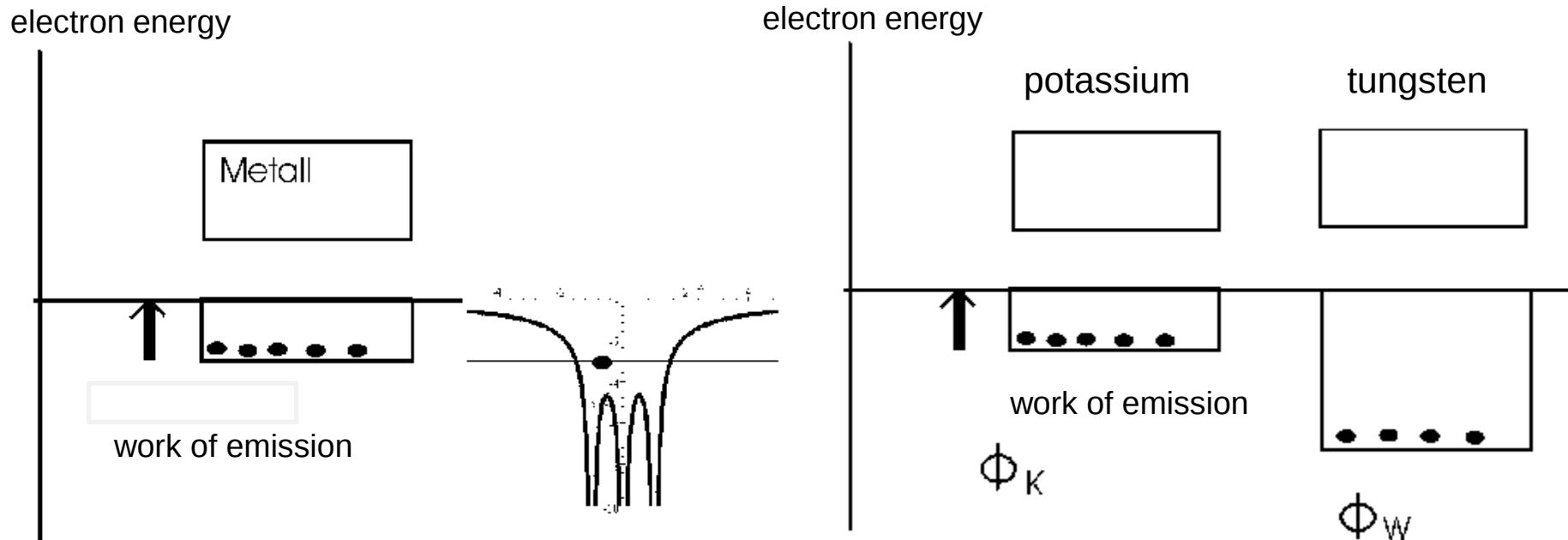


## 7.4. Work of emission, contact voltage and thermo voltage

contact voltage, work of emission, EX: contact voltage

different metals with  
different work of emission



electron energy



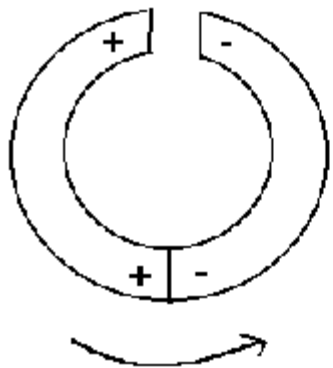
electric field

work of emission

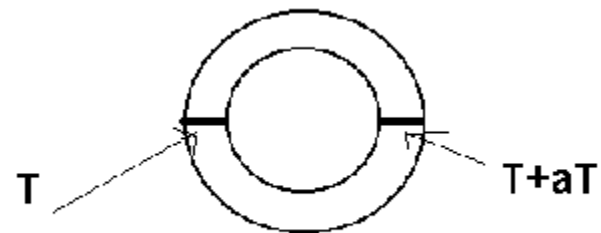
$\Phi_K$

Elektrisches Feld

compensation of  
upper energy level



contact voltage

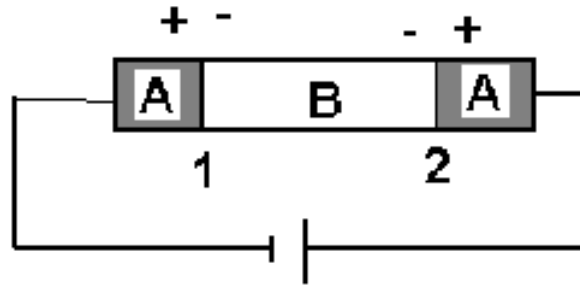


Flow of current → Thermo current

Thermo voltages  
vary from metal to metal

Fe-constantan: 53 Microvolt/Grad

## Peltier-Effect:



Metal A:  $\Phi_A$

Metal B:  $\Phi_B$

$$\Phi_A < \Phi_B$$

Where one gets a higher or lower temperature?

