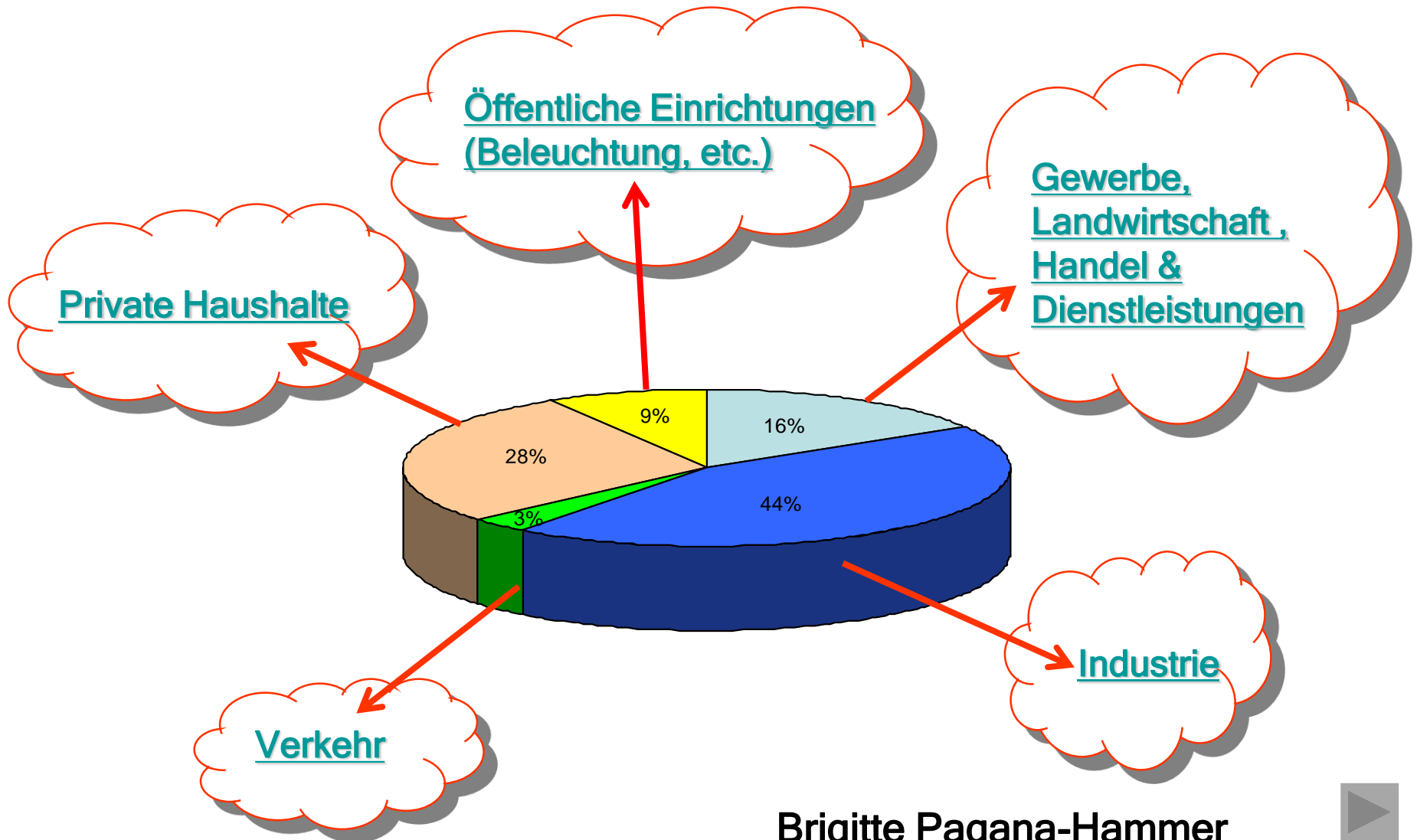


Wer braucht Strom?



Read me

Auftraggeber: WienStrom

Autorin: Brigitte Pagana-Hammer

Kontakte: www.pagana.info
brigitte@pagana.info

Zur Benützung:

1. Die Teilkapitel sind verlinkt und durch Anklicken der Startseite zu öffnen
2. An die Beschreibung der einzelnen Verbrauchergruppen schließen sich die Folien mit den physikalischen Erläuterungen an. Sie sind ebenfalls verlinkt und ermöglichen die Rückkehr zu Hauptkapitel durch Mausklick.
3. In den Kapiteln sind die Anwendung nach Nutzung der Wirkungen des elektrischen Stroms unterteilt und farblich kenntlich gemacht:
 - Wärmewirkung: rot
 - Lichtwirkung: gelb
 - Bewegung: grün
 - Elektromagnetische Wirkung: blau
 - chemische Wirkung: grau
4. Anklicken der Bilder führt zur Quellenangabe
5. Links zu Websites nur online verfügbar!



Was leistet eine Kilowattstunde Strom?

Kilowattstunde (kWh) ist die Einheit der elektrischen Arbeit (umgewandelte Energie). Sie ist nötig, um ein Gerät mit einer Leistung von 1000W (=1kW) 1 Stunde lang zu betreiben. Wer Strom sparen will, muss wissen, wo er wie viel verbraucht. 1 kWh Strom reicht, um:



Öko-Hinweis:

Strom erzeugt im Winter
0,35 kg CO₂ pro kWh, im
Sommer 0,18 kg/kWh

- einmal Wäsche mit der Maschine zu waschen. → Die gleiche Energie braucht ein 300-Liter-Kühlschrank innerhalb von zwei Tagen.
- ein Mittagessen für vier Personen auf dem Elektroherd kochen
- eine Stromsparlampe mit einer Leistung von 11 Watt 90 Stunden brennen zu lassen. → Eine Glühlampe (60 Watt, gleiche Lichtmenge) brennt damit nur 17 Stunden.
- 5 Stunden am Computer zu arbeiten
- 15 Hemden zu bügeln
- 70 Tassen Kaffee zu kochen
- 7 Stunden fernsehen
- 40 Stunden lang mit dem CD-Player Musik hören (25 W)



Private Haushalte

Beleuchtung
(siehe: Öffentliche Beleuchtung)

Reinigung

- Waschmaschine
- Geschirrspüler
- Staubsauger
- Elektrische Zahnbürste

Heizen

und

- elektrische Öfen
- Zauberwort elektrische Flächenheizung

Kühlen (Wärmetauscher)

- Klimaanlage
- Kühlschrank

Unterhaltung und Kommunikation

- Fernsehen, Radio, DVD
- Telephonie
- PC und Internet
(siehe Folie 5: Dienstleistungen)

Kochen

- Heizplatte
- Induktionsbackofen
- Mikrowelle
- Mixer & Co



Kochen am neuesten Stand!



Induktionsbacköfen und -kochfelder:

Geräte, mit denen die metallischen Böden der Töpfe) mittels einer Spule durch Induktionsstrom erwärmt werden. Die Strom durchflossenen Spule erzeugt im Kochtopf ein magnetisches Wechselfeld (25 - 50 kHz).

Vorteile: Wärme entsteht direkt im Topf und sehr rasch → effizient, sparsam

Nachteile: nur Kochtöpfe mit ferromagnetischem Boden geeignet

Glaskeramik Kochfelder:

Unterhalb des Kochfeldes werden Heizleiter durch Widerstandsbeheizung zum Glühen gebracht. Die von dem Leiter ausgesendete Wärmestrahlung tritt durch die Glaskeramik hindurch, so dass sie den Boden des Topfes oder der Pfanne aufheizen kann.

Vorteil: Glaskeramik hat hohe Hitzedurchlässigkeit (=geringer Stromverbrauch) und keine Wärmeausdehnung.

... und diverse Heizgerät, zum Kochen, Grillen, etc.



