_{\perp} = \omega \sin \theta$

$\vec{\omega}_{||}$  zeigt immer in N-S Richtung

$\vec{\omega}_{\perp}$  wechselt Richtung am Äquator



**Beschleunigung :**  $\vec{g} = \vec{g}(\theta)$

Annahme: Erde perfekte Kugel

$B'$  auf der Erde misst:

$$\vec{g}' = \vec{g}_0 - 2(\vec{\omega}_E \times \vec{v}') - \vec{\omega}_E \times (\vec{\omega}_E \times \vec{r})$$

Schwer-  
kraft

Coriolis  
-kraft

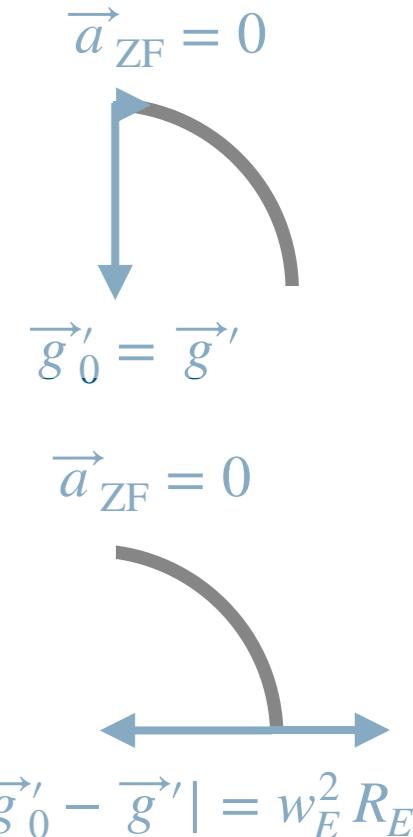
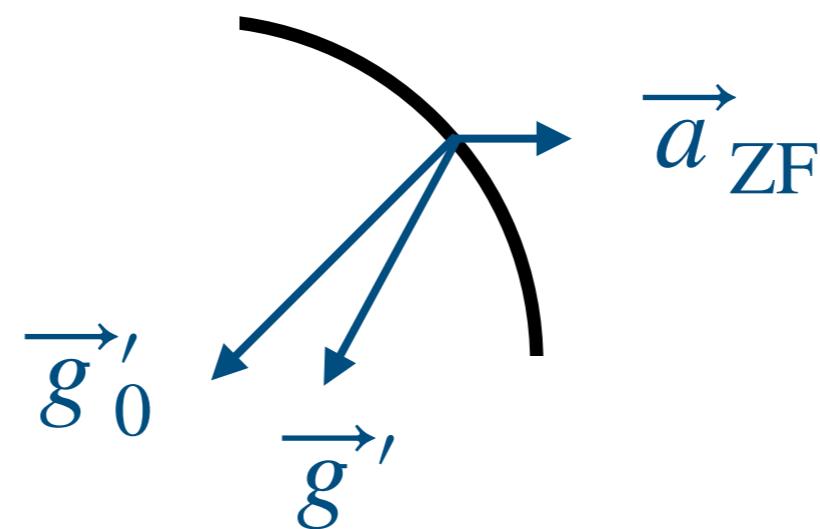
ZF



$$= -\omega^2 \rho \vec{e}_{\rho}$$

## Fall A) $v' = 0$ (ruhender Körper)

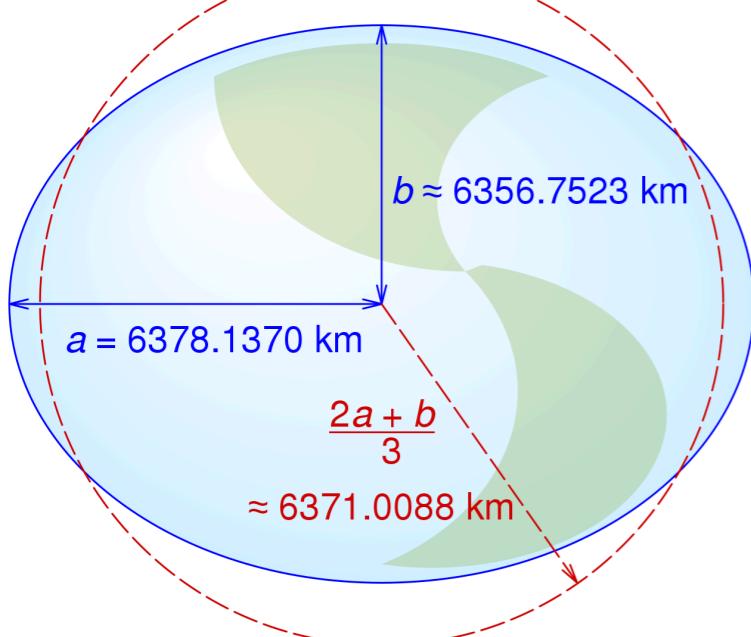
$$\vec{g}' = \vec{g}_0 + \omega_E^2 \rho \vec{e}_\rho$$



