

# Elektrik

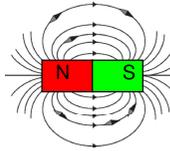
## Magnetisches Feld

In der Umgebung eines Dauermagneten oder eines stromdurchflossenen Leiters existiert ein magnetisches Feld.

- es wirken Kräfte auf: ferromagnetische Stoffe, andere Magnete und stromdurchflossene Leiter
- Modell: Feldlinienbilder mit folgenden Eigenschaften:  
Feldlinien verlaufen vom Nord- zum Südpol, sie sind nicht unterbrochen und sie kreuzen sich nie. Magnetnadeln richten sich in Richtung der Feldlinien aus.

### Ausschnitte von Feldlinienbildern:

#### Magnetfeld eines Stabmagneten:



#### Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters

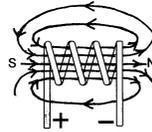
##### Rechte-Hand-Regel

Zeigt der Daumen in die technische Stromrichtung, geben die gekrümmten Finger der rechten Hand die Richtung der kreisförmigen Magnetfeldlinien um den Leiter an.



#### Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule

Mit zunehmender Windungszahl und zunehmender Stromstärke nimmt die Stärke des Magnetfeldes der Spule zu.

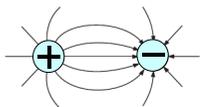


## Elektrisches Feld

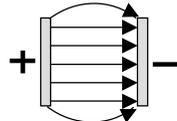
In der Umgebung elektrisch geladener Körper wirkt ein elektrisches Feld:

- es wirken Kräfte auf elektrisch geladene Körper.
- Modell: Feldlinienbilder mit folgenden Eigenschaften:  
Feldlinien verlaufen vom + Pol zum - Pol, sie sind nicht unterbrochen und sie kreuzen sich nie. Sie geben die Richtung der Kraft auf einen positiv geladenen Körper an.

### Elektrisches Feld zwischen ungleichnamigen Ladungen:

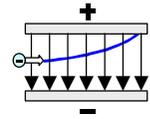


### Kondensatorplatten (homogenes el. Feld im Inneren):



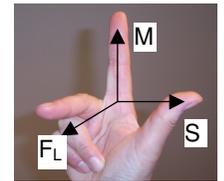
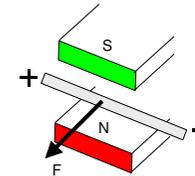
Frei bewegliche Ladungsträger werden durch el. Kräfte abgelenkt, bzw. beschleunigt.

**Anwendungen:** Oszilloskop, Teilchenbeschleuniger



### Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld

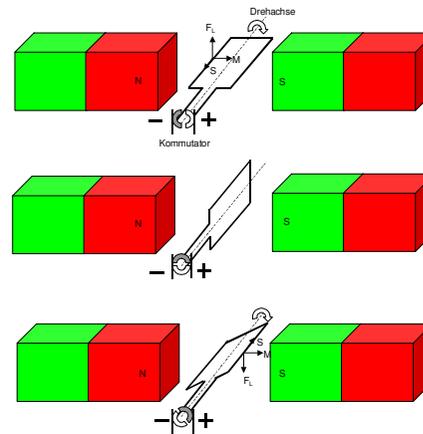
Auf geladene Teilchen bzw. stromdurchflossenen Leiter wirkt im Magnetfeld eine **Kraft (Lorentzkraft)** senkrecht zur technischen Stromrichtung (vom Plus- zum Minus - Pol) und senkrecht zur Magnetfeldrichtung.



### Drei-Finger-Regel der rechten Hand

S: techn. Stromrichtung (Daumen)  
M: Magnetfeldrichtung (Zeigefinger)  
F: Richtung der wirkenden Kraft (Mittelfinger)

### Anwendung: Elektromotor



Beim Elektromotor wird ausgenutzt, dass im Magnetfeld eine Kraft auf eine stromdurchflossene Leiter-schleife bzw. Spule wirkt. Die Stromzufuhr erfolgt über Schleifkontakte am Kommutator. Der **Kommutator** sorgt dafür, dass im geeigneten Moment die Stromrichtung in der Spule wechselt, so dass die Drehrichtung erhalten bleibt.