Mikrowelle, Mixer & Co

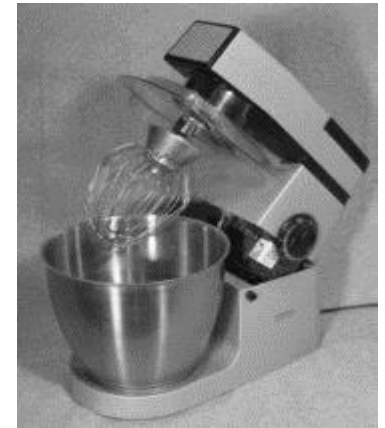
Mikrowelle:



Bei der Frequenz der Mikrowellen werden die, in Lebensmitteln enthaltenen Wassermoleküle, da sie ein Dipolmoment besitzen, zur Schwingung angeregt und dadurch erwärmt. Durch Wärmeleitung werden diese Schwingungen auch auf jene Moleküle übertragen, die sich durch Mikrowellen nicht anregen lassen. Frequenz: 2,455 GHz (keine ausgesprochene Resonanzfrequenz des Wassers, aber ausreichend hohe Eindringtiefe in Speisen.

Die Küchenmaschine:

Multifunktionale Geräte zum Kneten, Rühren, Schneiden, ...

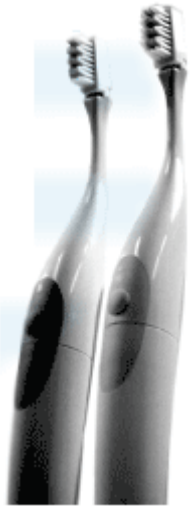


... und was es sonst noch zu Schneiden, Reiben und Auspressen gibt!

Dahinter steckt in jedem Fall: ein Elektromotor!



...und sogar die Zahnbürste



Wie viele andere Geräte und Funktionen (z.B. im Standby) sind kontaktfreie Ladegeräte „heimlich“ Verbraucher im Haushalt. Hier am Beispiel der **elektrische Zahnbürste!**

Ladevorgang durch [Induktion](#) (vgl. auch [Induktionsspannung](#)):

- Durch die Spule in der Ladestation fließt [Wechselstrom](#). Diese Spule erzeugt ein Magnetfeld, dessen Feldlinien sich in Stärke und Richtung verändern.
- Ist die Bürste zum Laden eingesteckt, so liegt die Spule des Griffes in diesem Magnetfeld. In ihr wird nun eine Spannung induziert und somit der Akku der Zahnbürste aufgeladen.
- Die Energie des Akkus treibt dann den [Elektromotor](#) an, der den Bürstenaufsatz bewegt.

Der **Staubsauger** wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts erfunden



Das [Gebläse](#) (vgl. auch [Arbeitsmaschinen](#)) erzeugt Luftstrom saugt den Staub und Schmutz über das Saugrohr in das Gehäuse. Der Luftstrom wird direkt in den luftdurchlässigen Beutel (Filter) geleitet. Gute Filterarbeit leisten und möglichst ungehindert Luft zur Motorkühlung durchlassen ist eigentlich ein Widerspruch. Der Trick dabei: das besondere Material von Beutel und Filter. Der letzte Schrei: sensorgesteuerte Staubsaugerroboter!



Waschmaschine & Trockner









Der Wäschetrockner

1901 entwickelte der Amerikaner Alva J. Fisher die erste elektrisch betriebene Vorrichtung zum Reinigen von Textilien.

Eine Waschmaschine benötigt einen Strom-, Frischwasser- und Abwasseranschluss. Sie verbraucht viel Energie und Wasser.

Das ideale „Flottenverhältnis“ (Wäschemenge zum Wasservolumen) ist 1 kg Wäsche auf 5 l Wasser.

Trocknungsprinzip: große Wirksame Oberfläche der Wäsche durch dauern des Umwälzen. Elektrisch erwärmte, trockene Luft strömt längs zur Trommeldrehachse durch die feuchte Wäsche zur Tür. Die Luft nimmt die Feuchtigkeit der Wäsche bis zur Sättigungsgrenze auf. Die feuchte Luft wird dann durch Kondensation getrocknet oder ins Freie geblasen.

Energy		Washing machine
Manufacturer Model		
More efficient		
 A		
 B		
 C		
 D		
 E		
 F		
 G		
Less efficient		
Energy consumption kWh/cycle <small>(based on standard test results for 60°C cotton cycle) Actual energy consumption will depend on how the appliance is used</small>		1.75
Washing performance <small>A: higher G: lower</small>		A B C D E F G
Spin drying performance <small>A: higher G: lower Spin speed (rpm)</small>		A B C D E F G 1400
Capacity (cotton) kg		5.0
Water consumption		5.5
Noise (dB(A) re 1 pW)		Washing 5.2 Spinning 7.6
Further information contained in product brochure		

GESCHIRRSPÜLER



1886 wurde von der Amerikanerin Josephine Cochran ein Patent für einen mit Wasserdruck arbeitenden Geschirrspüler eingereicht. Sie gilt als Erfinderin des Geschirrspülers.

Durch das Zusammenwirken der Faktoren Zeit, mechanische Energie, Temperatur und Chemie wird das Spülgut gereinigt (Sinnischer Kreis). Rotierende Düsen spritzen längere Zeit die stark alkalische Spüllauge gegen die Geschirrteile. Dabei ist der hohe pH-Wert der Lauge ebenso wichtig zum Lösen des Schmutzes wie der Druck der Wasserstrahlen.



Heizen: Zauberwort Flächenheizung

93% der im Haushalt erforderlichen Energie dienen der Beheizung und der Warmwasserbereitung! Strom ist da oft zu kostbar!

Elektroheizung: Erwärmung ausschließlich mit Hilfe von elektrischem Strom.

Nachtspeicherheizung: thermisch isolierte, elektrisch betriebene Zimmeröfen (aus Keramik, Kacheln, etc.). Der Kern aus Schamott bzw. Magnesit speichert die Wärme. Sie wird durch Strahlung und Konvektion an den umgebenden Raum abgegeben (elektrisches Gebläse!)

Radiatoren: in einem geschlossenem Heizkörper wird Öl durch Strom erhitzt Vorteil: mobil, Nachteil: kostspielig im Betrieb!

Flächenheizung: Hier hat der Strom die Nase vorn!

„**Unsichtbare**“ Heizung: Wände, Fußböden, etc. werden erwärmt und geben die Wärme gleichmäßig in den Raum ab. Flächenheizungen arbeiten nach dem Wärmestrahlungsprinzip und erreichen einen Wirkungsgrad von ca. 99 %.

Elektrische Flächenheizung: Widerstandskabel oder Folien mit eingearbeiteten Heizleitern unter, im oder auf dem Estrich bzw. Verputz verlegt.

Vorteile gegenüber Wärmeströmungs-Heizsystemen (Öl/Gas-Zentralheizungen) : geringe Anschaffungskosten, Platz sparend, im Verbrauch kostengünstiger (gleichmäßigere, höhere Erwärmung der Flächen.)

Weiter Einsatzgebiete: Freiflächenheizung (Rampen, Autoparkplätze), Industrie-flächenheizungen, Schwingbodenheizungen (Sporthallen), Rasenheizung (Fußballstadien)



...und Kühlen



Der Kühlschrank wurde 1876 von Carl von Linde erfunden. Er hält Lebensmittel bei einer Temperatur 2 und 8 °C, und gehört zu den meistverbreiteten Haushaltsgeräten der Welt.

Allen Kühlschranktypen liegt folgendes Wirkungsprinzip zugrunde: Dem Inneren des Kühlschranks wird Wärme entzogen und nach außen abgegeben ([Wärmepumpe](#), [Kompressionskältemaschine](#)). Gefrierschränke und -truhen funktionieren nach demselben Prinzip wie ein Kühlschrank, kühlen jedoch mit einer Innentemperatur von etwa -18°C, wodurch die langfristige Lagerung von gefrorenen Lebensmitteln ermöglicht wird. Mit 4-Sterne-Gefrierschränken können zudem Lebensmittel selbst eingefroren werden.

Als Kältemittel wurden bis 1992 die Ozon zersetzenden (Klima!) und für die Umwelt nicht unbedenklichen FCKW (Fluorkohlenwasserstoffe) verwendet. Heute nimmt man Propan und Butan als Kältemittel.