Cold 1 , 2 warm

## 8. The magnetic field

Bar magnet: Force, though electric neutral

In analogy with the el. field:  $\vec{B}$  – field **Magnetfeld**

EXP: Deflection wire in B-field       $v$  : velocity  
of a charge  $q$

$v=0$  No deflection

$v \neq 0 \rightarrow$  force

The observations can be summarized:

$$\vec{K} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \text{Lorentz-force} \quad [B] = \frac{N \cdot s}{m \cdot C} : T : \text{Tesla or 1 Tesla}$$

$$\vec{v} \perp \vec{B} \Rightarrow \quad \simeq 10^4 \text{ Gauss}$$

The kinetic energy remains unchanged by flying through magnetic fields!

At high energies a new discussion is necessary!

Kraft auf einen stromdurchflossenen Draht in einem  
homogenen Magnetfeld

$$I = \frac{dq}{dt}; I = A \cdot n \cdot q \cdot v = A \cdot j \quad j = \text{current density}$$

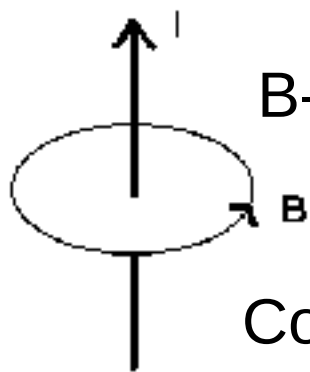
$$\vec{K} = \underbrace{q(\vec{v} \times \vec{B})}_{\text{„one“ charge}} \cdot \underbrace{L \cdot A \cdot n}_{\text{number of charges}}; *$$

„one“ charge      number of charges

EXP: Current in a wire, chips

a) Compass needle adjusts tangential towards concentric circles around conductor

b) Iron filings form concentric rings



Line integral:

B-field:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = k \cdot I; k \text{ Proportional constant}$$

Concentric circle around conductor:

(r: Radius of circle)

$$B = B(r) = k \cdot \frac{I}{2\pi r}$$

EXP: Lorentz force between current flowing through conductor

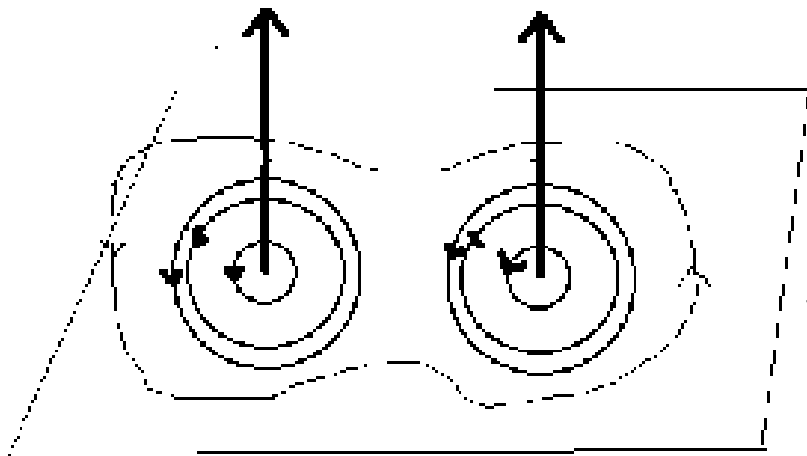
$$\text{For } k = \mu_0; [\mu_0] = \frac{T \cdot m}{I}$$

# EXP: Lorentz force between currents in conductors

## Forces between two currents

In wires:  $I_1 = I_2 = I$

from\* :  $K = L \cdot I \cdot B \Rightarrow K = L \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I^2}{r}$