### Elektromotorisches Prinzip:

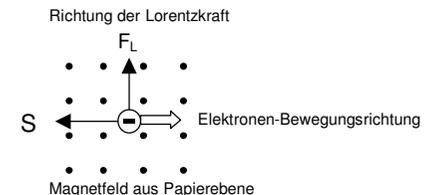
Beim Elektromotor wird elektrische Energie in mechanische Energie umgewandelt.

Frei bewegliche Ladungsträger, z.B. **Elektronen und Protonen**, die nicht parallel zur Magnetfeldrichtung ins Magnetfeld eintreten, erfahren ebenso eine Kraft.

### Beachte:

Bei **Elektronen** ist die „technische Stromrichtung“ der Elektronen - Bewegungsrichtung entgegengesetzt, da sie sich in Richtung des Plus-Pols bewegen!

Die geladenen Teilchen, die sich senkrecht zur Magnetfeldrichtung bewegen, werden durch die Lorentzkraft auf eine kreisförmige Bahn abgelenkt.



**Anwendungen:** Fernsehbildröhre, Lautsprecher.

# Elektromagnetische Induktion

## Induktionsgesetz

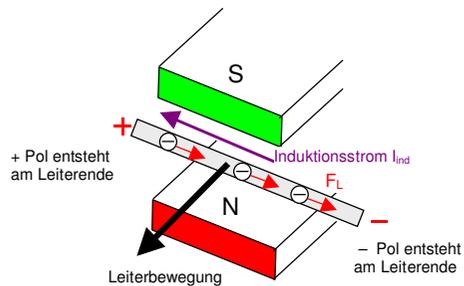
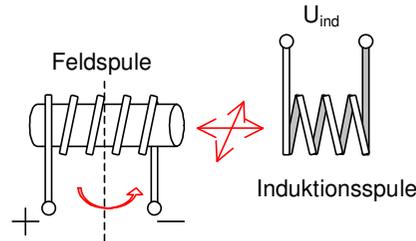
Zwischen den Enden einer Spule wird Spannung induziert, wenn sich das von ihr umfasste Magnetfeld ändert.

Dies kann geschehen durch:

1. **Änderung der Stärke des Magnetfelds**, das die Windungsebenen der Induktionsspule durchsetzt, z.B. durch Änderung der Stromstärke in der Feldspule,
2. **Durch Relativbewegung von Feldspule bzw. Magneten und Induktionsspule**, bzw. durch Änderung des Winkels zwischen Spulenachse und Feldlinienrichtung.

Die Stärke der induzierten Spannung ist umso größer, je schneller und je stärker die Änderung des von der Spule umfassten Magnetfelds erfolgt und je größer die Windungszahl und die Querschnittsfläche der Spule sind oder wenn ein Eisenkern verwendet wird.

Wenn der Stromkreis mit der Induktionsspule geschlossen ist, fließt ein Induktionsstrom.

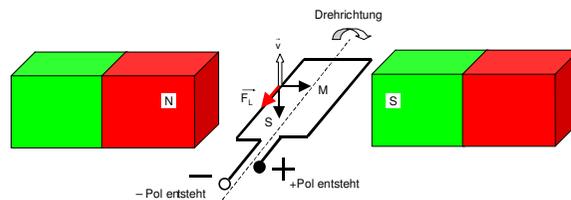


Bewegt man nämlich einen Leiter senkrecht zur Magnetfeldrichtung, wirkt auf die Elektronen im Leiter eine Lorentzkraft in Richtung des Leiters, so dass es zu einer Ladungsverschiebung innerhalb des Leiters (Induktionsstrom) kommt. Zwischen den Enden des Leiters entsteht eine Induktionsspannung. Die Richtung der Kraft auf die Elektronen ergibt sich aus der Drei-Finger-Regel der rechten Hand.

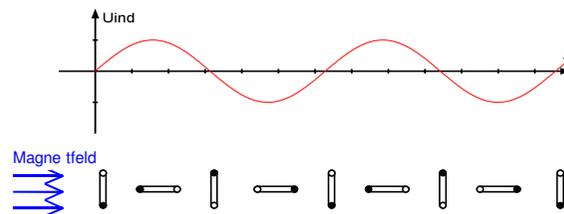
## Anwendungen:

### 1. Der Generator

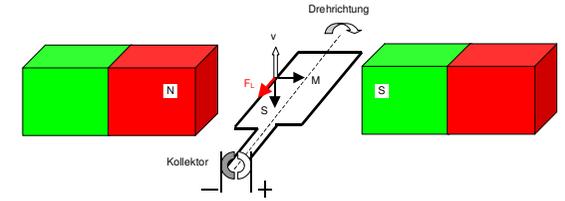
Beim Generator rotiert eine Leiterschleife bzw. eine Spule (Rotor) im homogenen Magnetfeld, wodurch zwischen deren Enden eine sinusförmige Wechselspannung erzeugt wird.