... und was dem Komfort dient

Achtung: **Energiefresser!**

Solarium, Saunaöfen, ...



"Sonne tanken" auf Knopfdruck gehört für viele bereits zum Wochenprogramm. Aber so einfach der Gang ins Solarium auch sein mag, so gefährlich können die Nebenwirkungen sein.

Klimaanlagen:

Funktionieren ähnlich wie der Kühlschrank (Prinzip der Wärmepumpe). Durch Erwärmung oder Kühlung der Luft wird konstante Temperatur erzielt und die Luftfeuchtigkeit reguliert. Die Wärmeabgabe erfolgt an die Außenluft (Ventilatoren) bzw. an Leitungswasser



Fernsehen

1884 von Paul Nipkow erfunden



Röhren-Fernseher: Kathodenstrahlröhre (Braunsche Röhre nach ihrem Erfinder Karl Ferdinand Braun) Die Hochspannung an der Anode beträgt 20.000 bis 30.000 Volt. Die Anode hat ein Loch, durch welches die Elektronen hindurch fliegen können. Sie werden durch die magnetischen Felder der vertikalen und horizontalen Ablenkspulen auf einen bestimmten Bildpunkt gelenkt und lösen auf eine fluoreszierende Schicht einen Lichtblitz aus. Er ist je nach der Elektronenmenge heller oder dunkler. Der Elektronenstrahl wird zeilenweise von links nach rechts und oben nach unten über den Bildschirm gefahren. Die Wiederholrate: i. A. 100 Hz (= 100 mal pro Sekunde).

100-Hz-Fernsehern: Das 1. Halbbild jedes Bildes wird gespeichert, dann mit dem 2. Halbbild zusammen dargestellt; danach werden beide noch einmal wiederholt, während dessen wird das 1. Halbbild des nächsten Bildes empfangen. Somit wird jedes Bild zweimal gezeigt. (subjektiv kein Bildflimmern!)

Viele Sender übertragen auf unterschiedlichen Frequenzen gleichzeitig. Der **Tuner** wandelt die analogen Hochfrequenzsignale aus dem Kabelanschluss oder der Antenne in das gewünschte Videosignal um, d.h. er filtert den gewünschten Sender heraus.

analoges Fernsehen: Informationsübertragung durch Wechsel der elektrischen Spannungszustände (+/-)

Digitaltechnik: Informationsübertragung durch Wechsel von Zahlenwerten (0/1)



Der Bildschirm (Monitor)

Mit **Bildauflösung** bezeichnet man gemeinhin die Anzahl der Bildpunkte (*Pixel*) aus denen das dargestellte Bild besteht. Sie kann pro Spalte oder Linie (vertikal) und Zeile (horizontal) angegeben werden, (z.B. 1024×768 ; → Grafikkarten; Fernsehtechnik: die Anzahl der Zeilen und die der Punkte pro Zeile) verwendet. Vertikale und horizontale Auflösung können sich unterscheiden, was zu rechteckigen statt quadratischen Bildpunkten führt

Farbfernsehgeräten: drei leicht gegeneinander versetzte Kathoden für die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau. Ein feines Metallgitters sorgt dafür, dass die Elektronen von jeder Kathode nur auf Fluoreszenzpunkte "ihrer" Farbe treffen. as Bild wird aus den nebeneinander liegenden kleinen Punkten der drei Grundfarben zusammengesetzt..



Flachbild-Fernseher: LCD

Ein Flüssigkristallbildschirm (englisch *liquid crystal display*, kurz LCD): Flüssigkristalle (organische Verbindungen, die sowohl Eigenschaften von Flüssigkeiten als auch Eigenschaften von Festkörpern aufweisen). Sie können die Polarisationsrichtung von Licht beeinflussen. Vorteile: können geringer Stromverbrauch, Strahlungsfreiheit, flimmer- & verzerrungsfreies, scharfes Bild, geringes Gewicht & Einbautiefe.

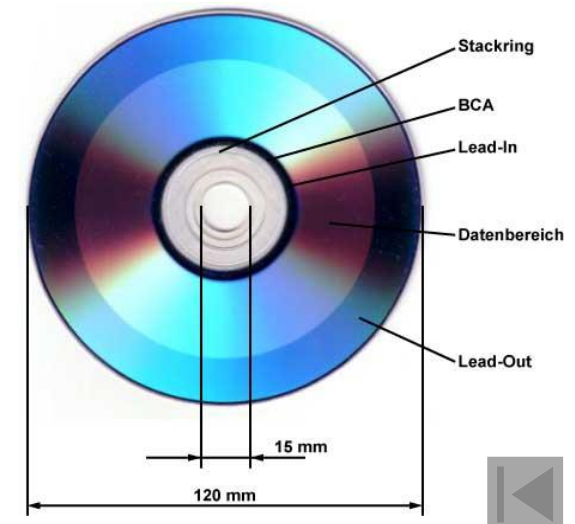
Radio, CD-ROM & DVD

Radio (v. lat.: *radius* = der Strahl) ist ein Gerät zum Empfang von Hörfunksendungen die von einem Radiosender über **elektromagnetische Wellen** ausgesendet werden. Die empfangene Information wird im wesentlichen in Schall umgewandelt
Ein Transistorradio ist ein mit Transistoren als Verstärkerbauelementen arbeitendes Radio.
Vorteile: geringe Strombedarf (Batterie betrieben) & hohe Mobilität
Heute: integrierte Schaltkreise; Stereophonie: räumlichen Schalleindruck (Kopfhörer)
Die Entwicklung des Radios ermöglichte eine weltweite Information und hatte enorme gesellschaftliche Auswirkungen.

CD-ROM (Compact Disc Read-Only Memory): Erfindungsjahr 1979

Eine mit Aluminium beschichtete Polyamidscheibe (Durchmesser 12 cm, Stärke 1,2 mm mit einer spiralförmig verlaufende Datenspur). Die Informationsträger sind kleine Vertiefungen, die so genannten „Pits“ und „Lands“, welche im Maßstab gegenüber der früheren Schallplatte um ein Vielfaches kleiner und unterschiedlich lang sind.
Sie können mit Hilfe eines **Laserstrahls** ausgelesen werden, denn sie reflektieren etwas früher als die unbeschädigten Stellen. Achtung: CD-ROM halten bedeutend kürzer als Papier!

DVD - Digital Versatile Disc: speichern Daten, Ton und Video mit größerer Speicherkapazität (über 4,7 GByte) als die CD-ROM.



Industrie

Industrieller Stromverbrauch in Europa in 2000: 951 TWh

Antriebe/ Motoren
Mischen, Rühren,
Bohren, Sägen, ...

Elektrochemische Verfahren
Reduktionsöfen, Elektrolyse,

Kompressoren
Drucklufterzeugung

Pumpen
Gebläse
Ventilatoren

Elektrothermische Verfahren,
Kühlen, Schmelzöfen, etc.

Heben



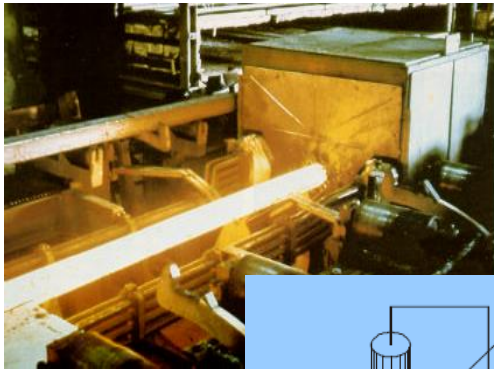
Elektrothermische Verfahren



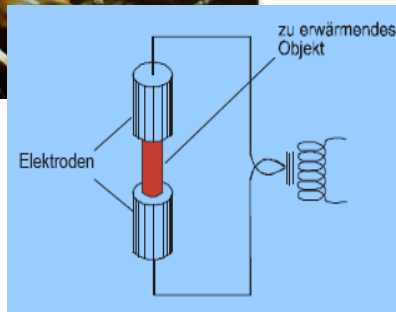
Umformen & Verändern (Veredeln)