Äquator:  $\vec{g}' \parallel \vec{g}_0$

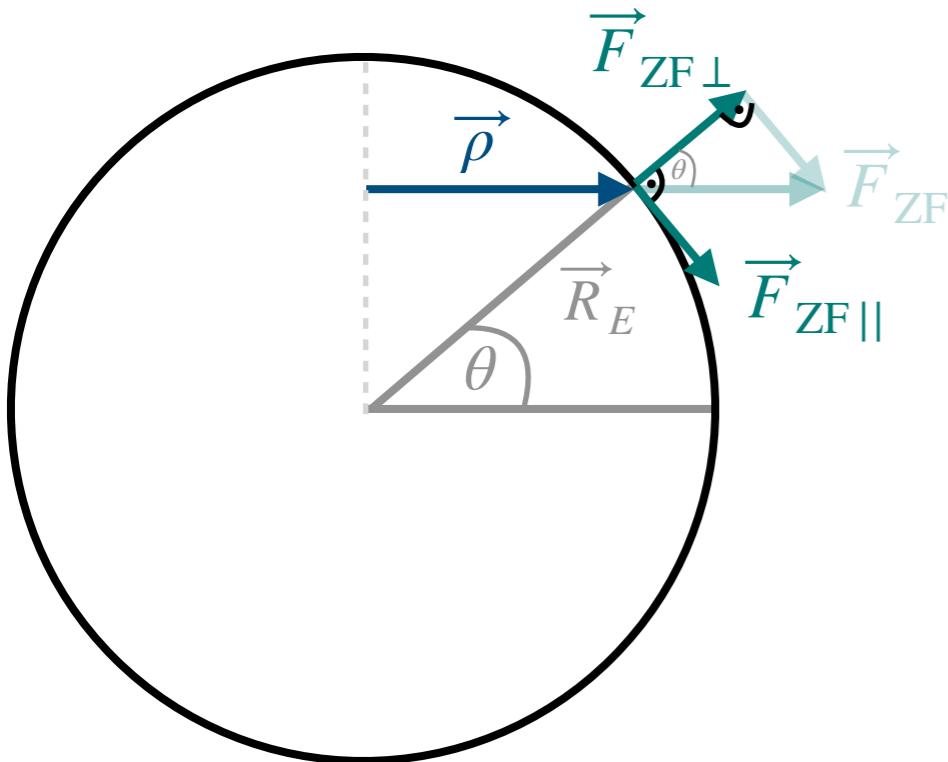
$$|\vec{g}' - \vec{g}_0| = w_E^2 R_E = (7 \times 10^{-5})^2 \cdot (6.4 \cdot 10^6) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\approx 0.35\% \cdot g_0$$



$$|\vec{g}'| \leq |\vec{g}_0| \quad ("=" \text{ an den Polen})$$

→ Verantwortlich für die Erdabplattung



$$\vec{F}_{ZF} = m \omega_E^2 \rho \vec{e}_\rho$$

$$|\vec{F}_{ZF\perp}| = m \omega_E^2 \rho \cos \theta = m \omega_E^2 R_E \cos^2 \theta$$

$$= 0 \quad \text{bei } \theta = \pi/2$$

$$|\vec{F}_{ZF||}| = m \omega_E^2 \rho \sin \theta = m \omega_E^2 R_E \sin \theta \cos \theta$$

$$= 0 \quad \text{bei } \theta = 0 \text{ und } \theta = \pi/2$$

**Fall B)**  $v' \neq 0$  (bewegter Körper)  $\rightarrow$  Coriolis-Kraft

- a) Bewegung auf Oberfläche (Auto, Zug, Flüsse, Wind, ...)
- b)  $\perp$  : (Fall, Wurf, ...)

## a) Bewegung auf Oberfläche

$$\vec{\omega}_{\perp} = w \sin \theta \vec{e}_{\omega_{\perp}} = w \sin \theta \vec{e}_R$$

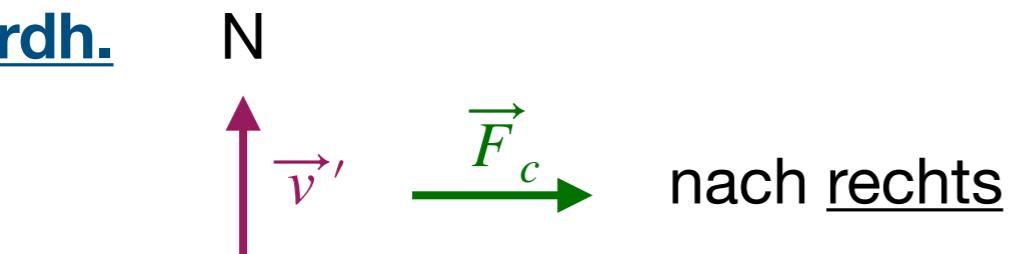


$$\vec{F}_c = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v}') = 2m \sin \theta (\vec{v}' \times \vec{e}_R)$$