Die Polarität an einem bestimmten Leiterende (z.B. schwarz) wechselt nach jeder halben Umdrehung.



Verwendet man einen Kollektor, wird die Polung an einem festen Leiterende beibehalten und man erhält eine pulsierende Gleichspannung.

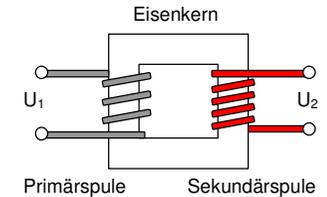


## Generatorprinzip

Generator wird Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt.

### 2. Der Transformator

Ein Transformator besteht aus zwei Spulen meist unterschiedlicher Windungszahlen, die sich auf einem geschlossenen Eisenkern befinden. An die **Primärspule** wird eine Wechselspannung  $U_1$  angelegt. Dadurch wird ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, das in der **Sekundärspule** eine Induktionsspannung  $U_2$  hervorruft. Im Idealfall wird die gesamte eingespeiste Energie vollständig übertragen (idealer Transformator).



Beim unbelasteten, idealen Transformator gilt:

**Die Spannungen verhalten sich wie die Windungszahlen:**

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Beim belasteten, idealen Transformator gilt:

**Die Stromstärken verhalten sich umgekehrt wie die Windungszahlen:**

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

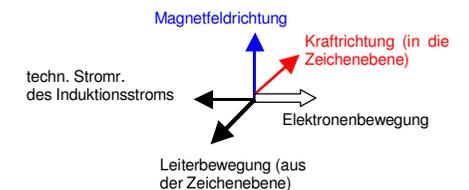
## Anwendung:

Transformation von Spannungen im Stromverbundnetz und in Netzteilen, Hochstrom-Schweißen.

## Regel von Lenz

Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er der Ursache seiner Entstehung entgegenwirkt.

Durch den Induktionsstrom im Magnetfeld wirkt wiederum eine Lorentzkraft auf den Leiter, deren Richtung mit der Drei-Finger-Regel ermittelt werden kann. Die Lorentzkraft wirkt der Bewegungsrichtung des Leiters entgegen.



## Anwendung:

Spannungen werden nicht nur in Spulen, sondern auch in zusammenhängenden Metallteilen induziert. Die dabei entstehenden Ströme nennt man **Wirbelströme**. Diese können erwünscht (z.B. bei Wirbelstrombremsen) oder auch unerwünscht (z.B. bei Eisenkernen von Rotoren) sein.

# Atom- und Kernphysik

## Aufbau der Atome

Atome bestehen aus einer negativ geladenen Atomhülle mit Elektronen sowie einem positiv geladenen Atomkern mit Protonen und Neutronen. Protonen und Neutronen bezeichnet man als Nukleonen.

Massenzahl  $A$   
(Anzahl der Nukleonen)



$$A = Z + N$$

Kernladungszahl  $Z$   
(Anzahl der Protonen)

Neutronenzahl  $N$

Spezialfälle: Proton:  ${}^1_1\text{p}$ , Neutron:  ${}^1_0\text{n}$ , Elektron:  ${}^0_{-1}\text{e}$ , Positron:  ${}^0_{+1}\text{e}$

## Nuklide und Isotope

Die durch Massenzahl und Kernladungszahl charakterisierten Atomkerne werden als **Nuklide** bezeichnet (*nucleus*, lat. = Kern).

Atome mit **gleicher** Protonenzahl (d.h. Atome eines bestimmten chemischen Elements), aber **unterschiedlicher** Anzahl von Neutronen werden als **Isotope** bezeichnet.