durch elektrischen Widerstand

Direkte Erwärmung

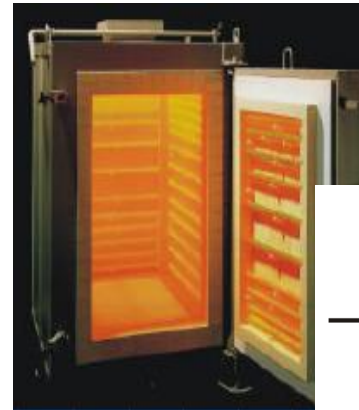


Knüppel-
Erwärmungs-
anlage

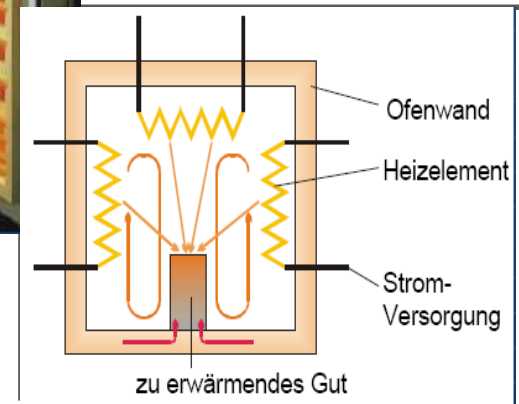


- metallisches Werkstück (Heizleiter) ist Teil des Stromkreises
- Erwärmung erfolgt direkt im Werkstück

Indirekte Erwärmung



Brennofen für Keramik,
Glas & Porzellan

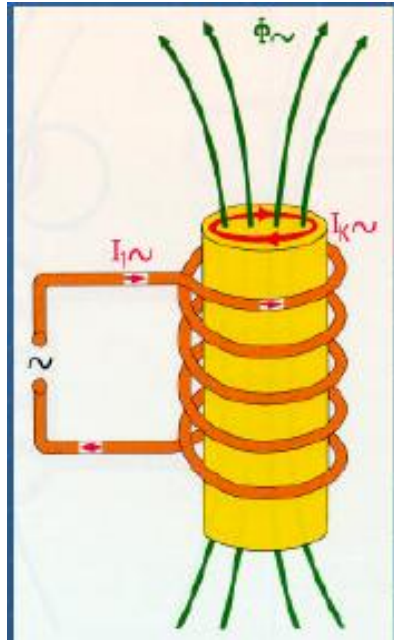


- Erwärmung erfolgt von außen über die Oberfläche des Werkstücks (muss nicht leitend sein!)

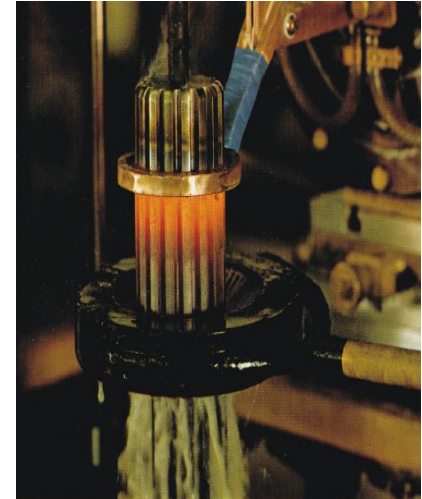


Metalle schmelzen, schmieden, härten & schweißen durch Induktion

Prinzip der Erwärmung
durch Induktion



Durcherwärmen zum Pressen, Walzen und Rohrbiegen



Härten einer Kurbelwelle

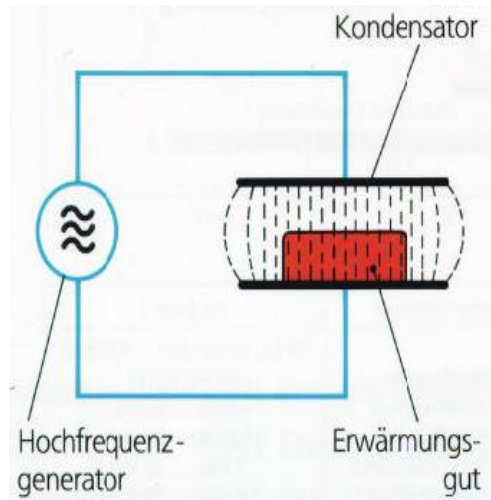


Induktionsschmelzofen



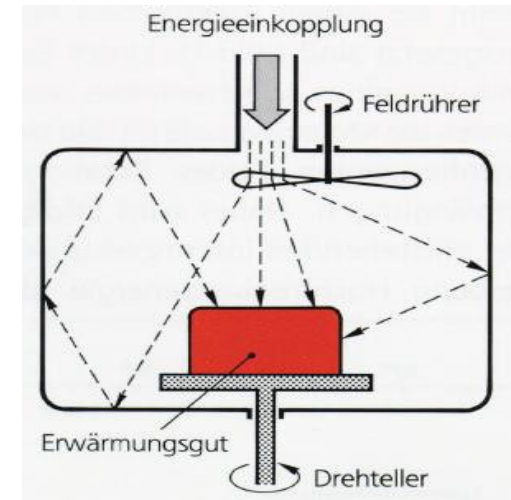
Erwärmen durch dielektrischer Polarisation

Kondensatorfeld-Erwärmung (kapazitive Erwärmung)



- Wärme entsteht im (nicht leitenden) Werkstoff selbst durch Umpolen des Kondensators mit hoher Frequenz (MHz Bereich)
- rasche Erwärmung des Werkstoffs zwischen zwei Platten (Dielektrikum - Molekularbewegung)
- Anwendung: Holzverleimung, Trocknungsprozesse von Holz, Lebensmitteln, etc., Schädlingsbekämpfung im Holz

Mikrowellen-Erwärmung



Siehe private Haushalte:
Mikrowelle, Mixer & Co

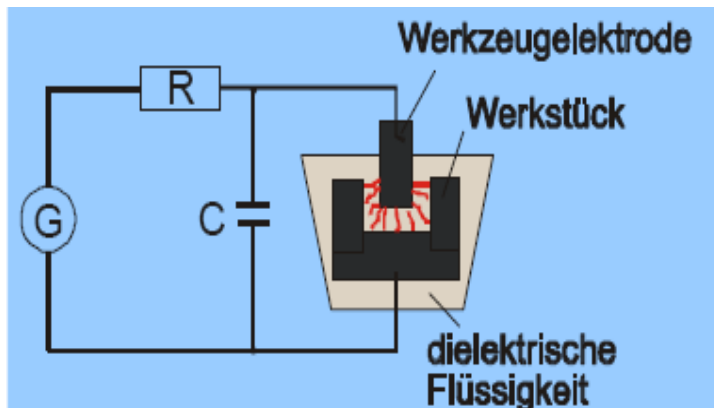


Hightec Produkte durch Elektronenstrahlen & Funken

Elektronenstrahlen zum Aufdampfen von hochreinen Schichten in Optik und Elektronik

Funkenerosion:

- Bearbeiten von komplexen Einzelteilen (Kugellager, Automobilventile)
- Herstellen von Matrizen, Bohrungen, Gravieren, Nacharbeiten & Polieren mit höchster Präzision



Prinzip



Funkenerosive Zahnkranzherstellung

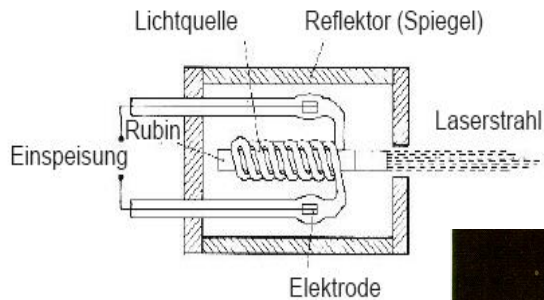


Laser- & Plasmastrahlen

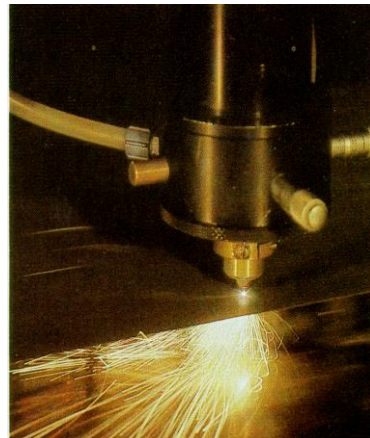
zum Schneiden, Schweißen, Löten, Härten, Bohren Schmelzen Aufdampfen und
Aufspritzen von Stoffen wie