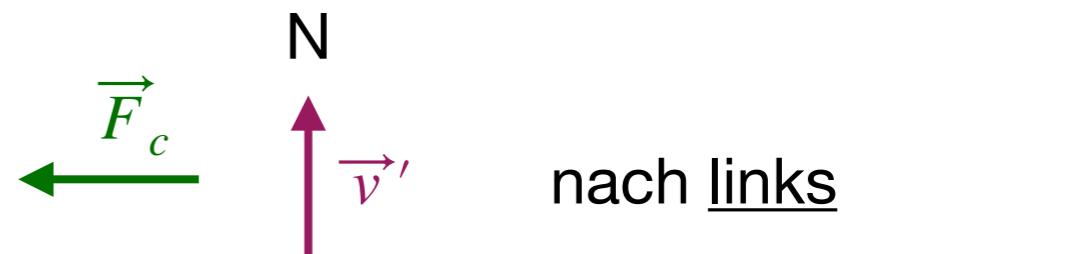
$$\vec{F}_c = -2m(\vec{\omega} \times \vec{v}') = 2m \sin \theta (\vec{v}' \times (-\vec{e}_R))$$

Richtung der C.-Kraft :

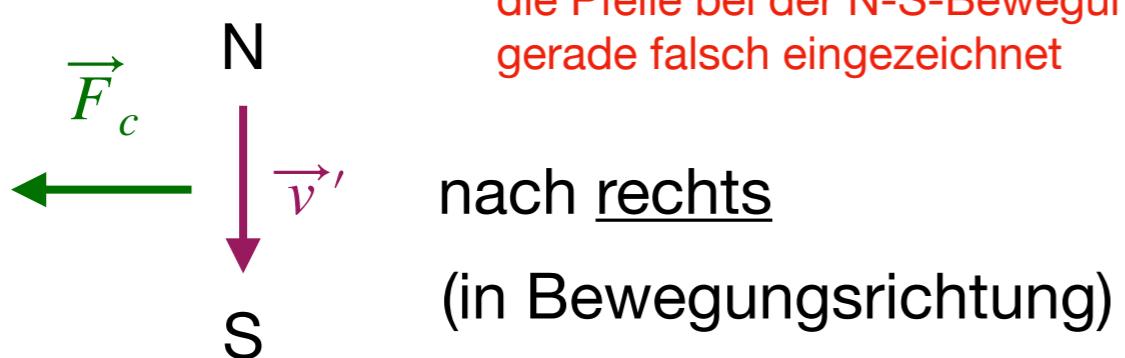
**Nordh.**



**Südh.**



NB: In der Vorlesung heute waren  
die Pfeile bei der N-S-Bewegung  
gerade falsch eingezeichnet



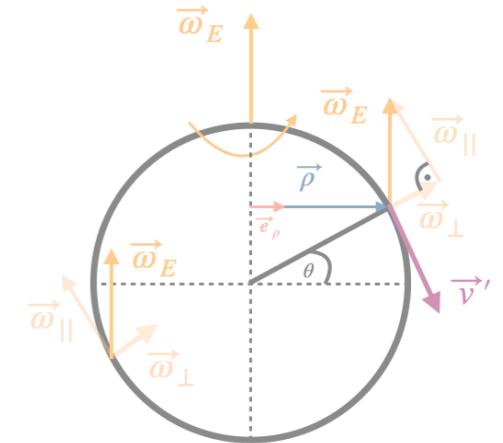
Horizontale Coriolisbeschleunigung:

$$\begin{aligned} F_c &= 2m (\vec{v}' \times \vec{\omega}_E) = 2m (\vec{v}' \times \vec{\omega}_{\perp}) \\ &= -(2m \omega v' \sin \theta) \cdot (\vec{e}_{\omega_{\perp}} \times \vec{e}_{v'}) \end{aligned}$$

