# Inhalt der Vorlesung A1

#### 2. Teilchen

#### A. Einzelne Teilchen

Beschreibung von Teilchenbewegung

Kinematik: Quantitative Erfassung

Dynamik: Ursachen der Bewegung

Kräfte

Arbeit + Leistung, Energie

Erhaltungssätze: Energie+Impulserhaltung

Reibungskräfte

Schwingungen

Rotationsbewegung: Drehimpuls+Drehmoment

Planetenbewegung

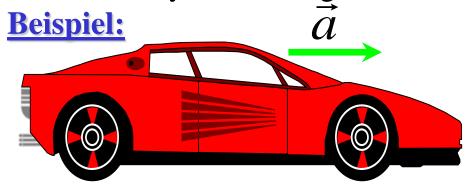
Bezugssysteme

Spezielle Relativitätstheorie

# Beschleunigte Bezugssysteme

# - Allgemeine Betrachtung

In allen beschleunigten Bezugssystemen treten Scheinkräfte auf, die durch eine Transformation in ein Inertialsystemen wegfallen.



Im System des Autos gilt für einen Fahrer mit der Masse m, wenn er relativ zum Auto in Ruhe ist:

$$\vec{F} - m\vec{a} = \vec{0}$$

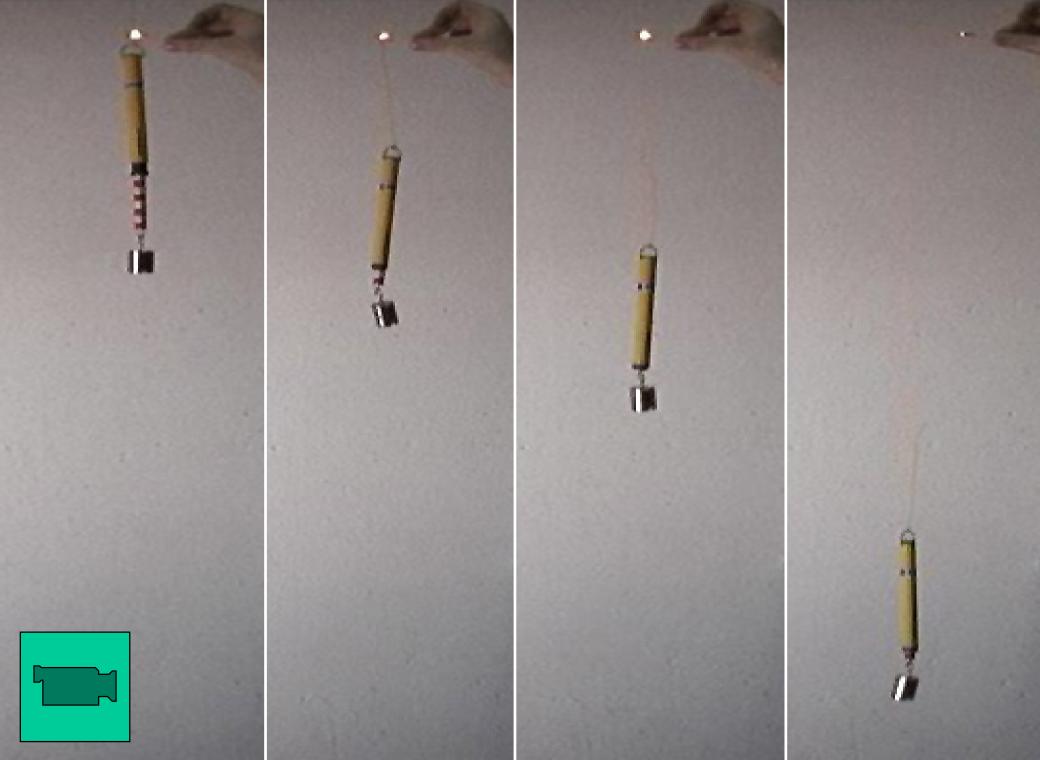
d.h. auf ihn wirkt die Scheinkraft

$$\vec{F}_{s} = -m\vec{a}$$

Daraus würde aber auch folgen, dass die Gravitation eine Scheinkraft und durch Übergang in ein beschleunigtes Bezugssystem "wegtransformierbar" ist:

⇒ Grundlegende Überlegung der Allgemeinen Relativitätstheorie (Einstein 1916)

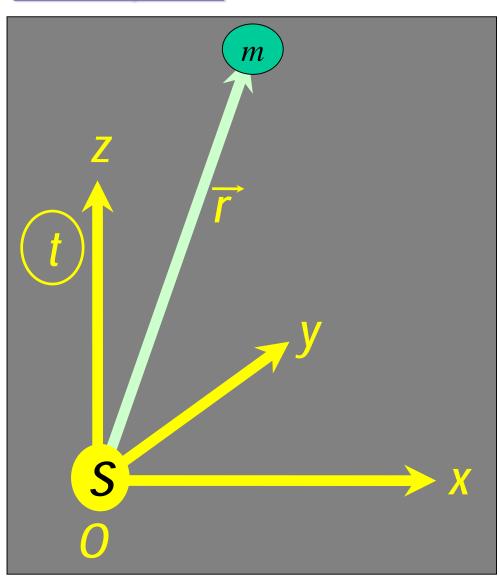




# · ·

## Koordinaten & Bezugssysteme

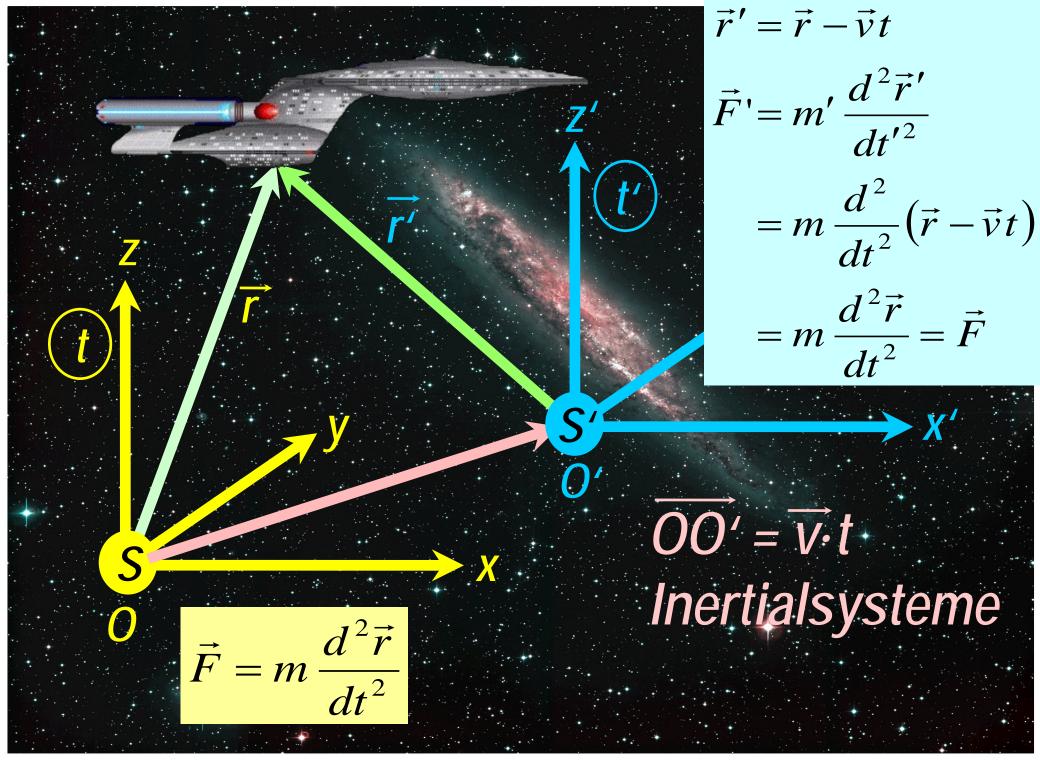
### **Inertialsysteme**



Bewegungen werden in der Physik relativ zu wohldefinierten *Bezugs-systemen* beschrieben. Hierbei ist die Wahl der Koordinaten (cartesische, Kugel-, Zylinder- oder andere Koordinaten) beliebig, d.h. die Naturgesetze dürfen nicht von der Wahl der Koordinaten abhängen.

Systeme, in denen die Newton'schen Gesetze gelten, heißen "Inertialsysteme".