Metalle, Oxide und Karbide

Laserstrahl-Erwärmung

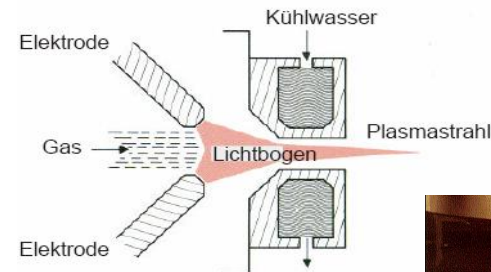


Prinzip der Erwärmung



Laserschneiden von
Transformator-Blechen

Plasmastrahl-Erwärmung



Prinzip der Erwärmung



Plasmaflamme einer
HF-Induktionsplasmaanlage



Gewinnung von Metallen

aus Erzen, von FeSi, CaSi, Si, CaC₂, P

Redoxreaktionen: Austausch von Elektronen zwischen Reduktionsmittel (Elektronendonator) und ein Oxidationsmittel (Elektronenakzeptor). Das Reduktionsmittel gibt dabei mindestens ein Elektron an das Oxidationsmittel ab.

Beispiel: Verbrennungen sind Redoxreaktionen, die stets elementaren Sauerstoff als Oxidationsmittel aufweisen.

Eisengewinnung: Reduktionsmittel Kohlenstoff oder Kohlenstoffmonooxid eingesetzt.



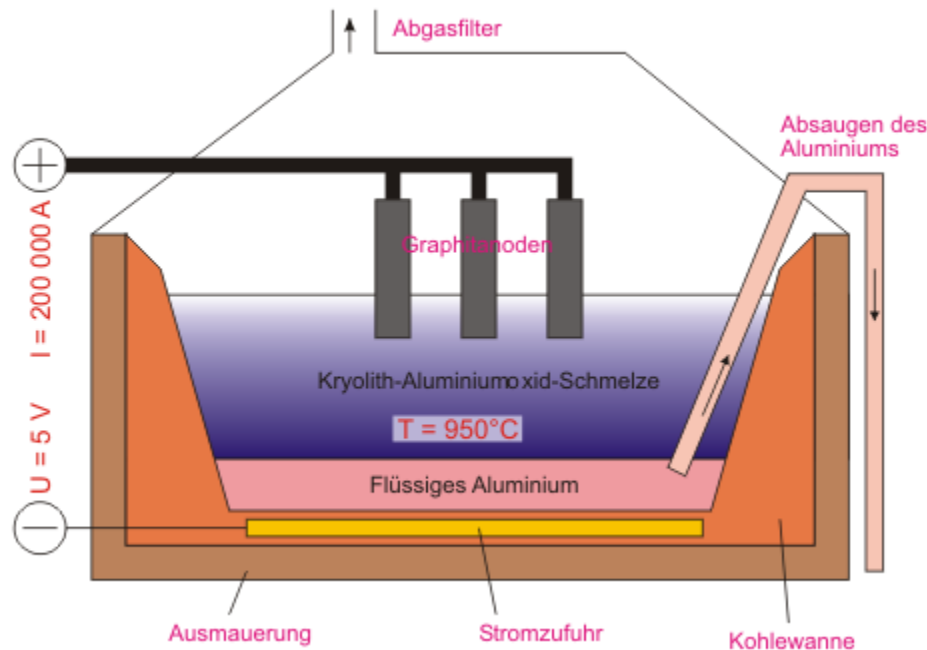
Der Lichtbogen liefert die Energie!



Höchstverbrauch elektrischer Energie: Aluminiumherstellung durch Schmelzflussanalyse

Ausgangsstoff: Bauxit (Gemenge aus Tonmineralien z.B. Aluminiumoxid und Aluminiumhydroxyd)

Spannung von 4-5 Volt, Stromstärke bis zu 330.000 Ampere (=0,8 Ampere/cm²)



Pro kg Aluminium werden etwa 13-15 kWh Energie (Strom) verbraucht!



Das Prinzip

Ausgangsstoff:

Aluminiumoxid (Schmelztemperatur 2045 °C) wird gereinigt und zu 80 % bis 90 % mit Kryolith ($\text{Na}_3(\text{AlF}_6)$) vermischt. (Schmelztemperatur nur noch ca. 950 °C → Verringerung des Energieaufwandes).

Schmelzelektrolyse: Reduktion von Aluminiumoxid (Al_2O_3) $2\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Al} + 3\text{O}_2$

Die positiven Aluminiumionen (Al^{3+}) wandern zur Kathode (Minuspole, Wanne), nehmen dort Elektronen auf und werden zu Aluminiumatomen reduziert. Die negativen Sauerstoffionen (O^{2-}) wandern zur Anode (Pluspol). Dort geben sie ihre überschüssigen Elektronen ab und werden zu Sauerstoffmolekülen. Sie reagieren mit dem Kohlenstoff zu CO bzw. CO_2 und entweichen.

Das reduzierte Aluminium ist schwerer als das geschmolzene Aluminiumoxid-Kryolith-Gemisch und sammelt sich daher auf dem Boden, von wo es abgesaugt wird.

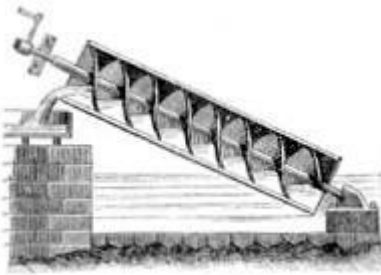
Reinaluminium enthält noch etwa 0,1 bis 1% Verunreinigungen. Diese sind im wesentlichen Eisen, Silizium und Titan.

Österreich verfügt im Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen (ARC) über eine bedeutende Aluminiumerzeugung!



Pumpen, Kompressoren & Co.

Von Archimedes bis heute transportieren Pumpen Flüssigkeiten entgegen der Schwerkraft.



Archimedische Schraube
(Schneckenpumpe)



Schneckenkaskade



elektrisch betriebene
Vakuumpumpe

Eine **Pumpe** ist eine Maschinen zum Bewegen von Fluiden (Flüssigkeiten bzw. Gasen). Dabei wird Druck des Fluids erhöht und/oder seine Bewegungsenergie (Strömungsenergie) vergrößert.

Ventilatoren (Gebläse) versetzen das umgebende Gas (Luft) in Bewegung, ohne jedoch dabei zum Antrieb eines Gegenstandes zu dienen. Es gelten die Gesetze der Strömungslehre.

Verdichter (Kompressoren) verringern das Volumen eines Gases und erhöhen dadurch den inneren Druck (→Druckluft). Für Verdichtungs Vorgänge gilt bei konstant bleibender Temperatur das Boyle-Mariottesche Gesetz ($p \cdot V = \text{konst.}$)



Pumpen, Kompressoren & Gebläse

sind Arbeitsmaschinen

Sie wandeln die mechanische Arbeit in einem Fluid (Gas und Flüssigkeit) in innere Energie des Fluids (Druck oder Bewegungs- bzw. Strömungsenergie) um. Sie arbeiten mit:

- kompressiblen (gasförmigen) Stoffen → Verdichter bzw. Kompressoren
- inkompressiblen Fluiden (Flüssigkeiten bzw. Gase bei geringer Strömungsgeschwindigkeit betrieben) → Pumpen bzw. Ventilatoren

Je nach dem, wie durch eine Maschine Druck aufgebaut wird, unterscheidet man:

- Strömungsmaschinen (Energieübertragung durch gedrehte Schaufelräder)
- Kolbenmaschinen (Verdrängerprinzip - Energieübertragung durch translatorisch bewegte Kolben)
- grundsätzlich sind stets beide Prinzipien anwendbar

Maschinen, die diese Energie wieder in mechanische Energie umsetzen heißen **Kraftmaschinen** z.B. Turbinen.