Z.B. Isotope des Wasserstoffs:

Wasserstoff



Deuterium

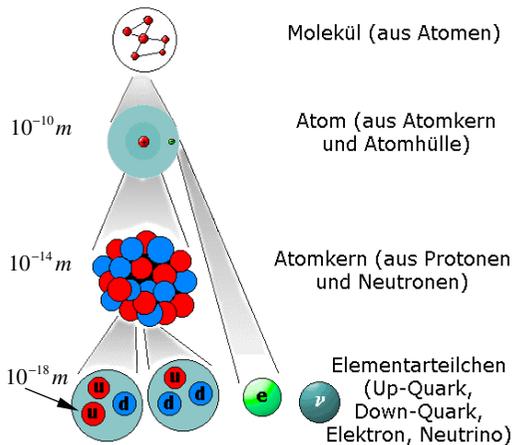


Tritium

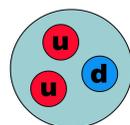


## Innere Struktur und Größenverhältnisse atomarer Bausteine

Struktur und Größenverhältnisse von Atomen hat man durch experimentelle Untersuchungen (z.B. Ölfleckversuch, Streuversuch von RUTHERFORD) festgestellt.

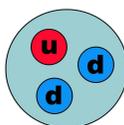


### Proton



Quarks: **up up down**  
Ladung:  $+\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = 1e$

### Neutron



Quarks: **up down down**  
Ladung:  $+\frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e - \frac{1}{3}e = 0$

Teilchen, die aus drei Quarks aufgebaut sind, heißen **BARYONEN**.

In **Teilchenbeschleunigern** werden Teilchen auf hohe Energien beschleunigt und mit Stoffen oder anderen hochenergetischen Teilchen zur Kollision gebracht, um so die innere Struktur der Teilchen zu erforschen.

## Aufnahme und Abgabe von Energie

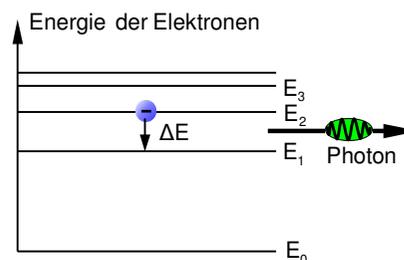
Die **Spektren** leuchtender Körper können einen kontinuierlichen Farbverlauf oder einzelne farbige Linien aufweisen. Die **Linienpektren** geben Hinweise auf die chemische Zusammensetzung der Lichtquelle.



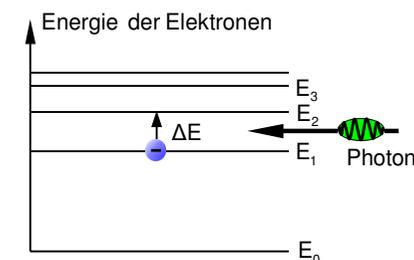
Die **Aussendung (Emission)** und **Aufnahme (Absorption)** von Licht hat ihre Ursache in Vorgängen der Atomhülle:

- In den Atomhüllen kann die Energie der Elektronen nur bestimmte Werte annehmen. Man spricht von **diskreten Energieniveaus** (*discretum*, lat. = getrennt).
- Damit die Energie eines Elektrons der Atomhülle von einem Niveau auf ein anderes gelangt, muss es eine **geeignete Energieportion (= Photon)** aufnehmen oder abgeben.
- Die Energie der Photonen ist je nach Farbe des Lichts **unterschiedlich groß**: Sie ist am **roten Rand** des Spektrums **am geringsten (1,5 eV)**, am **violetten Rand am größten (3,3 eV)**.
- Höhere **Intensität** des Lichts bedeutet nicht, dass die einzelnen Photonen energiereicher wären, sondern dass die Lichtquellen in jeder Sekunde **mehr Photonen der gleichen Energie** aussendet.

### Abgabe von Energie (Emission)



### Aufnahme von Energie (Absorption)

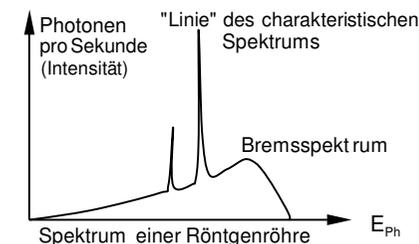


## Röntgenstrahlung

**Röntgenstrahlung** ist eine Strahlung wie Licht. Sie ist für uns allerdings **unsichtbar**. Röntgenstrahlung tritt auf, wenn Elektronen in Materie abgebremst werden. Dabei entstehen **Photonen**, die sehr viel energiereicher sind (**1 keV bis über 100 keV**) als die Photonen des sichtbaren Lichts (**1,5 eV bis 3,3 eV**). Bei der Röntgenstrahlung gibt es außer dem kontinuierlichen Anteil der **Bremsstrahlung** auch die sogenannte **charakteristische Strahlung**, die aus den Atomen des bremsenden Materials kommt. Sie entsteht, wenn Elektronen **in Kernnähe** von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau wechseln.