Parallel: Attraction

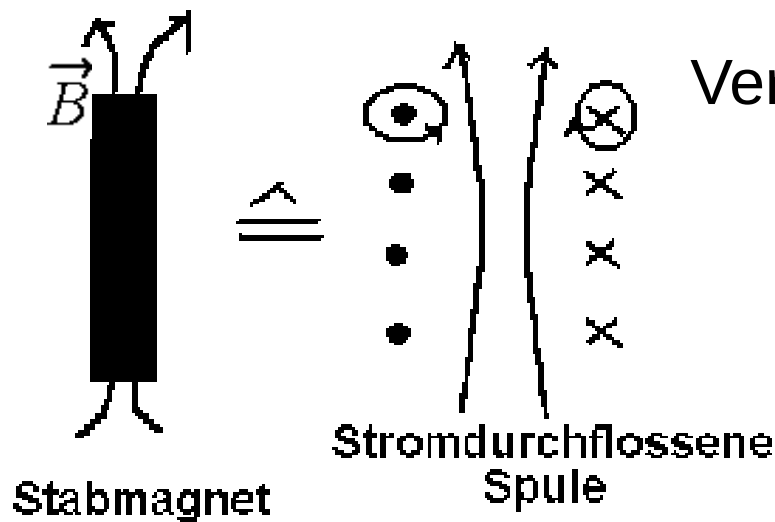
Antiparallel: Repulsion

With the vectors  $\vec{B}$  can be described:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{(\vec{I} \times \vec{r})}{r^2};$$

Magnetic fields are source free  
vortex fields

So far no magnetic poles found!

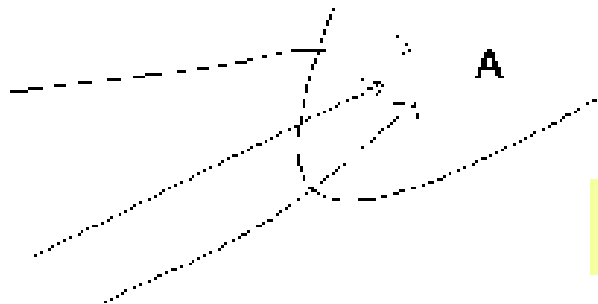


Vermutung: Auch im Stabmagneten wird  $\vec{B}$

hervorgerufen durch Kreisströme!

## 8.2. Das Gesetz von Ampère

Magnetischer Fluss:



$$\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A};$$

$$[\Phi] = \text{Weber, } Wb; 1Wb = 1T \cdot m^2$$

Magnetfelder sind quellenfrei, d.h.

Integral über eine geschlossene Fläche

$$\oint_A \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

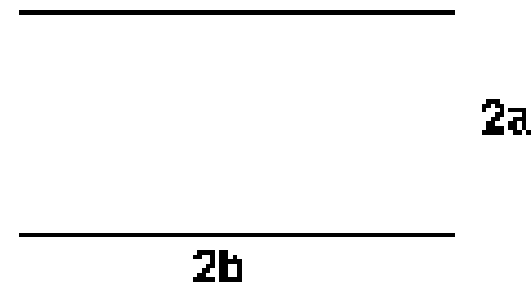
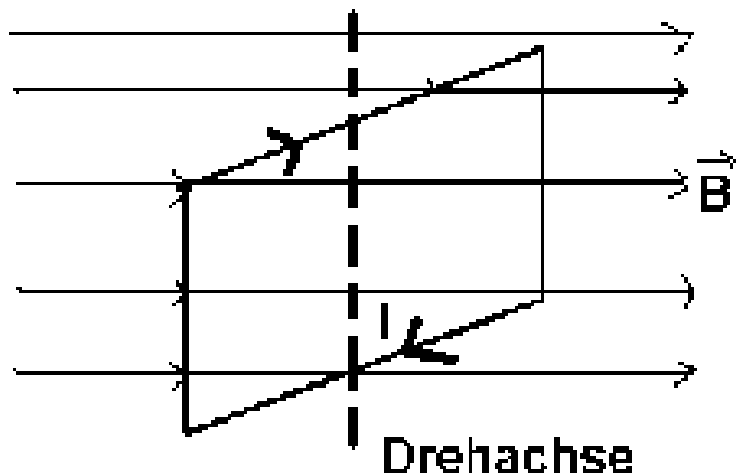
Linienintegral:  $\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I; I = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I; I = \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

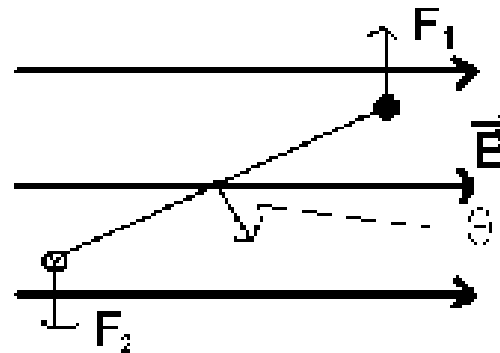
oder mit Hilfe des  
Stokeschen Satzes:

$$\mu_0 \int_A \vec{j} \cdot d\vec{A} = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint (\vec{\nabla} \times \vec{B}) d\vec{A} \Rightarrow \boxed{\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{j}}$$