Arbeitsmaschinen benötigen Strom!



Antrieb von Maschinen

Ob ...

Bohren



Schleifen

Schneiden, Sägen



oder Drehen . . .

In Industrieanlagen erfolgt der Antrieb, d.h. die Drehung von Schaufelrädern bzw. die Bewegung des Kolbens meist durch Elektromotoren.



Der Elektromotor



Der erste brauchbare Elektromotor wurde 1834 von dem Potsdamer Ingenieur Hermann Jacobi konstruiert. Im Jahre 1866 verhalf **Werner von Siemens** dem Elektromotor durch die Erfindung der Dynamomaschine zum Durchbruch.

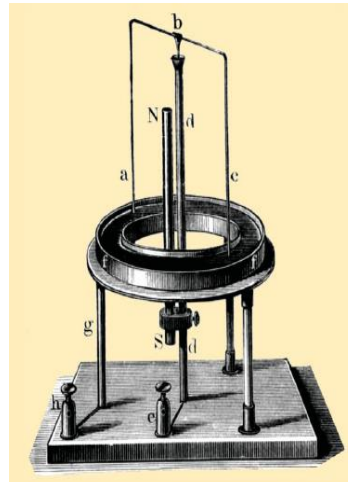
Maschine, die elektrische Energie in mechanische Energie umwandelt. Die Kraft, die von einem Magnetfeld auf die Leiter einer Spule ausgeübt wird meistens in rotierende Bewegungen umgesetzt.

Linearmotoren: Umsetzung in eine translatorische Bewegungen (→Verkehr).

der Einfachste

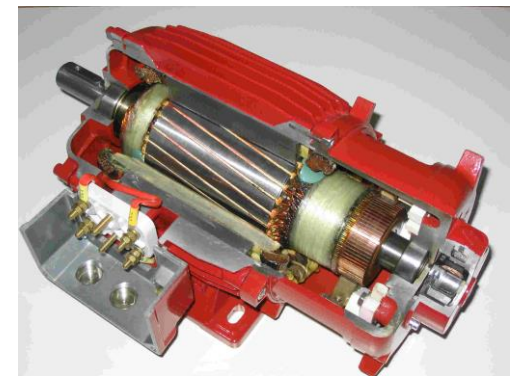


der Älteste



Prinzip des
ältesten
Elektromotors,
entworfen
von Michael
Faraday 1821

der Gängigste



Elektromotor: Aufbau und Funktion

Stator: der feststehende elektromechanische Teil

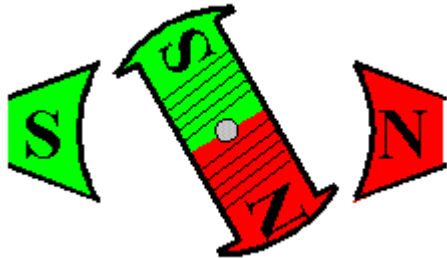
Rotor: der rotierende elektromechanische Teil

Gehäuse: Lager, Achse und Kühlung

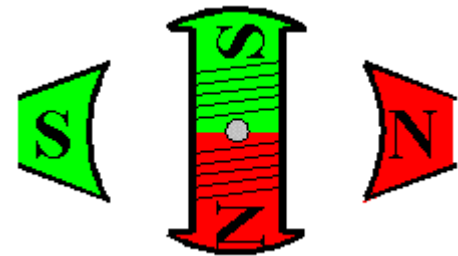
Funktionsprinzip



Kompassnadel (Permanentmagnet!)
in einem Magnetfeld



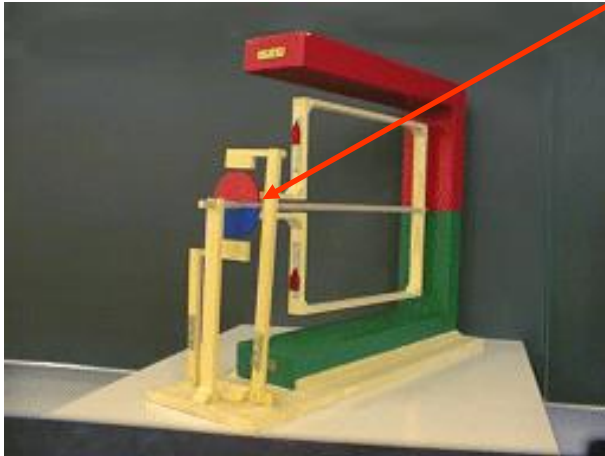
Drehbar gelagerten Elektromagneten
(stromdurchflossene Spule mit
Eisenkern)



Ändert sich die Richtung des durch seine Spule fließenden Stromes im geeigneten Augenblick bleibt der Elektromagnet in Bewegung (aufgrund seiner Trägheit überwindet er den "toten Punkt" und dreht sich weiter (Umpolen des Spulenstromes alle 180°).



Der Trick beim Gleichstrommotor Umpolen!



Der Kommutator (Polwender):

Damit die Drehspule nicht stehen bleiben, weil sich dann die ungleichnamigen gegenüberstehenden Magnetpole gegenseitig anziehen, wird die Stromrichtung in der Drehspule am Ende jeder halben Halbdrehung geändert. Dadurch ändern sich auch die Magnetpole der Drehspule und es stehen sich dann wieder ungleichnamige Magnetpole für eine weitere Halbdrehung gegenüber.

Der **Polwender** besteht aus zwei Schleifring-Hälften, deren Kontakte genau dann ihre Polarität ändern, wenn die Drehspule einen Polwechsel benötigt, damit sie sich weiterdrehen kann. (Simulation:

http://www.schulebw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_1/induktion/elektromotor.htm)
& <http://www.zum.de/dwu/depotan/apem105.htm>)

Moderne Elektromotoren werden elektronische Ventile verwendet (Transistoren, etc.)



Synchron-, Asynchron- & Drehstrommotor

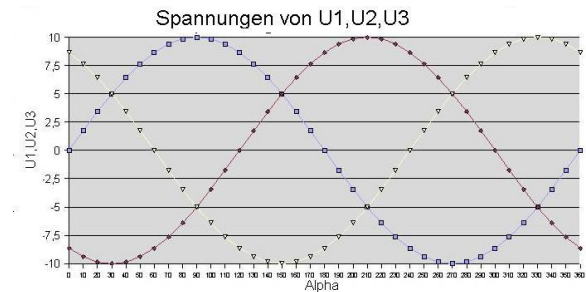
Umpolen überflüssig - aber ...

Synchronmotor: Wird mit Wechselstrom gespeist und dreht sich mit gleicher Frequenz und Phase wie dieser. Er eignet sich für Maschinen, die sehr gleichmäßig laufen müssen. Bei hoher Leistung „hinkt“ seine Drehung leicht nach.

Asynchronmotor: Wird mit Drehstrom (siehe unten) betrieben. Die Drehzahl des Motors ist geringer als die Drehzahl des antreibenden elektromagnetischen Drehfeldes, d. h. er rotiert *asynchron* zum Drehfeld. Dadurch wird in den kurzgeschlossenen inneren Wicklung des Rotors ein Strom induziert. Dieser Strom baut selbst wiederum ein magnetisches Feld im sich drehenden Rotor auf. Beide Magnetfelder wechselwirken so, dass letztlich ein Drehmoment erzeugt wird - das Rotorfeld wird mitgezogen

Drehstrom (Stark-, Kraftstrom) : Dreiphasenwechselstrom bezeichnet ein System von miteinander verketteten elektrischen Wechselströmen.