### Eigenschaften von Röntgenstrahlung:

- Röntgenstrahlung kann aufgrund ihrer Energie **Zellen schädigen** und **Stoffe ionisieren**.
- Röntgenstrahlung **durchdringt** viele Stoffe und wird von verschiedenen Stoffen **unterschiedlich absorbiert**.
- Röntgenstrahlung **schwärzt Filme**.



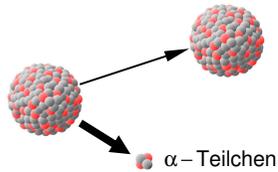
## Radioaktive Strahlung

**Kernzerfälle** treten bei allen natürlichen und künstlichen Radionukliden spontan auf. Dabei entsteht  $\alpha$ -Strahlung,  $\beta$ -Strahlung der  $\gamma$ -Strahlung.

### $\alpha$ -Strahlung

besteht aus doppelt positiv geladenen **Heliumkernen**,  $v \leq 10\%$  der Lichtgeschw.

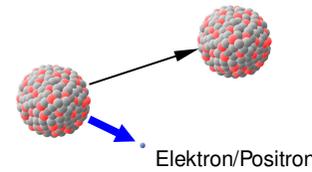
**Reichweite in Luft:**  
weniger als 10 cm



### $\beta$ -Strahlung

besteht aus **Elektronen** ( $\beta^-$ ) oder **Positronen** ( $\beta^+$ ),  $v \leq 99\%$  der Lichtgeschw.

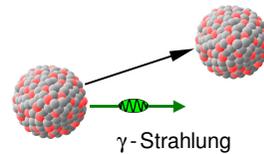
wenige Meter



### $\gamma$ -Strahlung

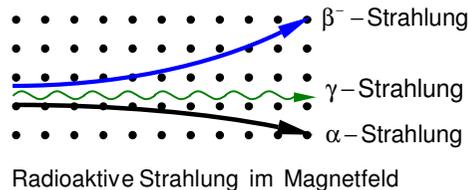
ist eine unsichtbare durchdringende **Lichtart** (hochenergetische **Photonen**),  $v =$  Lichtgeschwindigkeit,

hohe Reichweite in Luft

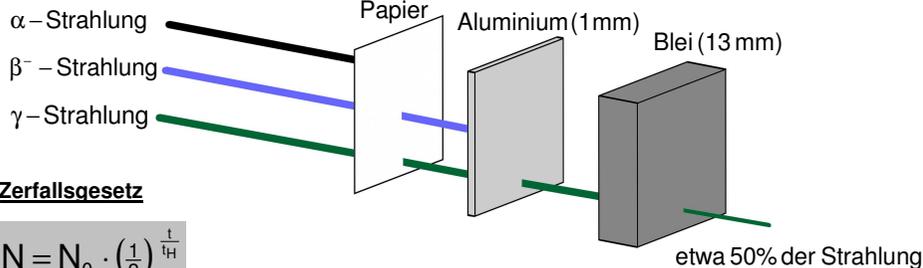


### Eigenschaften radioaktiver Strahlung

- Schwärzung von Filmen
- Ionisation von Gasmolekülen
- Schädigung von Zellen
- Ablenkung in elektrischen und magnetischen Feldern (nur  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung)



### Abschirmung radioaktiver Strahlung



### Zerfallsgesetz

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_H}}$$

$t$  = vergangene Zeit

$t_H$  = Halbwertszeit

$N$  = Anzahl der zur Zeit  $t$  vorhandenen radioaktiven Kerne

$N_0$  = Anzahl der anfangs (zur Zeit  $t = 0$ ) vorhandenen radioaktiven Kerne

Die **Halbwertszeit  $t_H$**  gibt an, nach welcher Zeit die **Hälfte** der anfangs vorhandenen Kerne zerfallen ist. Welche der Kerne zerfallen, kann dabei nicht vorhergesagt werden.