Jedes Bezugsystem, das sich relativ zu einem Inertialsystem mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, ist selbst wieder ein Inertialsystem.

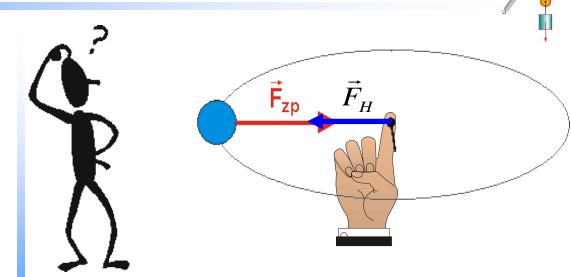


#### Rotierende Bezugssysteme



Ist die Erde ein Inertialsystem?

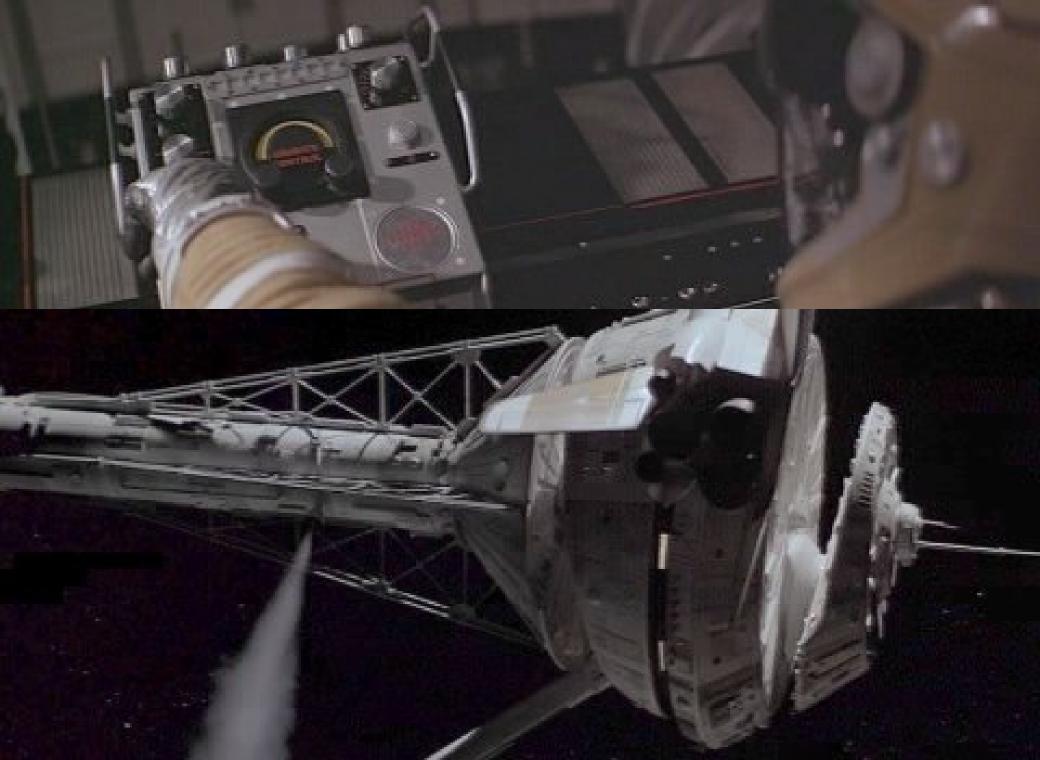
Um diese Frage zu beantworten, machen wir das folgende Gedankenexperiment: Eine Masse wird an einem Faden herumgeschleudert und die Lage aus zwei verschiedenen Blickwinkeln analysiert.