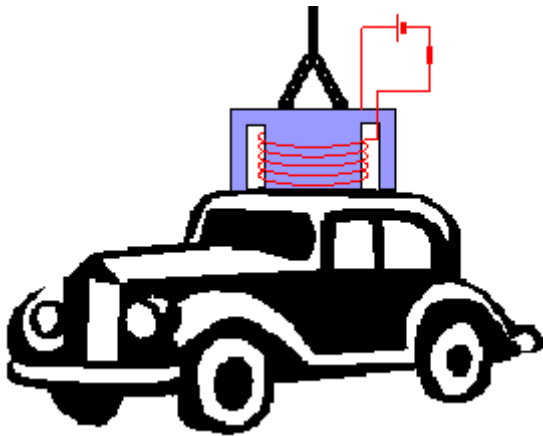
Drehstrommotor: Der Drehstromsystem erzeugt durch seine Phasenverschiebung ein sich drehendes Magnetfeld (Drehfeld), das einen einfach gestalteten Rotor zum Drehen bringen kann. Drehstrommotoren sind besonders einfach, betriebssicher und leistungsstark.



Lasthebemagnete

Die effizienteste Methode zum Heben und Transportieren schwerer Lasten (z.B. Container, Schrottautos, etc.):

Ferromagnetische Körper mit einer Masse von mehreren Tonnen können mit Hilfe von Elektromagneten gehoben werden. Neuerdings werden die Spulen dieser Magneten aus supraleitendem Material (d.h. aus extrem guten Leitern) hergestellt.



Vorteil eines Elektromagneten gegenüber einem Permanentmagneten: Beim Abschalten des Spulenstroms verschwindet die magnetische Wirkung nahezu (d.h. das Schrottauto löst sich wieder vom Magneten).



Verkehr

Autos der Zukunft:
Elektroautos & Busse

Von der Bim bis
zur U-Bahn

Elektroloks der
Zukunft

Komforte &
Kommunikation



Brennstoffzellen für PKW & Bus



Ford Focus FCEV Hybrid
Serienfahrzeug aus einer Kleinstserie



Die Zapfsäule von morgen



Hier gibt's noch ein Problem ...

Brennstoffzellenantrieb, kombiniert mit Hybrid-Technik:

Brennstoffzelle: erzeugt den Strom für den Elektromotor. Er kann allerdings auch über die Batterie betrieben werden.

Hybridtechnik: beim Bremsen wird der Motor als Generator betrieben. Die Bremsenergie geht nicht verloren, sondern wird als elektrischer Strom in einer Batterie gespeichert. Bei Bedarf wird dieser dann wieder aus der Batterie entnommen.

Reichweite: über 300 Kilometern

Höchstgeschwindigkeit ohne Getriebe: 128 km/h

Höchstgeschwindigkeit mit Getriebe: über 180 km/h

Treibstoff: flüssige (Liquid Hydrogen - LH2) & gasförmige (Compressed Gaseous Hydrogen - CGH2) flüssiger Wasserstoff wird außerhalb des Tankstellengeländes und bei minus 253 Grad Celsius per Tankwagen angeliefert.

Probleme:

große, schwere Tanks reduzieren das Ladevolumen
(Erhöhung des Drucks bei der Gasbetankung → Erhöhung der Reichweite oder kleinere Tanks)
zu wenig Tankstellen



Elektrische Bahnen aller Art

Fahrzeuge an mechanischen oder magnetischen Trag- und Leitsystemen:

Am Seil gezogen:



Seilbahn mit



und ohne Schienen



Zahnradbahn

Fahrzeuge nach dem Rad-Schiene-Prinzip:



mit eigenem Antrieb
(Triebwagen)

oder mit eine Lokomotive



Auf einer Schiene . . .



wie von Geisterhand getragen.



**aber stets mit
Strom betrieben!**



Die elektrische Eisenbahn

Auch in Zukunft die Nummer 1 im Transport:

- geringem Energiebedarf (geringe Verluste durch Rollreibung)
- bei maximale Effizienz durch große Beförderungsleistung (lange Züge durch beste Spurführungseigenschaften)

Züge werden immer schneller!

1851 nahe Washington (D.C.): Charles Grafton Page baut eine, von zwei Elektromotoren getriebenen Lokomotive. Der Strom kam aus einer Batterie. Die Lokomotive erreichte kurzzeitig eine Geschwindigkeit von 31 km/h. Die Fahrt wurde jedoch nach nur 40 Minuten durch technische Gebrechen beendet.

1865 in Berlin: Werner von Siemens stellt die erste fahrtüchtige elektrische Lokomotive vor.

1889 USA, Baltimore, elektrischer Triebwagen: 185 km/h

1903 Deutschland Triebwagen mit Drehstromantrieb: 210 km/h

1955 Frankreich, SNCF, 331 km/h

1981 Frankreich, SNCF, elektrischer Triebzug, 380 km/h

1988 Deutsche Bundesbahn, elektrischer Triebzug, 406.9 km/h

1990 Frankreich, SNCF, elektrischer Triebzug 515,3 km/h

Unerlässlich aber teuer: Bahninfrastruktursysteme und Komfortsysteme (Signale, Weichensteuerungssysteme, Bahnübergänge, Kontroll- und Videoüberwachungssysteme, Klimatisierung, Kommunikationssysteme, wie Fahrgastinformationssysteme, ...)



Hochgeschwindigkeitszüge heute



ICE Inter City Express

- Leichtbauweise: Materialien und Verfahren aus der Luft- und Raumfahrtindustrie. z.B. ICE-Zuges wie der eines Flugzeugs aus fugenlosem Leichtmetall mit bündig eingeklebten Fensterscheiben.
- geringer Luftwiderstand



Stromabnehmerbügel

- Stromabnehmer: Oberleitung (oder Stromschiene): aerodynamisch und möglichst leicht



Drehgestell

- Drehgestell: Auflage des Rahmens mit bester Federung



... und die dazu passende Elektrolok

→ **Elektrischer Antrieb** mit hoher Leistung (10.000 kW): elektronisch gesteuerte Drehstrom-Asynchronmotoren.

→ **Stromversorgung:**

- Hochgespannter Wechselstrom lässt sich mit geringeren Verlusten als Gleichstrom mit auf den langen Fahrleitungen (Oberleitung oder Stromschiene) übertragen.
- Unterschiedliche Versorgungssysteme durch historisch gewachsene Bahnnetze (z.B. Österreich: 15000 V, 16,7 Hz): Mehrsystemlokomotiven können mit unterschiedlichen Fahrleitungsspannungen und -frequenzen → grenzüberschreitender Verkehr ohne Lokomotivwechsel.

→ **Bremsen:**

- elektromotorischen Bremse (elektrischen Generatorbremse, "Nutzbremse"): Der Antriebsmotor wird beim Abbremsen als Generator verwendet (regenerativ, vgl. Folie 35)
- Elektrisches Bremsen (mit Widerständen und/oder regenerativ) an den Antriebsachsen
- Scheibenbremsen (mechanisch)
- Magnetschienenbremsen und in letzter Zeit auch Wirbelstrombremsen.



ICE mit Antrieb, Frequenzumschalter & Wirbelstrombremse



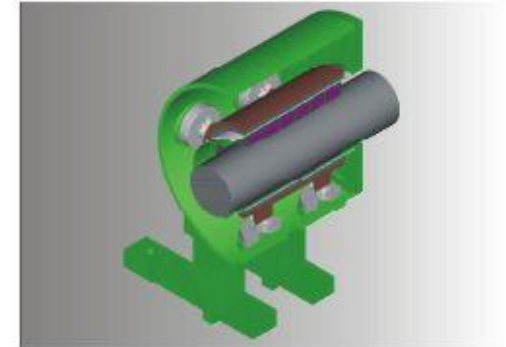
518km/h und was dahinter steckt!