Als Maß für die radioaktive Strahlungstätigkeit eines Stoffs dient die sogenannte

**Aktivität  $A$  = Anzahl der Zerfälle pro Sekunde**; Einheit:  $[A] = \frac{1}{s} = 1 \text{ Bq (Becquerel)}$

Es gilt:  $A \sim N$  bzw.  $A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_H}}$

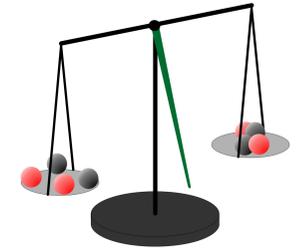
## Massendefekt und Bindungsenergie

Mit Hilfe von modernen **Massenspektrographen** lässt sich die Masse von Nukliden sehr genau bestimmen.

### Allgemein gilt:

- Die Masse eines Nuklids ist stets kleiner als die Summe der Massen seiner Nukleonen.  
Die Differenz bezeichnet man als **Massendefekt**.

$$\text{Massendefekt } \Delta m = \underbrace{(Z \cdot m_p + N \cdot m_n)}_{\text{Masse der Einzelbausteine}} - m_K \quad \text{Nuklidmasse}$$



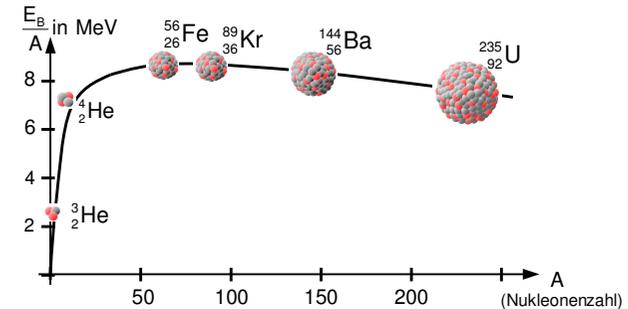
- Beim Zusammenbau des Kerns aus seinen Nukleonen wird die Energie (= **Bindungsenergie**) frei, die seinem Massendefekt entspricht. Umgekehrt muss man die dem Massendefekt entsprechende Energie aufwenden, um den Kern in seine Nukleonen zu zerlegen. Diese erscheint dann als **Massenzuwachs** der Nukleonen.

- Bindungsenergie des Nuklids:  $E_B = \Delta m \cdot c^2$

- Mittlere Bindungsenergie pro Nukleon:  $\frac{E_B}{A} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{A}$  ( $A$ : Nukleonenzahl)

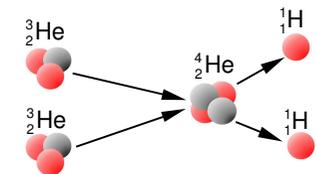
(Die Bindungsenergie der getrennten freien Nukleonen ist 0)

- Die **mittlere Bindungsenergie pro Nukleon** ist ein Maß für die Stabilität eines Kerns. Mittelschwere Kerne sind am stärksten gebunden, leichte und schwere Kerne weniger stark.

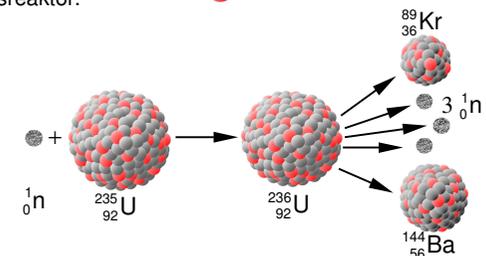


### Kernfusion und Kernspaltung

**Kernfusion** ist die Verschmelzung von leichten Atomkernen zu einem schwereren Kern, dessen Nukleonen stärker aneinander gebunden sind. Das ist nur durch einen weiteren Massenverlust bzw. eine Energieabgabe zu erreichen. Nach diesem Prinzip arbeiten die Energiefreisetzung im Inneren der Sonne, die Wasserstoffbombe und der Fusionsreaktor.



**Kernspaltung** ist die Aufspaltung eines schweren Atomkerns in zwei mittelschwere. Da die Bindungsenergie je Nukleon bei mittelschweren Kernen größer ist als bei schweren Kernen, tritt auch dabei ein Massenverlust bzw. Energiefreisetzung auf. Auf diesem Prinzip beruht die Energiegewinnung in Kernkraftwerken und Atombomben.



