

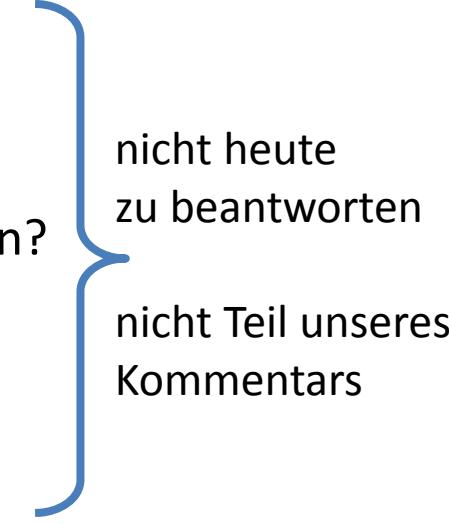
Impulsstrom

Achim Rosch, Institut für Theoretische Physik, Köln

zwei Fragen:

- Belegt das Gutachten wesentliche fachliche Fehler im KPK ?
- Gibt es im Gutachten selbst wesentliche fachliche Fehler ?

andere wichtige Fragen:

- Ist das Grundkonzept des KPK didaktisch sinnvoll?
 - Bietet der KPK didaktisch Vorteile?
 - Wie sind Probleme mit der „Anschlußfähigkeit“ zu bewerten?
 - War das Begutachtungsverfahren fair und folgte es best practice Regeln?
 -
- 
- Sollte das Gutachten in wesentlichen Teilen auf fachlichen Fehlern beruhen, muss es dann zurückgezogen werden?

Impulsstrom

*„Es gibt diesen Strom in der Natur nicht.
Damit hat der KPK-Impulsstrom auch
keinen Platz im Gebäude der Physik und
ganz gewiss auch nicht im
Physikunterricht.“*

Gutachten

Impulsstrom

$$\partial_t \rho^\alpha + \nabla_i j_i^\alpha = 0$$

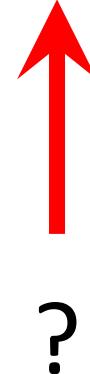
lokale Impulserhaltung: **Impulsänderungen nur durch Impulsstrom möglich**

Beispiel: zwei sich abstoßende Körper (actio = reactio)

$$\frac{d}{dt} P_x < 0$$



$$\frac{d}{dt} P_x > 0$$

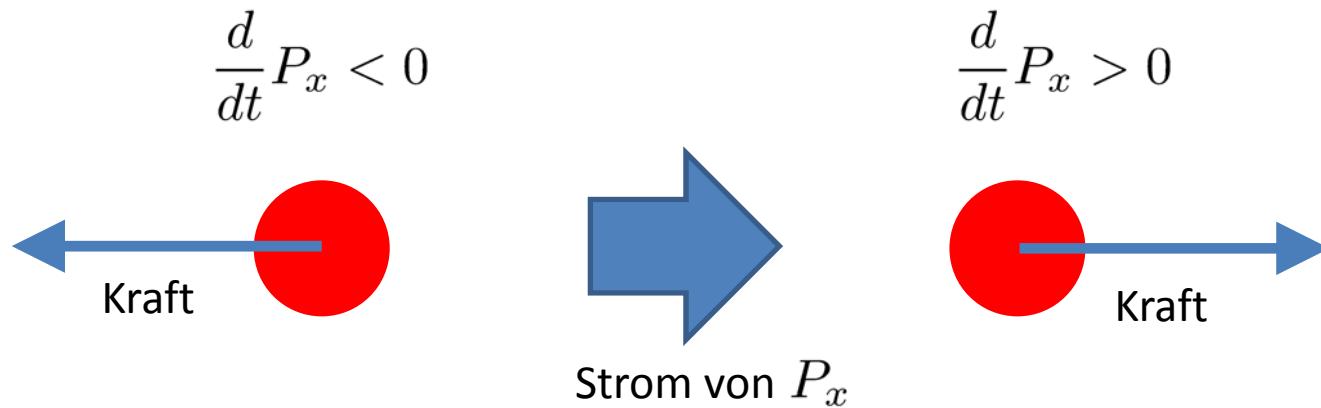


Impulsstrom

$$\partial_t \rho^\alpha + \nabla_i j_i^\alpha = 0$$

lokale Impulserhaltung: **Impulsänderungen nur durch Impulsstrom möglich**

Beispiel: zwei sich abstoßende Körper (actio = reactio)



Welche Größe fließt?

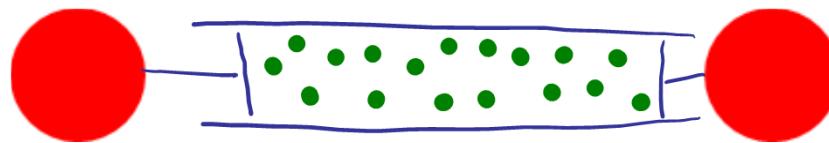
hier: **Impuls in x-Richtung**

Dies legt Richtung und Größe des Impulsstroms eindeutig fest!