### 8.3. Stromschleife



Von der Seite:



$F_1, F_2$  : Kräfte im Abstand  $b$  von der Drehachse

Drehmoment  $\vec{T}$  mit  $F_1 = F_2$   $T = 2 \cdot \underbrace{F_1}_{2 \cdot a \cdot I \cdot B} \cdot b \cdot \sin\theta$

$$T = 4ab \cdot I \cdot B \cdot \sin\theta = A \cdot I \cdot B \cdot \sin\theta$$

A: Fläche der Stromschleife

oder  $\vec{T} = I \cdot \vec{A} \times \vec{B}$ ;  $I \cdot \vec{A} = \vec{\mu}$  magnetisches Moment

Analogon:  $\vec{T} = \vec{p} \times \vec{E}$  beim elektrischen Dipol

Magnetisches Moment der Erde:  $|\vec{\mu}| = 10^{26} A \cdot m^2$

das entspricht einem Kreisstrom von  $\simeq 10^{12} A$  am Äquator

## 8.4. Der relativistische Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern

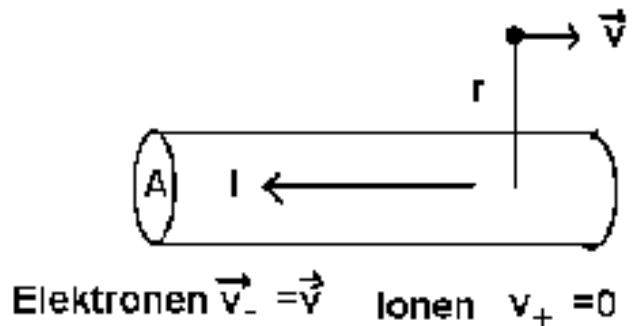
Kraft zwischen 2 Ladungen  $K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

Kraft zwischen 2 Drähten der Länge L  $K = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I^2 \cdot L}{r}$

Bisher: Beide Kräfte unabhängig

Empirisch:  $\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}} = c = 2.9979 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ ; Lichtgeschwindigkeit

Beispiel: Stromdurchflussener Draht mit Probeladung



System S: Draht in Ruhe ,  
q bewegt sich mit v nach rechts

Ann.:  $e^-$  im Draht bewegen sich  
mit v rechts

$$I = \rho_- \cdot A \cdot v_-; \rho_- = n \cdot q$$

Um den Draht entsteht :  $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$

⇒ " abstoßende" Lorentzkraft , da entgegengesetzte Ströme

$$c^2 = \frac{1}{\mu_0 \cdot \epsilon_0}; K = q \cdot B \cdot v = q \cdot \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi r} \cdot v = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot \rho_- \cdot A}{r} \cdot \frac{v^2}{c^2}$$

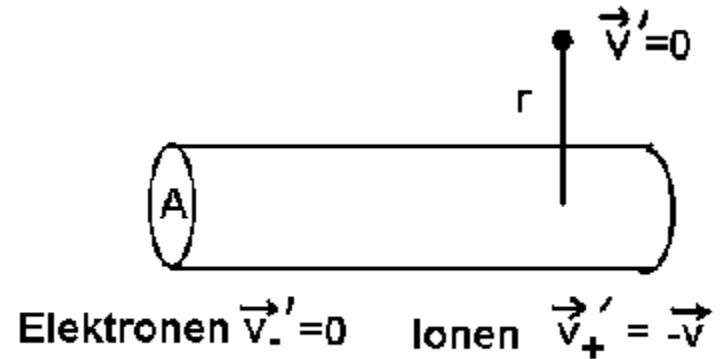
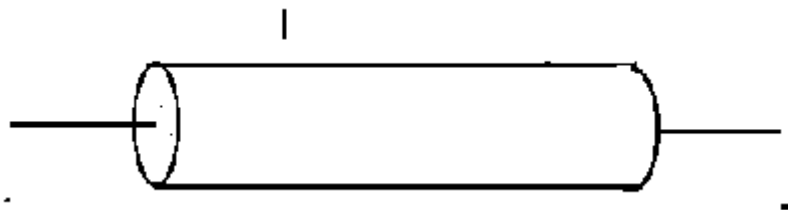
Bezugssystem S': Ladung q in Ruhe

Keine magnetischen Kräfte!

$$(\vec{v}' = 0)$$

Elektrische Kräfte?

