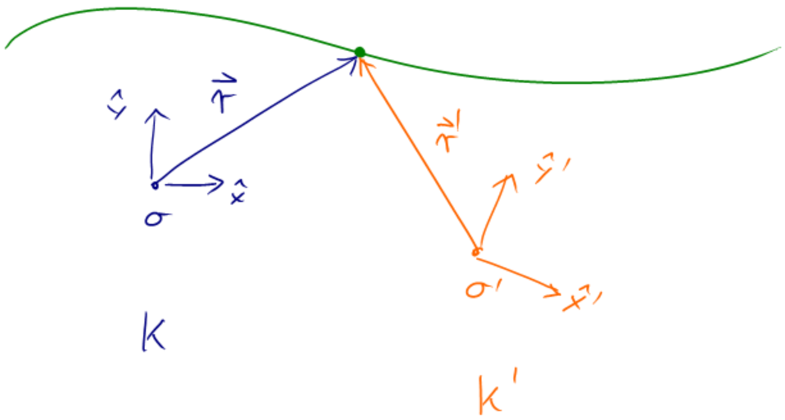
⚠ Vorsicht: Ortsvektor $\vec{r}$, Geschwindigkeit $\vec{v}$ und Beschleunigung $\vec{a}$ eines MPs beziehen sich immer auf ein gewähltes Koordinatensystem

$$K = \{ \sigma, (\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}) \} \equiv \text{Bezugssystem } K$$




Warum bewegen sich Körper so wie wir beobachten?

Newton: aufgrund der Wirkung von Kräften .... !
(1643 – 1727)

## Axiome der Newtonschen Mechanik (moderne Fassung)

(i) Inertialsystem

Ein Bezugssystem $K$ ist ein Inertialsystem g.d.w. sich ein freier* MP bzgl. $K$ geradlinig-gleichförmig bewegt.

*: frei ≡ ohne äußere Einflüsse

(ii) Bewegungsgesetz

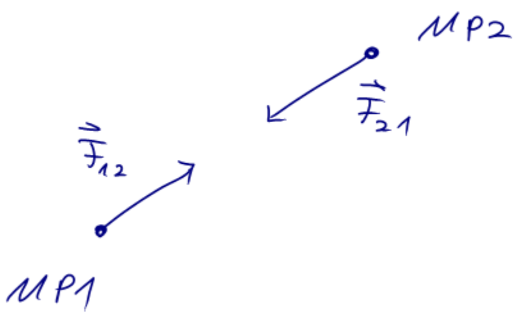
Der Impuls $\vec{p} = m\vec{v}$ eines MPs bzgl. eines Inertialsystems genügt

$$\boxed{\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}} ,$$

wobei $\vec{F}$ die Kraft auf den MP und $m$ seine (konstante) träge Masse ist.

(iii) Gegenwirkungsprinzip

Kräfte wirken jeweils zwischen zwei MPen; dabei ist Kraft $\vec{F}_{12}$ vom MP 2 auf MP 1 entgegengesetzt gleich der Kraft $\vec{F}_{21}$ von MP 1 auf MP 2:




$$\boxed{\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}}$$

zudem gilt:
- $\vec{F}_{12} \parallel \vec{r}_{12} \equiv \vec{r}_1 - \vec{r}_2$
- Kräfte addieren sich vektoriell

Anmerkungen:

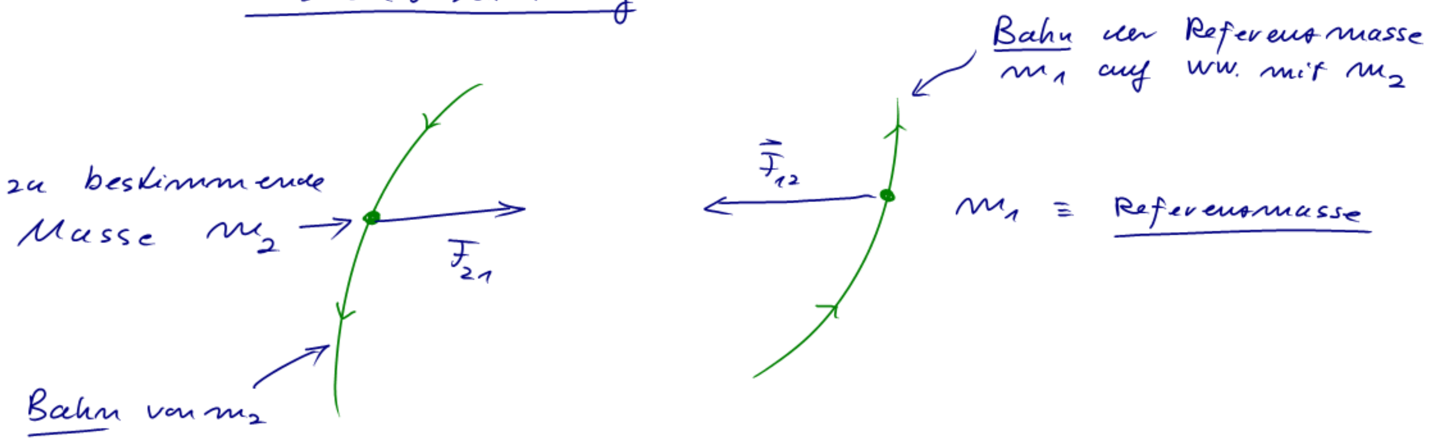
- nach (i) lässt sich "K ist Inertialsystem" experimentell testen

- Fixsternsystem ist in guter Näherung ein Inertialsystem

- da $m$ konstant ist $\frac{d\vec{p}}{dt} = m\dot{\vec{v}} = m\vec{a}$;
  Bewegungsgesetz $\dot{\vec{p}} = \vec{F}$ damit äquivalent zu

$$\boxed{m\vec{a} = \vec{F}}$$

- Axiome (ii) und (iii) ermöglichen dynamische Massenbestimmung:




anhand Bahnen von $m_1$ und $m_2$ können Beschleunigungen $\vec{a}_1$ bzw $\vec{a}_2$ von $m_1$ und $m_2$ direkt gemessen werden;

$$\left.\begin{array}{lll} \text{nach (ii):} & m_1\vec{a}_1 = \vec{F}_{12} \\ & m_2\vec{a}_2 = \vec{F}_{21} \\ \text{nach (iii):} & \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \end{array}\right\} \Rightarrow m_1\vec{a}_1 = -m_2\vec{a}_2$$

Referenzmasse

d.h. $$\boxed{m_2 \overset{!}{=} \frac{|\vec{a}_1|}{|\vec{a}_2|} m_1}$$

messbar!

Bestimmung von Kräften dann direkt mittels (ii):

$$\vec{F} \overset{!}{=} m\vec{a}$$

messbar!

messbar! (s.o.)

- Falls $\vec{F} = \vec{F}(\vec{r}, \dot{\vec{r}})$ ergibt Bewegungsgesetz $m\vec{a} = \vec{F}$ wegen $\vec{a} = \ddot{\vec{r}}$ eine <u>Bewegungsgleichung</u> für die Bahn $\vec{r}(t)$:

$$\boxed{m\ddot{\vec{r}}(t) = \vec{F}(\vec{r}(t), \dot{\vec{r}}(t))} \qquad (*)$$

3 dim. DGL 2. Ordnung, eindeutige Lösung z.B. für Anfangswertproblem $\vec{r}(0) = \vec{r}_0$ und $\dot{\vec{r}}(0) = \vec{v}_0$.

D.h. bei gegebenem <u>Startpunkt $\vec{r}_0$</u> und gegebener <u>Startgeschwindigkeit</u> $v_0$ ist die <u>Bahn</u> eines MPs durch Bewegungsgleichung $(*)$ <u>vollständig</u> bestimmt.