Beispiel 1: Strom von P_x durch ideales Gas

Zylinder der Länge L mit Querschnittsfläche A, gefüllt mit idealem Gas mit Druck p
zur Vereinfachung: unendlich schwere rote Kugeln (keine makroskop. Bewegung)

$$\frac{d}{dt}P_x < 0 \quad \frac{d}{dt}P_x > 0$$

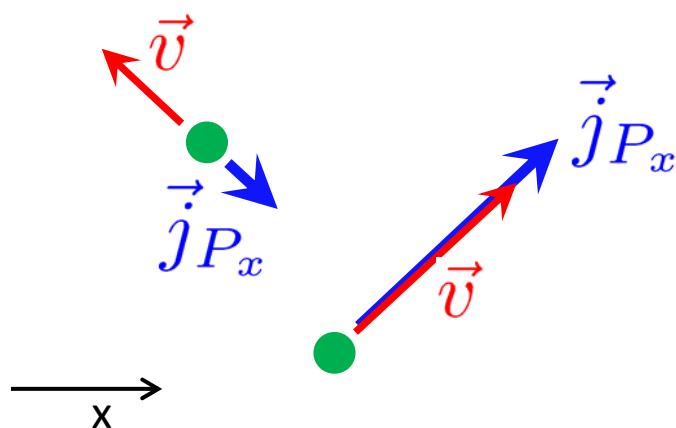


Beitrag **eines** Gasatom
zum Strom von P_x :

$$\vec{j}_{P_x} = \vec{v} p^x$$

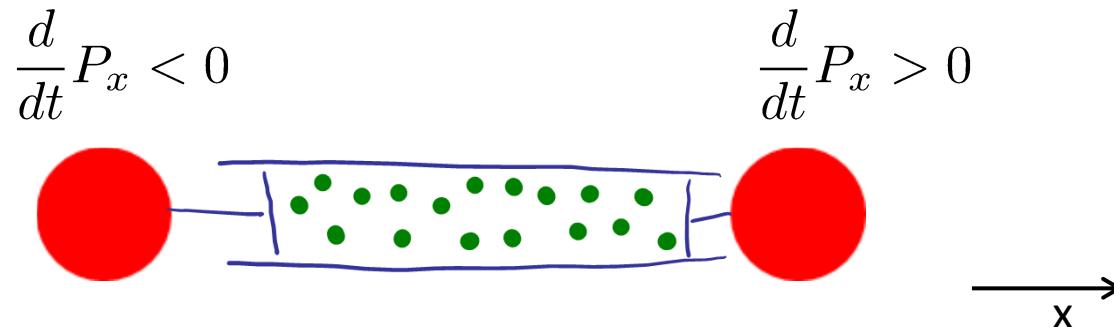
Geschwindigkeit
des Gasatoms

strömende
Größe



Beispiel 1: Strom von P_x durch ideales Gas

Zylinder der Länge L mit Querschnittsfläche A, gefüllt mit idealem Gas mit Druck p
zur Vereinfachung: unendlich schwere rote Kugeln (keine makroskop. Bewegung)



alle Gasatome:

$$\vec{J}_{P_x} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^N \frac{\vec{p}_i}{m} p_i^x \stackrel{\text{=} \left\langle \frac{p_x^2}{2m} \right\rangle = \frac{1}{2} k_B T}{=} \frac{N}{L} \begin{pmatrix} k_B T \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \stackrel{pV = Nk_B T}{=} pA \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Geschwindigkeit der Gasatome strömende Größe Kraft = Druck x Fläche

→ Impulsstrom nach rechts, ohne jede Materieströmung
Richtung durch Definition der strömenden Größe festgelegt

Wie definiert man Stromdichten im Allgemeinen ?