$\omega_{\perp} = \omega \sin \theta$

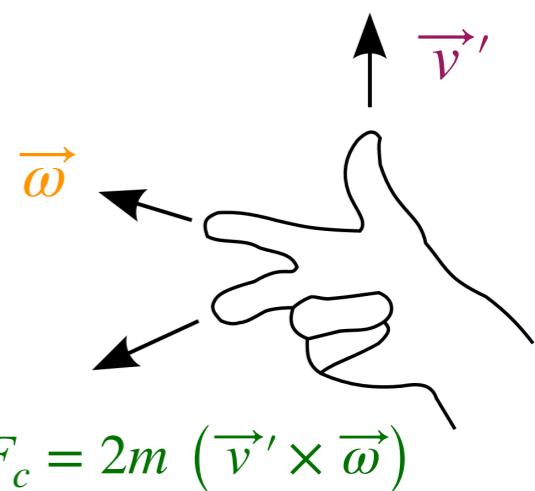
$\vec{\omega}_{\parallel}$  zeigt immer in N-S Richtung

$\vec{\omega}_{\perp}$  wechselt Richtung am Äquator



**(Nordh.)**

**(Südh.)**

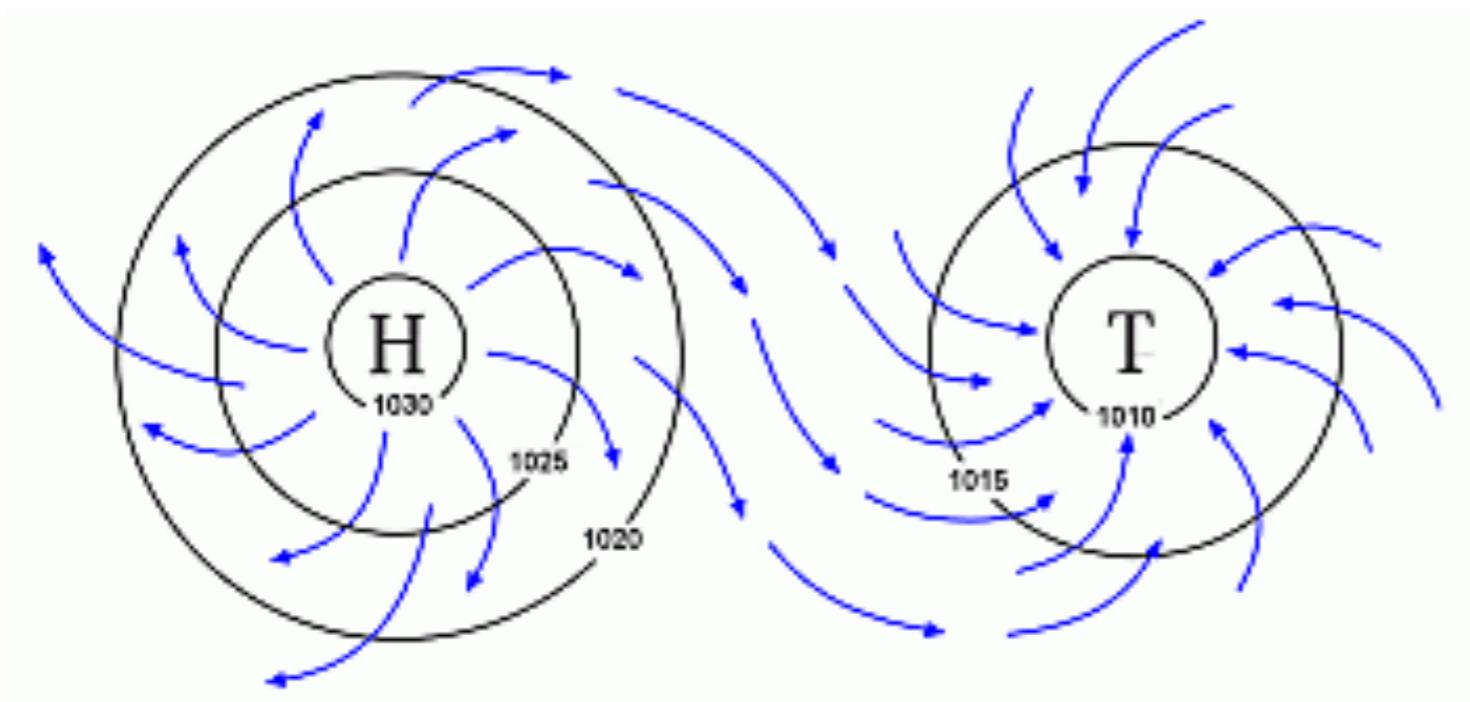


nach links  
(in Bewegungsrichtung)

## Hoch- / Tiefdruckgebiete :

z.B. Hochdruckgebiet auf der Nordh.

Luft strömt nach "Aussen" und wird durch die C.-Kraft  
nach Rechts abgelenkt auf ihrem Weg zu einem Tiefdruckgebiet



Hochdruckgebiet dreht sich dadurch nach  
rechts (im Uhrzeigersinn)

Analog Tiefdruckgebiet, dort dreht sich das  
System dann nach links (engt. Uhrzeigersinn)