# Kinematik und Dynamik geradliniger Bewegungen

## Geschwindigkeit und Beschleunigung

Die **Geschwindigkeit v** gibt an, welchen Weg ein Körper in einer Sekunde bzw. in einer Stunde zurücklegt (vorausgesetzt die Geschwindigkeit ist konstant).

**Einheit:**  $[v] = 1 \frac{m}{s}$  oder  $1 \frac{km}{h}$

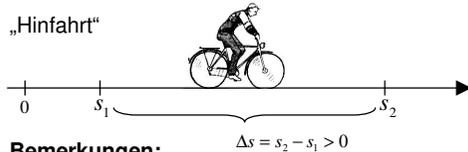
**Umrechnung:**  $1 \frac{km}{h} = \frac{1000 m}{3600 s} = \frac{1 m}{3,6 s}$

**Beispiel:**  $v = 11 \frac{m}{s} = 11 \cdot 3,6 \frac{km}{h} = 39,6 \frac{km}{h}$

d.h. der Körper legt in einer Sekunde 11 m bzw. in einer Stunde 39,6 km zurück.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \quad (\Delta s: \text{zurückgelegter Weg})$$

( $\Delta t$ : benötigte Zeit)



Die **Beschleunigung a** gibt an, wie sich die Geschwindigkeit eines Körpers (in m/s) in einer Sekunde ändert (vorausgesetzt die Beschleunigung ist konstant, d.h. die Geschwindigkeit nimmt gleichmäßig zu).

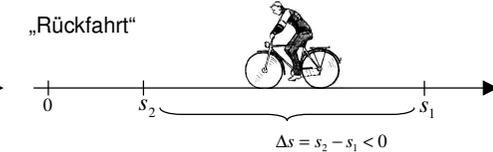
**Einheit:**  $[a] = \frac{1 \frac{m}{s}}{s} = 1 \frac{m}{s^2}$

**Beispiel:**  $a = 3,5 \frac{m}{s^2} = \frac{3,5 \frac{m}{s}}{s}$

d.h. die Geschwindigkeit des Körpers nimmt in einer Sekunde um  $3,5 \frac{m}{s}$  zu.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad (\Delta v: \text{Geschwindigkeitsänderung})$$

( $\Delta t$ : benötigte Zeit)



### Bemerkungen:

(1)  $\Delta t = t_2 - t_1$ ; dabei ist  $t_1$  der Zeitpunkt, zu dem sich der Körper am Ort  $s_1$  befindet und  $t_2$  der Zeitpunkt, zu dem sich der Körper am Ort  $s_2$  befindet.

**Beachte:** Es gilt stets  $t_2 > t_1$ , aber nicht immer  $s_2 > s_1$  (siehe „Rückfahrt“).

(2) Ist der Ort  $s_1 = 0$  und gilt auch  $t_1 = 0$ , so setzt man in der Regel  $s_2 = s$  und  $t_2 = t$

Damit erhält man  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - 0}{t - 0} = \frac{s}{t}$

**Beachte:** s kann also sowohl ein **zurückgelegter Weg**, als auch ein **Ort** sein.  
t kann für ein **Zeitintervall** oder für einen **Zeitpunkt** stehen.  
Die Bedeutung ergibt sich aus dem jeweiligen Zusammenhang.

(3) Analoge Aussagen gelten auch für die Beschleunigung a.

Ist die Geschwindigkeit eines Körpers **konstant**, so nennt man seine Bewegung **gleichförmig**.

Bei beliebigen ungleichförmigen Bewegungen eines Körpers lässt sich mit der

Formel  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  nur die **Durchschnittsgeschwindigkeit**  $\bar{v}$  (= mittlere Geschwindigkeit) im Zeitintervall  $\Delta t$  berechnen.

Wird  $\Delta t$  sehr klein gewählt, so erhält man die **momentane Geschwindigkeit** bzw. die **Momentangeschwindigkeit** des Körpers.

Ist die Beschleunigung eines Körpers **konstant**, so nennt man seine Bewegung **gleichmäßig beschleunigt**.

Bei beliebigen ungleichmäßig beschleunigten Bewegungen eines Körpers lässt sich mit der

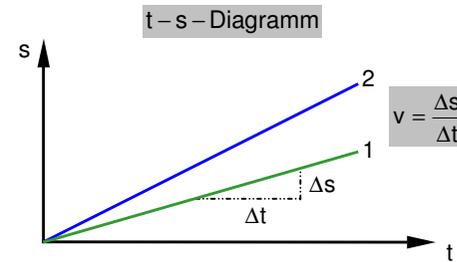
Formel  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  nur die **Durchschnittsbeschleunigung**  $\bar{a}$  (= mittlere Beschleunigung) im Zeitintervall  $\Delta t$  berechnen.