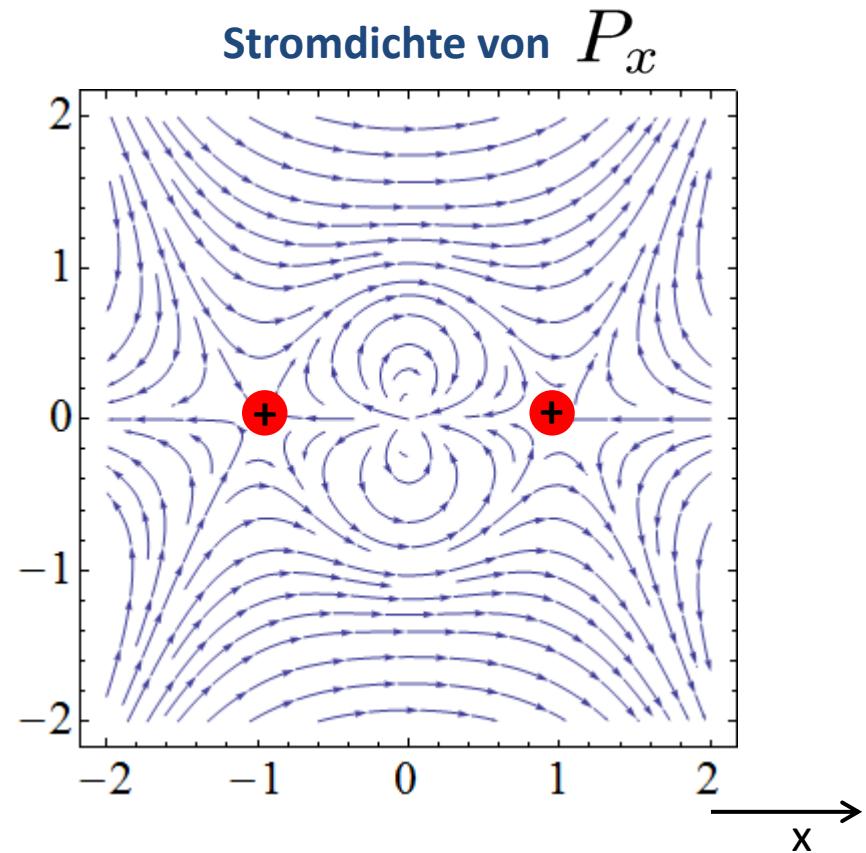
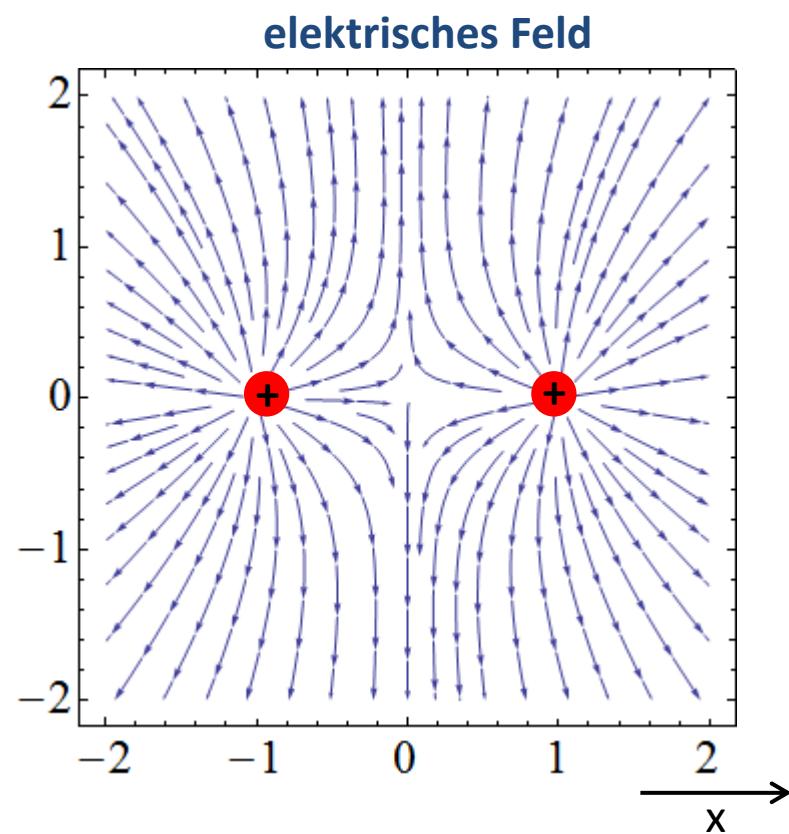
- bestimme erhaltene „Ladungsdichte“ ρ^α
Energiedichte, Massedichte, Spindichte, Impulsdichte ...
- Definition des Impulses: Erzeuger von Translationen im Raum (Noether)
d.h. $\sum_i m_i v_i$ für Massepunkte oder z.B. $\int E \times B \hat{=} \text{Photonenimpuls}$
- bestimme Stromdichten aus $\partial_t \rho^\alpha + \nabla_i j_i^\alpha = 0$

jede Art von Kraft (d.h. Änderung des Impulses)
trägt zur Impulsstromdichte bei

beachte:

- oft: Ströme ohne Materieströmung
Beispiel: Wärmestrom durch Isolator
- Theorie mit nicht-lokale Kräfte \rightarrow Impuls- und Energieströme nicht lokal
kein konzeptionelles Problem, aber lokale Formulierung anschaulicher
beschreibe z.B. langreichweitige Coulombkräfte besser mit lokaler Kopplung an E-Feld

Beispiel 2: zwei geladene Kugeln (statisch)