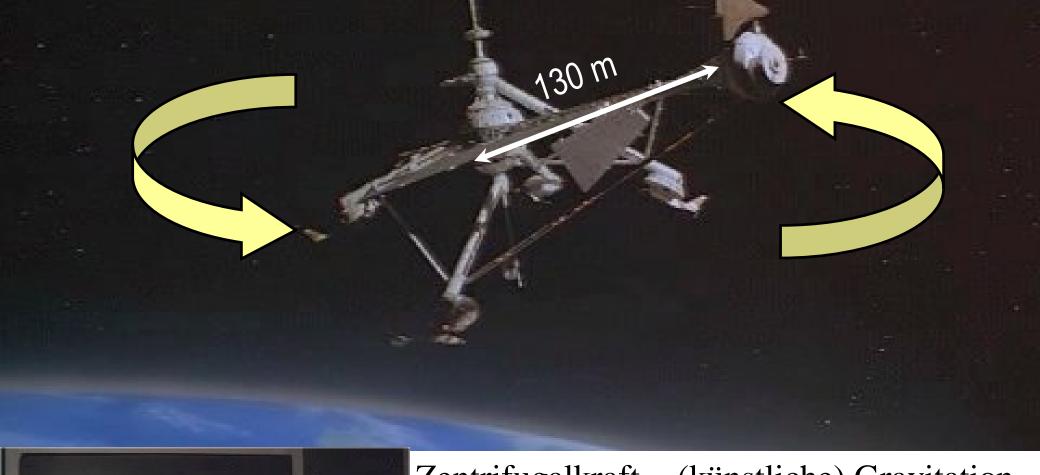


(1) Für einen Beobachter in einem Inertialsystem von außen ist die Lage klar: Die nach innen gerichtete *Zentripetalkraft*  $F_{zp}$  greift an der Masse an und hält sie auf ihrer kreisförmigen Bahn.

Nach dem 3. Newton'schen-Axiom wirkt die gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft  $F_{\rm H}$  auf den Finger, an dem sich der Faden befindet.







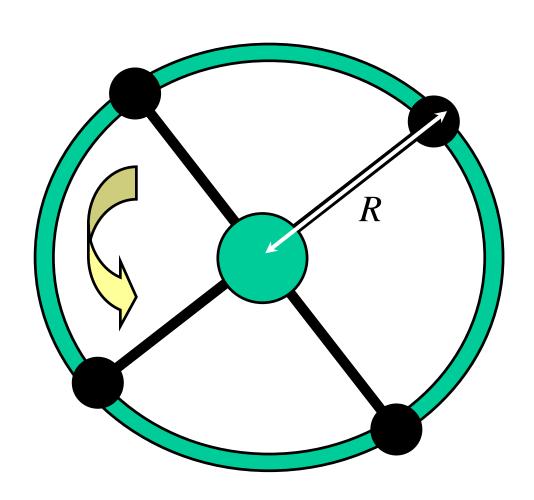


Zentrifugalkraft = (künstliche) Gravitation von 0.8g

$$\Rightarrow mR\omega^2 = 0.8mg \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{0.8g}{R}} = 0.246 \,\mathrm{s}^{-1}$$

$$\Rightarrow$$
 Rotationsperiode:  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 25.5 \text{ s}$ 

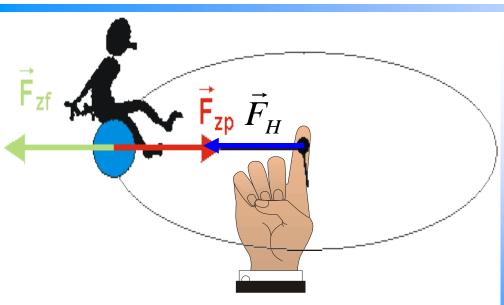




- Die Raumstation hätte noch einige weitere Nachteile .....
- Die Anziehungskraft wäre stark vom Abstand R zum Rotationszentrum abhängig! Wenn 0.8g an den Einstiegsluken wirken, dann ist etwa 1/4 g im Zentralbereich und 0g im Zentrum!!
- Solange man sich in der Station nicht bewegt, ist alles ok.

Wenn man sich aber bewegt, dann wirkt die sog. "Coriolis-Kraft", die die Bewegung senkrecht zur Geschwindigkeit ablenkt. ⇒ Bewegungen in der Station wären mühsamer als unter Schwerelosigkeit!!





(2) Für einen, sich mit der Masse mitbewegenden, Beobachter sieht die Situation anders aus. Er befindet sich in seinem System in Ruhe. Die nach innen gerichtete Zentripetalkraft  $F_{\rm zp}$  muß nun durch eine Kraft  $F_{\rm zf}$  kompensiert werden, die *auf die Masse* wirkt und nach außen gerichtet ist. Dies ist die *Zentrifugalkraft*. Sie ist gleich groß wie die Kraft  $F_{\rm H}$ .