*Zwischenrechnung*



"langer" Draht  $E \perp$

auf dem Zylinder

Gaußscher Satz:

$$\underbrace{\int \vec{E} \cdot d\vec{A}}_{\text{Zylinderwand}} + \underbrace{\int \vec{E} \cdot d\vec{A}}_{\text{2 Kreisflächen}} = \frac{l \cdot \lambda}{\epsilon_0}, \lambda :$$

Zylinderwand + 2 Kreisflächen

Ladung/Länge

$$E \cdot 2\pi \cdot r \cdot l + 0$$

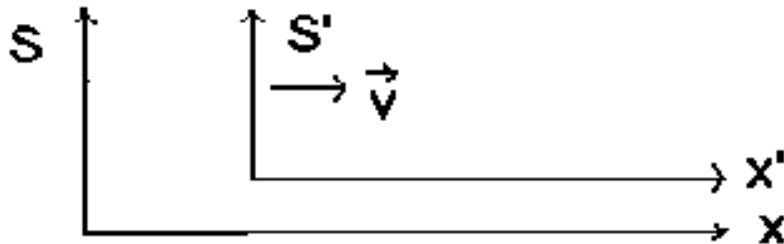
$$\Rightarrow E = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0}$$

In S:  $\rho_+ + \rho_- = 0$   $n_+ = n_-$  : elektrisch neutral

In S': Eine im System S ruhende Drahtlänge

$$L \text{ in } S' \quad L' = L \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

(in Richtung v bewegt) v: Relativgeschwindigkeit zwischen  
 $S \leftrightarrow S'$



Keine Änderung der Querschnittsfläche und Q  $Q = \rho \cdot L \cdot A$   
oder  $\rho = \frac{Q}{L \cdot A}$  für die Ladungsdichten

$$\text{allgemein: } \rho^{(\text{bewegt})} = \frac{\rho_0^{\text{Ruhe}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} *$$

In S

$$\rho = \rho_+ + \rho_- = 0; *$$

Draht stationär  
und neutral

In S'

$$\text{allgem } \rho'_+ = \frac{\rho_+}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \rho_+ \cdot \gamma$$

allgemeine Bez.  $S \Leftrightarrow S'$

$\Rightarrow$  Ladungsdichte des Drahtes:

$$\rho'_- = \frac{\rho_-}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \rho_- \cdot \gamma$$

Hier aufpassen:  $\rho_- = \rho_-^{\text{bewegt}}$

$$\rho'_+ = \rho_+^{\text{bewegt}} \quad * \rho' = \rho'_+ + \rho'_- = \rho_+ \left( \gamma - \frac{1}{\gamma} \right) = \rho_+ \left( \frac{\gamma^2 - 1}{\gamma} \right) = \rho_+ \left( \frac{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - 1}{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}} \right)$$

$$\rho' \text{ führt zu } E' = \frac{\rho' \cdot A}{2\pi\epsilon_0 \cdot r}; \Rightarrow K' = q \cdot E'$$

$$\text{Abstoßung!} \quad = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot \rho_+ \cdot A \cdot v^2}{r \cdot c^2 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow$$

$$= \rho_+ \left( \frac{\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} - 1}{\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}} \right)$$

Vergleich: bis auf den Faktor  $\cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

gleich der Lorentzkraft  
in S d.h.: für

$\frac{v}{c} \ll 1 \Rightarrow$  Gleichheit

Nach der Wirkung einer Kraft  $F \Rightarrow$  Transversaler Impuls

$$\Delta p_y = F \cdot \Delta t \quad \text{in } S \quad \Delta p'_y = F \cdot \Delta t' \quad \text{in } S'$$

Beide Ausdrücke gleich, wenn  $\Delta t' = \Delta t \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

Kraft in S "rein" magnetisch  
Kraft in S' "rein" elektrisch

Schluss:

Elektrische und magnetische Kräfte sind Wirkungen  
ein und desselben Phänomens

Quantitative Übereinstimmung, wenn

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, z' = z$$

Längenkontraktion

$$y' = y, t' = \frac{t - x \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Zeitdilatation

Voraussetzung: 2 Postulate

1. Die Gesetze der Physik sind gleich in allen Systemen

2. In jedem gegebenen Inertialssystem ist die Lichtgeschwindigkeit die gleiche, ob das Licht von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert wird