Wird  $\Delta t$  sehr klein gewählt, so erhält man die **momentane Beschleunigung** bzw. die **Momentanbeschleunigung** des Körpers.

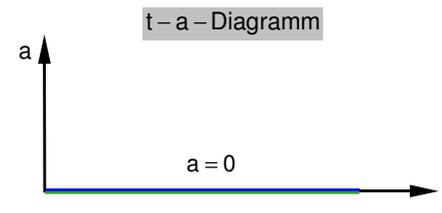
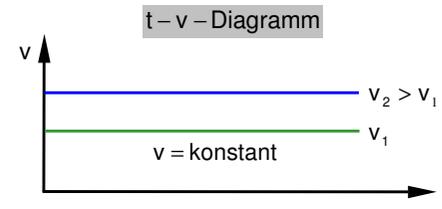
## Darstellung von Bewegungsabläufen in Diagrammen

### Gleichförmige Bewegungen

Bei einer gleichförmigen Bewegung (d.h.  $v = \text{konstant}$ ) ist der Graph im Zeit-Ort-Diagramm eine **Gerade**. Ihre **Steigung** ist die **Geschwindigkeit**. Je steiler die Gerade, desto höher die Geschwindigkeit.

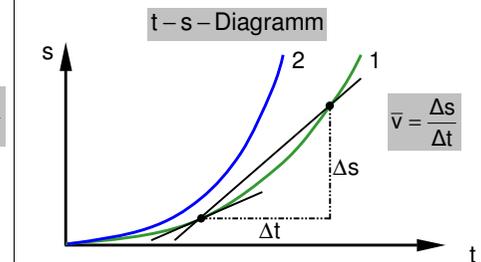


Der Graph im Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm ist eine Parallele zur t-Achse.

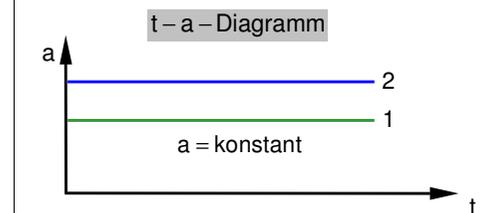
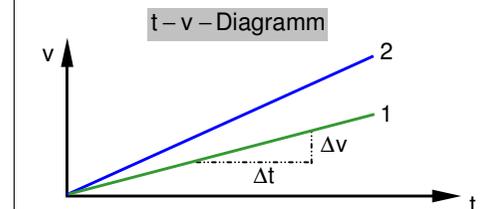


### Gleichmäßig beschleunigte Bewegungen

Bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung (d.h.  $a = \text{konstant}$ ) ist der Graph im Zeit-Ort-Diagramm **Teil einer Parabel**. Die **mittlere Geschwindigkeit**  $\bar{v}$  ist die **Steigung einer Sekante** durch den Graphen im Zeit-Ort-Diagramm. Für sehr kleine  $\Delta t$  erhält man die **Steigung einer Tangente** (= Momentangeschwindigkeit) an den Graphen



Der Graph im Zeit-Geschwindigkeit-Diagramm ist eine **Gerade**. Ihre **Steigung** ist die **Beschleunigung**. Je steiler die Gerade, desto größer die Beschleunigung.



### Bewegungsgleichungen für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung eines Körpers

Wirkt auf einen Körper der Masse m eine **konstante Kraft F**, so führt er eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung (d.h.  $a = \text{konstant}$ ) in Richtung der Kraft aus.

Dabei gilt das **Newtonsche Grundgesetz**:  $F = m \cdot a$  bzw.  $a = \frac{F}{m}$ . **Beachte:**  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

**Gleichmäßig beschleunigte Bewegungen** können mit sogenannten **Bewegungsgleichungen** beschrieben werden.

Für Bewegungen aus dem Stillstand gilt:  $v = a \cdot t$  und  $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ .

Für den **freien Fall** (d.h. ohne Luftreibung,  $a = g$ ) gilt speziell:  $v = g \cdot t$  und  $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$ .