Im mitrotierenden Bezugssystem wirkt also eine Kraft, obwohl sich die Masse in Ruhe befindet! Das 1. Newton'sche-Axiom gilt in diesem System nicht.

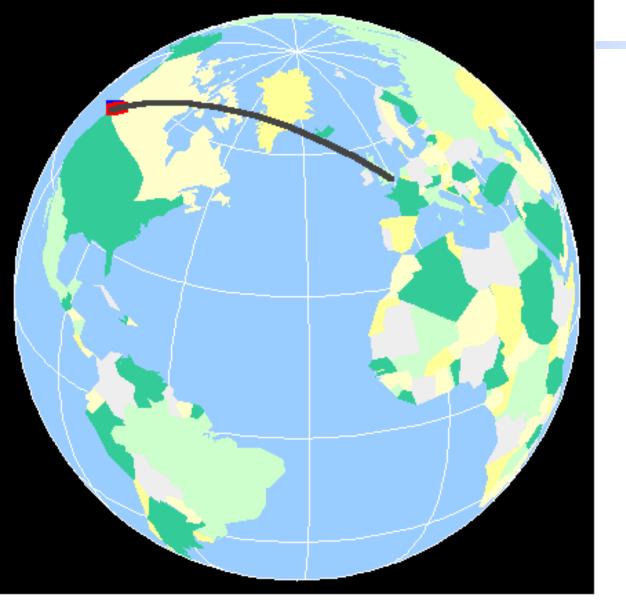
⇒ Rotierende Bezugssysteme sind keine Inertialsysteme!

In nicht-Inertialsystemen treten also Zusatzkräfte auf. Diese werden auch als "Scheinkräfte" bezeichnet.

Achtung: Die Auswirkungen von Scheinkräften spürt der mitbewegte Beobachter!

In rotierenden Systemen wirkt auf einen sich bewegenden Körper eine weitere Scheinkraft, die sog.

"Coriolis-Kraft".



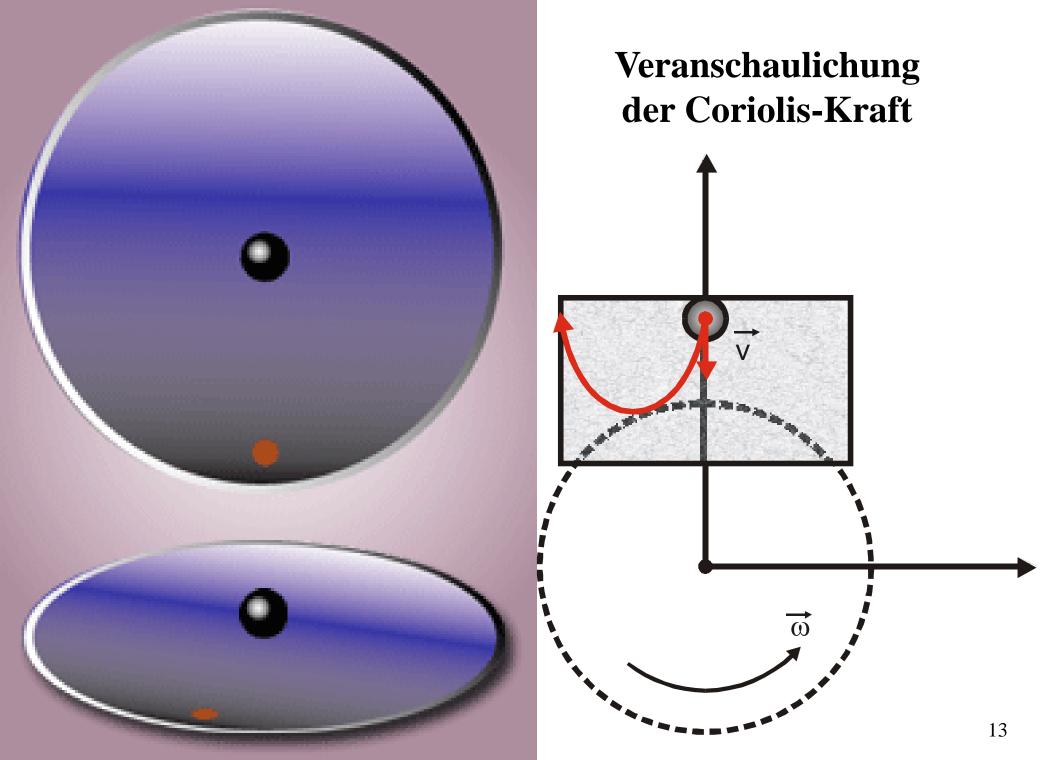


Geradlinige Bewegung von Vancouver nach London .....