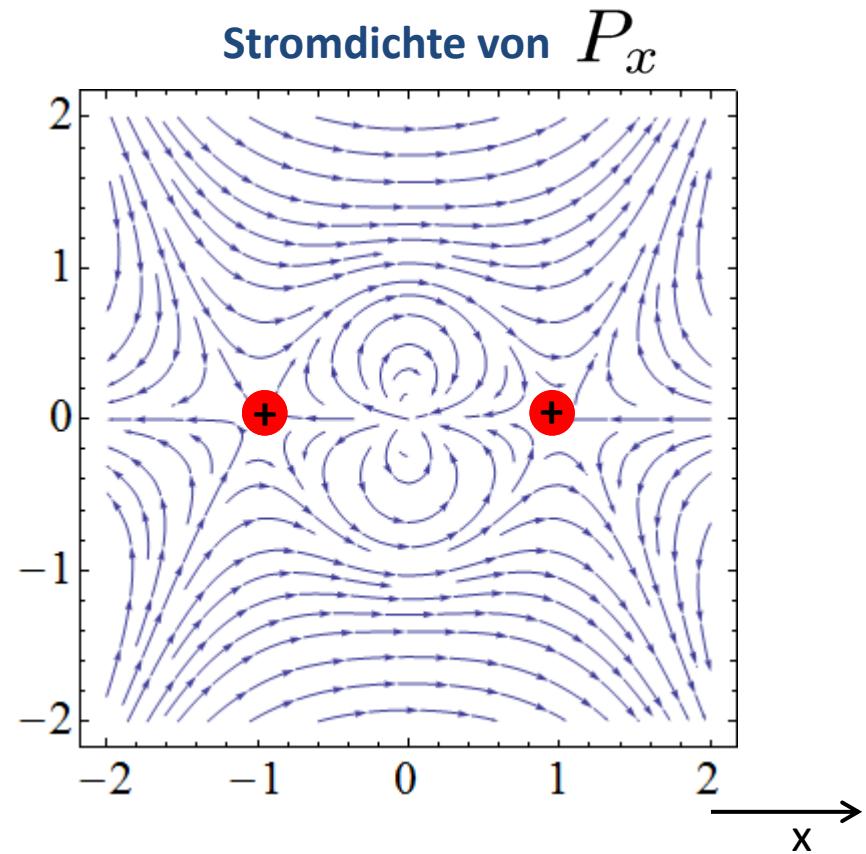
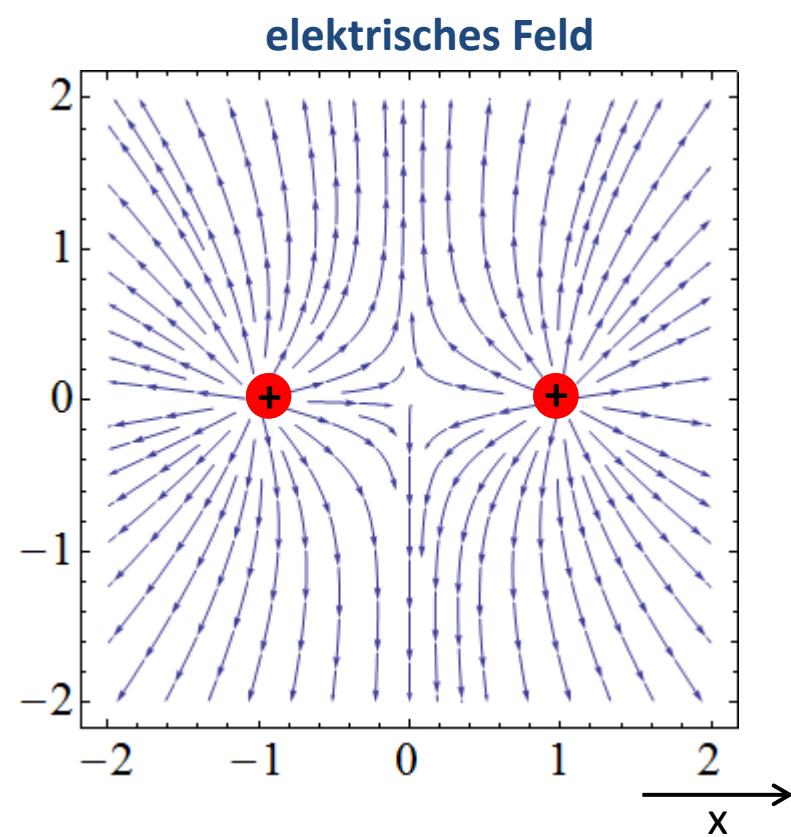


Spannungstensor des elektrischen Feldes:

$$\sigma_{ij} = \epsilon_0 \left(E_i E_j - \frac{1}{2} \delta_{ij} \vec{E}^2 \right)$$

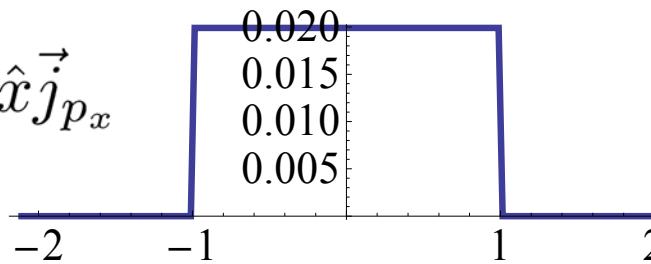
Stromdichte von P_x : $\vec{j}_{p_x} = -\sigma \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{21} \\ \sigma_{31} \end{pmatrix} = \frac{\epsilon_0}{2} \begin{pmatrix} E_y^2 + E_z^2 - E_x^2 \\ -2E_y E_x \\ -2E_z E_x \end{pmatrix}$

Beispiel 2: zwei geladene Kugeln (statisch)



Impulsstrom durch Ebene mit
Normale \hat{x}

$$\int dy dz \hat{x} \vec{j}_{p_x}$$



Das elektrische Feld trägt Impulsstrom zwischen den beiden Kugeln

These 1: Impulsstromdichten und Impulsströme existieren und haben einen wichtigen Platz im Gebäude der Physik.

allgemeine Relativitätstheorie:

Energie-Impulstensor ist Quelle der Raumkrümmung

$$(T^{\alpha\beta}) = \begin{pmatrix} w & \frac{S_x}{c} & \frac{S_y}{c} & \frac{S_z}{c} \\ \frac{S_x}{c} & G_{xx} & G_{xy} & G_{xz} \\ \frac{S_y}{c} & G_{yx} & G_{yy} & G_{yz} \\ \frac{S_z}{c} & G_{zx} & G_{zy} & G_{zz} \end{pmatrix}$$

w = Energiedichte, S_i = Energiestromdichtevektor, G_{ij} = Impulsstromdichte-Tensor

Hydrodynamik: z.B. Navier-Stokes Gleichungen

basieren auf Kontinuitätsgleichung für Energie, Teilchenzahl, Impuls

$$\partial_t \rho^\alpha + \nabla_i j_i^\alpha = 0$$

Energie+Impulserhaltung $\partial_\mu T^{\mu\nu} = 0$

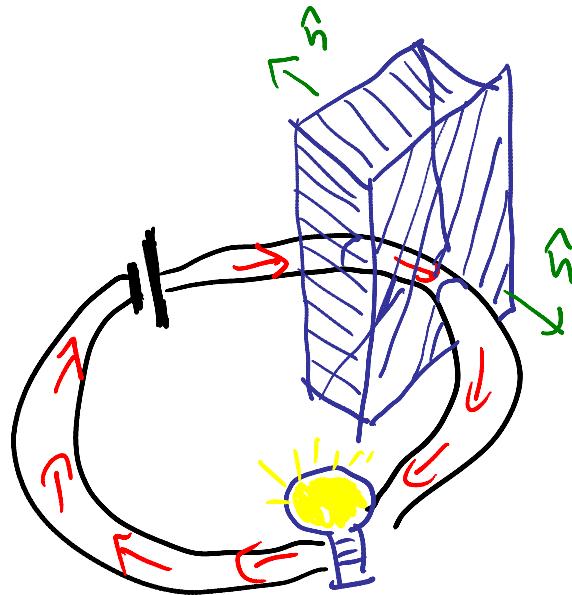
These 2: Ströme berechnet man aus Stromdichten durch Integration über offene Flächen.

Ergänzende Bemerkungen Teil 1: „Der korrekte Impulsstrom entsteht durch Integration über geschlossene Oberflächen. Stattdessen integriert der KPK über beliebige, insbesondere auch offene Flächen. Deswegen erfüllt der KPK-Impulsstrom im Allgemeinen die Impulserhaltung nicht und täuscht insbesondere in statischen Situationen Impulsströme vor, in denen kein physikalischer Impuls fließt.“

Ergänzende Bemerkungen Teil 2: „Eine Auffassung des Impulses als Kennzeichen bewegter Materie führt zwingend zu geschlossenen Flächenintegralen über Tensoren der Impulsstromdichte bzw. Spannungstensoren.“

„Im Fall der statisch eingespannten Feder lässt sich mit völlig gleichwertigen Argumenten behaupten, der „Impulsstrom“ fließe durch Feder und Joch in eine Richtung, die der vom KPK behaupteten entgegengesetzt ist. Dazu muss nur die zur Integration gewählte Fläche entgegengesetzt orientiert werden.“

These 2: Ströme berechnet man aus Stromdichten durch Integration über offene Flächen.

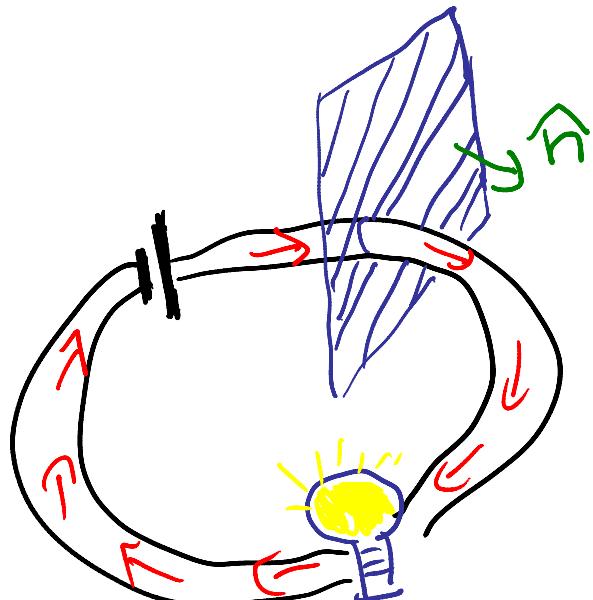


Beispiel: stationärer elektrischer Strom fließt durch Stromkreis
gegeben: Stromdichte $\vec{j}(\vec{r})$
gesucht: Gesamtstrom durch Draht

$$\oint_{\partial V} \vec{j} d\vec{A} = \int_V \partial_t \rho = 0$$

stationär: Integral über alle **geschlossene** Flächen verschwindet
Strom hinein = Strom hinaus
trotzdem fließt ein Strom !