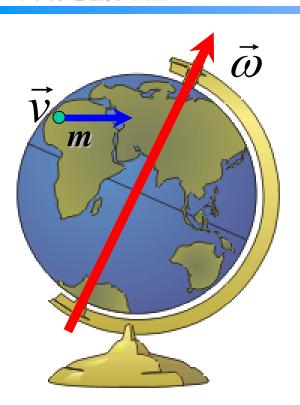
• für die nicht-rotierende Erde

• aus der "Weltraumperspektive"

• aus Sicht eines mitbewegten Beobachters auf der Erde.



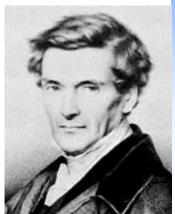




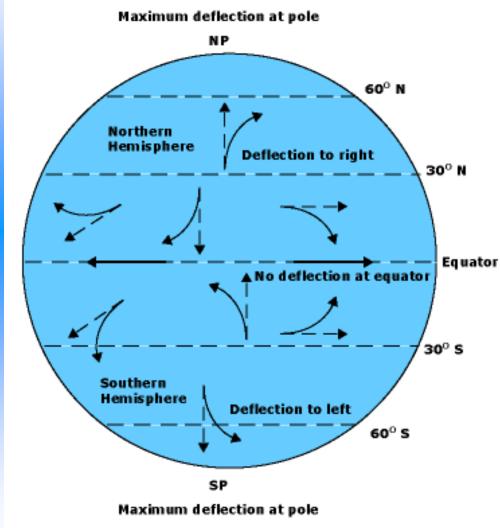
Eine Rotation kann durch eine Drehachse und die Winkelgeschwindigkeit um diese Achse beschrieben werden.

Für eine sich mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  bewegende Masse m lautet die wirkende Coriolis-Kraft:

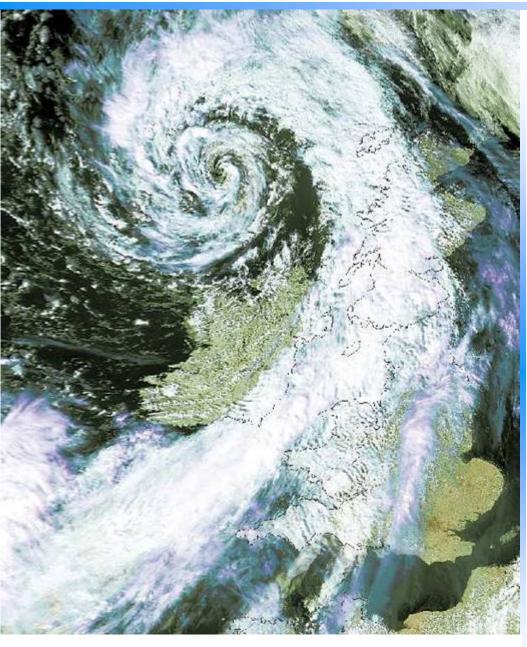
$$\vec{F}_C = -2m\,\vec{\omega} \times \vec{v}$$



Das bedeutet für die Ablenkung von bewegten Massen auf der Erde:







Tiefdruckgebiet über den britischen Inseln am 19.05.2002 um 13:08 Uhr

Weil
$$|\vec{\omega}| = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \text{ s}^{-1}$$

$$\approx 7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

sind sowohl die Coriolis-Kraft und insbesondere die Zentrifugalkraft (hier ist sogar  $F_{zf} = mr\omega^2$ ) auf der Erde recht klein.

Die Erde kann daher *näherungsweise* als Inertialsystem betrachtet werden.



Im Prinzip ist die Erde kein ideales rotierendes System mit  $\overrightarrow{\omega}$  = const., da auf sie noch weitere Kräfte einwirken:

⇒ Später: Kreiseltheorie