These 2: Ströme berechnet man aus Stromdichten durch Integration über offene Flächen.



Beispiel: stationärer elektrischer Strom fließt durch Stromkreis

gegeben: Stromdichte $\vec{j}(\vec{r})$

gesucht: Gesamtstrom durch Draht

Gesamtstrom definiert als Strom durch Fläche (offen!!) in Richtung der Flächennormalen $\hat{n} \parallel d\vec{A}$:

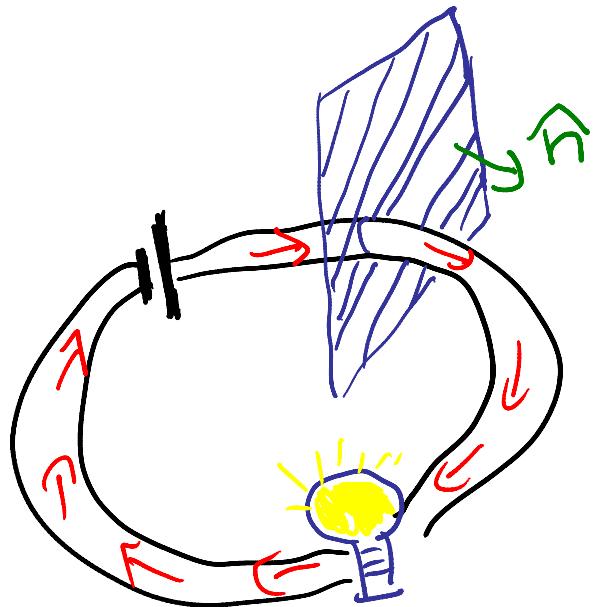
$$I = \int \vec{j} d\vec{A}$$

Vorzeichen von I hängt von Richtung von \hat{n} ab, notwendig da **Strom von links nach rechts = - Strom von rechts nach links**

physikalische Stromrichtung offenbar unabhängig von Wahl von \hat{n}

gerichteter Strom durch Fläche: $\vec{I} = I \hat{n}$ **unabhängig** vom Vorzeichen von \hat{n}

These 2: Ströme berechnet man aus Stromdichten durch Integration über offene Flächen.



Beispiel zeigt:

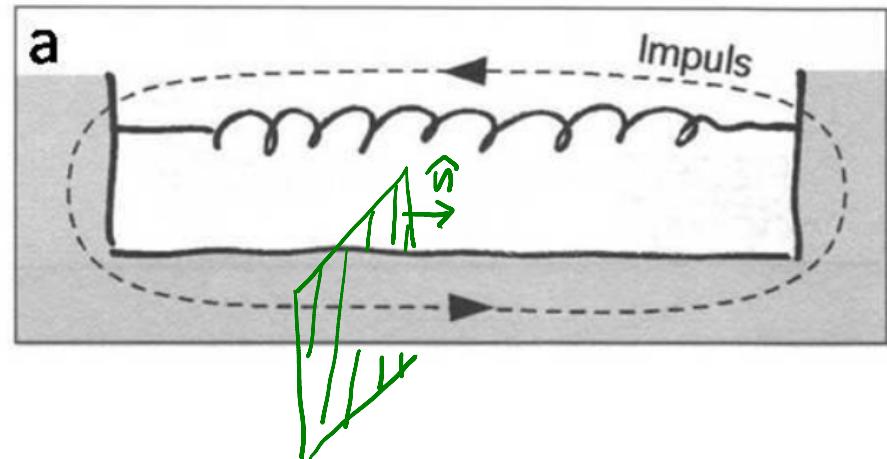
1. Gesamtstrom erhält man nur durch Integration über offene Fläche
2. Stromrichtung ist unabhängig von der Wahl der Flächennormalen.

exakt die gleichen Definitionen und Eigenschaften gelten auch für Impulsströme

These 2: Ströme berechnet man aus Stromdichten durch Integration über offene Flächen.

selbe Definition für Impulsströme

Impulsströme bei **mechanischen Spannungen**:



Spannungstensor: σ Impulsstromtensor: $-\sigma$

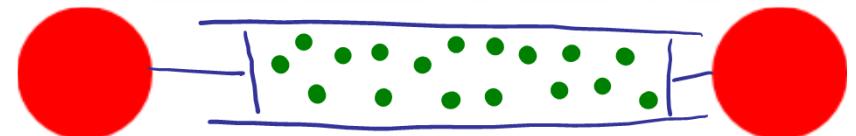
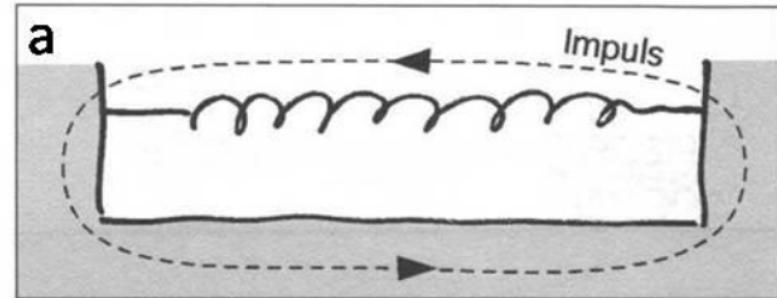
Stromdichte von P_j in Richtung i mit $i, j = x, y, z$: $-\sigma_{ij}$

Stromdichte der Impulskomponente $\vec{P}\hat{a} : \vec{j} = -\sigma\hat{a}$
(im Beispiel: $\hat{a} = (1, 0, 0)$)

Strom von $\vec{P}\hat{a}$ durch Fläche in Richtung \hat{n} : $I = \int \vec{j} d\vec{A}$

physikalische Stromrichtung offenbar unabhängig von Wahl von \hat{n}
(gerichteter Strom: $\vec{I} = I \hat{n}$)

These 3: Es gibt spiegelsymmetrische, statische Situationen, in denen Impulströme fließen. Dies ist insbesondere in einer gespannten Feder der Fall.



Argument des Gutachtens:

Aus Symmetriegründen (Spiegelsymmetrie, Rotationssymmetrie) muss der Impulsstrom verschwinden (keine Richtung ausgezeichnet).

Fehler im Argument:

$$\text{Spiegelung } x \rightarrow -x \rightarrow p_x \rightarrow -p_x \rightarrow \vec{J}_{p_x} = \begin{pmatrix} J_{p_x}^x \\ J_{p_x}^y \\ J_{p_x}^z \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} J_{p_x}^x \\ -J_{p_x}^y \\ -J_{p_x}^z \end{pmatrix}$$

(äquivalent: 11-Komponente des Tensors invariant unter $x \rightarrow -x$)

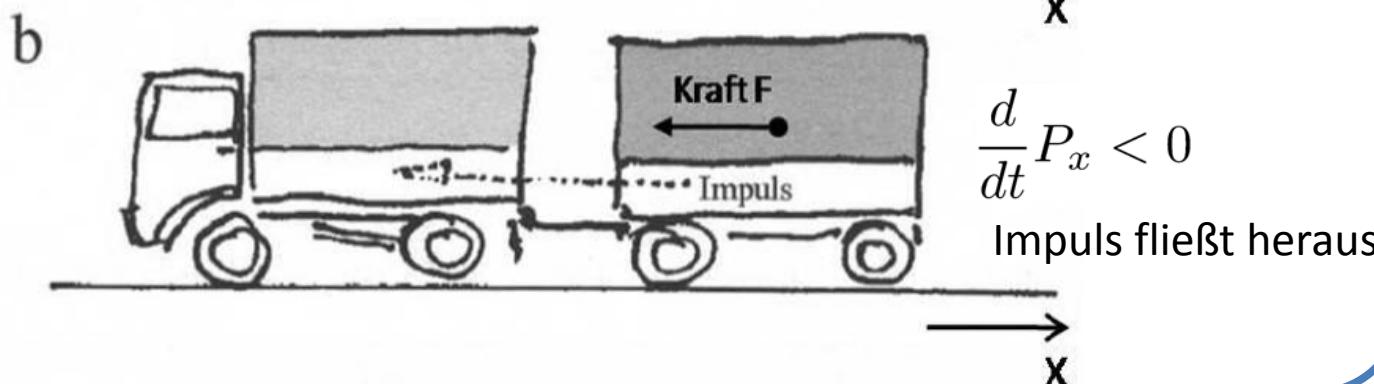
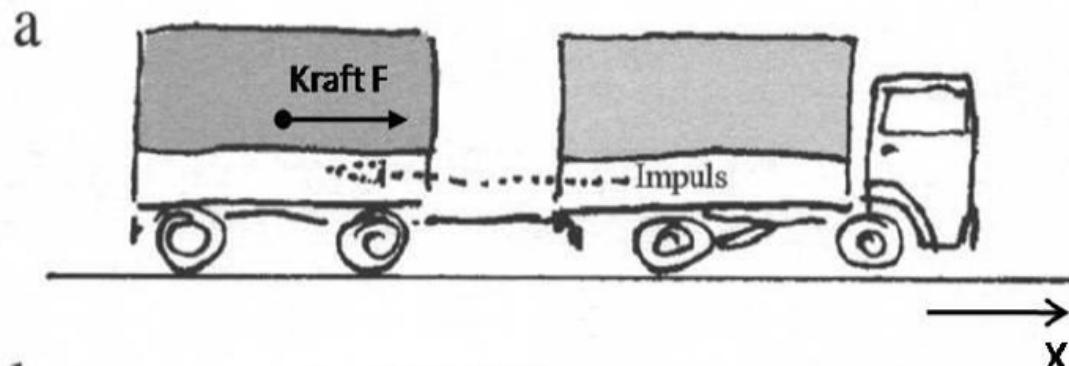
→ Strom von P_x in x-Richtung erlaubt !

Warum ist eine Richtung ausgezeichnet ?

Weil der Strom von P_x (statt von $-P_x$) untersucht wird.

These 4: In allen im Gutachten diskutierten Fällen gibt der KPK korrekt die Richtung des Stromes der x-Komponente des Impulses wieder. Insbesondere sind Impulsstrom und „KPK-Impulsstrom“ gleich zu setzen und auch die Richtung des Stromes dieser Impulskomponente ist eindeutig festgelegt

$$\frac{d}{dt} P_x > 0 \quad \text{Impuls fließt in den Anhänger}$$

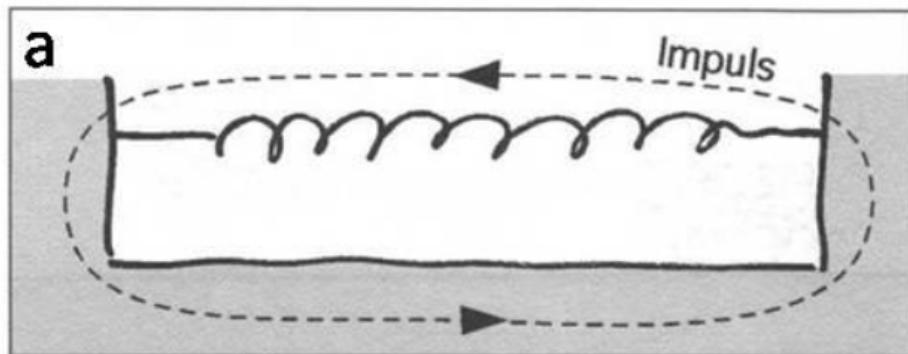


$$\frac{d}{dt} P_x < 0$$

Impuls fließt heraus

In beiden Fällen:
Zugspannung
in Deichsel,
Impulsstrom muss
daher in selbe
Richtung zeigen

These 4: In allen im Gutachten diskutierten Fällen gibt der KPK korrekt die Richtung des Stromes der x-Komponente des Impulses wieder. Insbesondere sind Impulsstrom und „KPK-Impulsstrom“ gleich zu setzen und auch die Richtung des Stromes dieser Impulskomponente ist eindeutig festgelegt



Scherspannungen in Seitenwänden!

bemerkenswert:
dissipationsfreie Ringströme

warum:
Translationssymmetrie in
Festkörpern spontan gebrochen

→ dissipationsfreie Impuls-
superströme möglich

(analog zu Strömen in Supraleitern)

These 5: Das Gutachten beruht daher in einem wesentlichen Teil auf fachlich falschen Voraussetzungen und kommt zu fachlich falschen Schlussfolgerungen.

Fehler im Gutachten

- technisch falsches Symmetrieargument
(ignoriert Symmetrieeigenschaften des Impulsstromtensors)
- Berechnung von Strömen durch Integration über geschlossene Flächen
(damit auch elektrische stationäre Ströme durch Gutachten „verboten“)
- Schlussfolgerung, dass Impulsströme z.B. in stationären
Situationen nicht existieren und Impulserhaltung verletzen
- ...

Impulsstrom

*„Es gibt diesen Strom in der Natur nicht.
Damit hat der KPK-Impulsstrom auch
keinen Platz im Gebäude der Physik und
ganz gewiss auch nicht im
Physikunterricht.“*

Gutachten

Thesen zum Impulsstrom

- 1) Impulsstromdichten und Impulsströme existieren und haben einen wichtigen Platz im Gebäude der Physik.
- 2) Ströme berechnet man aus Stromdichten durch Integration über offene Flächen.
- 3) Es gibt spiegelsymmetrische, statische Situationen, in denen Impulsströme fließen. Dies ist insbesondere in einer gespannten Feder der Fall.
- 4) In allen im Gutachten diskutierten Fällen gibt der KPK korrekt die Richtung des Stromes der x-Komponente des Impulses wieder. Insbesondere sind Impulsstrom und „KPK-Impulsstrom“ gleich zu setzen und auch die Richtung des Stromes dieser Impulskomponente ist eindeutig festgelegt
- 5) Das Gutachten beruht daher in einem wesentlichen Teil auf fachlich falschen Voraussetzungen und kommt zu fachlich falschen Schlussfolgerungen.

Schlussfolgerung: Das Gutachten sollte – idealerweise von den Gutachtern selbst – zurückgezogen werden.