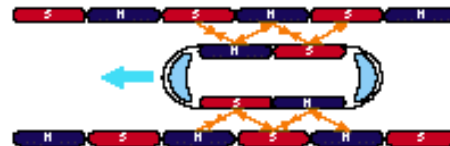
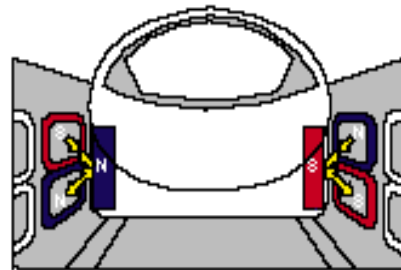
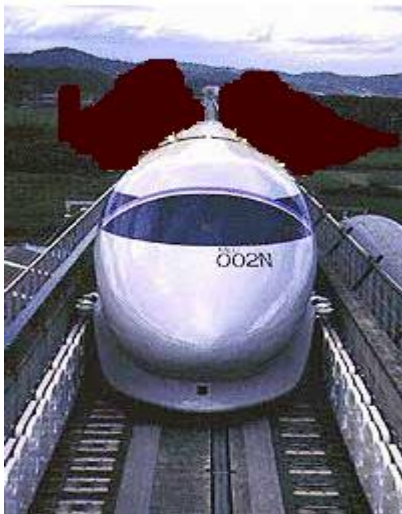
Magnetic Levitation:
Geschwindigkeit: 518 km/h

Supraleitung macht's möglich!

- der Zug schwebt reibungsfrei über den Magnetschienen!
- Energieverlust nur durch den Luftwiderstand



HTSL (HochTemperaturSupraLeiter) -
Magentlager



Die Seitenwände mit vertikal eingebauten Spulen werden beim raschen Vorbeifahren der supraleitenden Magneten an Bord des Zuges zu entgegengesetzt gepolten Elektromagneten. Der Zug wird gehoben! Die wechselnde Polung bewirkt Seitenstabilität durch Abstoßung.

Antriebsspulen erzeugen ein „wanderndes“ Magnetfeld. Auf die supraleitenden Magnete an Bord abwechselnd anziehende und abstoßende Kräfte.



Auch Komfort hat seinen (Strom-)Preis!

- **Elektronische Fahrplan-Informationen**



Die Ankunfts- und Abfahrtspläne der Bahnhöfe

Ihr persönlicher Fahrplan
auf dem Handy



- **Bordgastronomie**



• **Klimatisierung:**
eine Selbstverständlichkeit

- **Video- und Audioprogramme**



Köln - Stuttgart unter 2 Stunden.



• **Der Zug - ein rollendes Büro:** Laptop-Steckdosen, speziellen Verstärkern sorgen für einen störungsfreien Handy-Empfang!



Von der Bim ...

Der Personennahverkehr in Großstädten wird weitgehend elektrisch angetrieben!
Siemens' Elektrolokomotive(1879) macht es möglich!

Straßenbahnen (auch die “Elektrische”): Gleise in die Fahrbahn integriert
einst



1. Elektrolokomotive,
Berlin 1879

*Straßenbahn,
Wien 1912*



<http://www.sfcablecar.com/grip1.html>

jetzt



Weltweit führend: Niederflurtriebwegenserie „ULF“: eine Entwicklung der Wiener Linien!
modernste Technik & größte Bequemlichkeit:
Einsteigen auf nur 18 cm über der Straßenoberfläche
(Antriebsmotoren in den Seitenwänden übrigen Einrichtungen im Dachbereich).



...zur U-Bahn

S-Bahnen (Stadtschnellbahnen) & **U-Bahnen** (Metros):
elektrischer Schienen-Personennahverkehr in Großstadtreionen
auf besonderen Bahnkörpern vom Straßenverkehr unabhängig

1863 Londoner U-Bahn
1898 Otto Wagners Stadtbahn
1925 Elektrifizierung der Wiener Stadtbahn

} Eisenbahnsystem mit
Dampflokomotiven



- **Antrieb:**
Gleichstrom bzw. Drehstrom - Asynchronmotoren
Leistung: $2 \times 190 \text{ kW}$ bzw. $4 \times 100 \text{ kW}$
Stromversorgung:
750V durch Oberleitung bzw. eine
3. Schiene



...und automatisch Einrichtungen
zur Information und Abfertigung,
Anlagen zur Überwachung,
Notrufeinrichtungen

- **Sicherheit:** LZB-System.
(Linienzugbeeinflussung):
kontinuierliches, elektronisches
Zugsicherungssystem &
optische Systeme ...



Öffentliche Beleuchtung, Komfort & Sicherheitseinrichtungen

Lichterzeugung

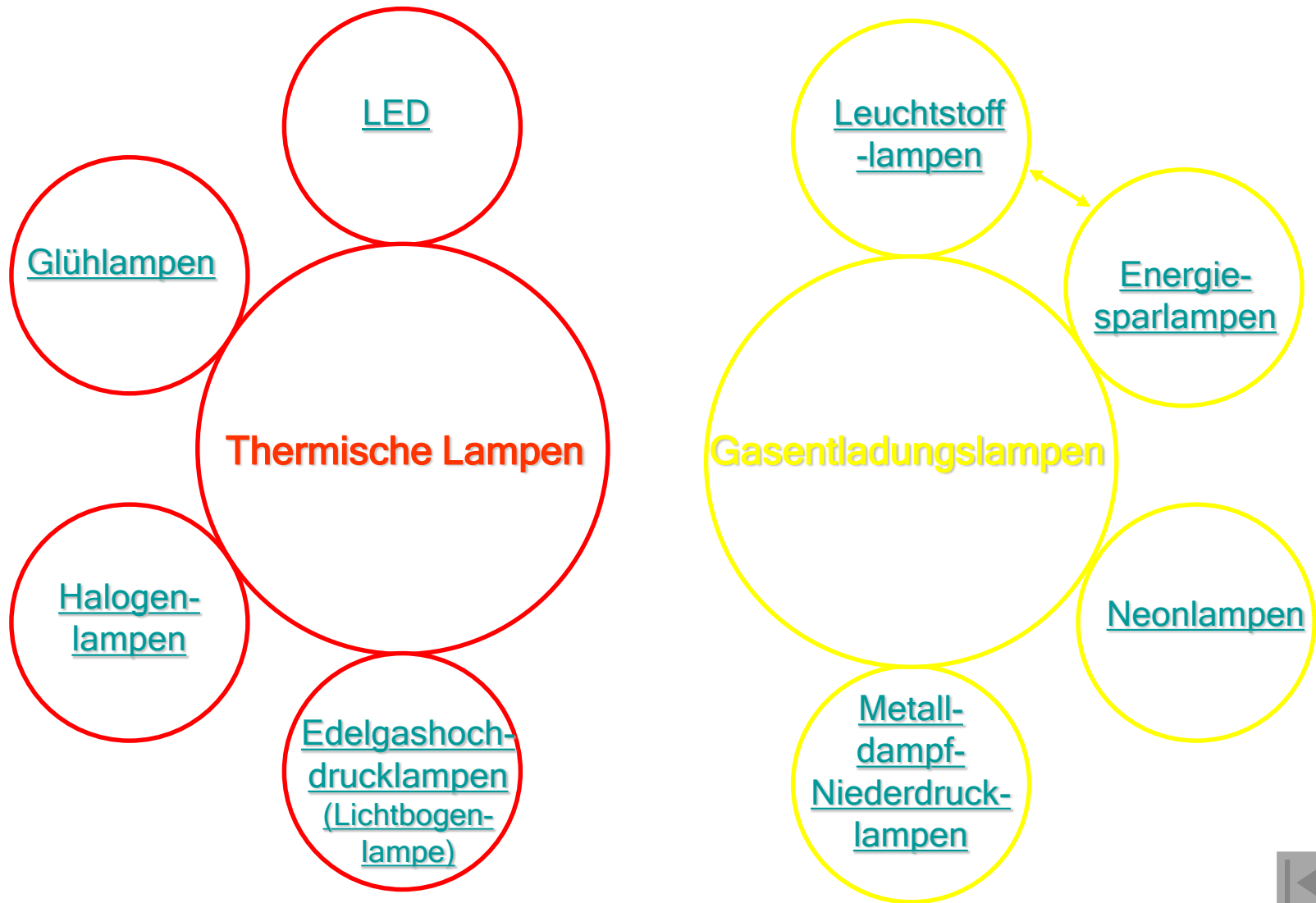
Verkehrsleitsysteme
Anzeigetafeln
Uhren

Beleuchtung
Anstrahlungen

Begleitheizungen für Rohre,
Heizungen für Gleisanlagen,
Verkehrsflächen, etc



Lichterzeugung



Glühlampen



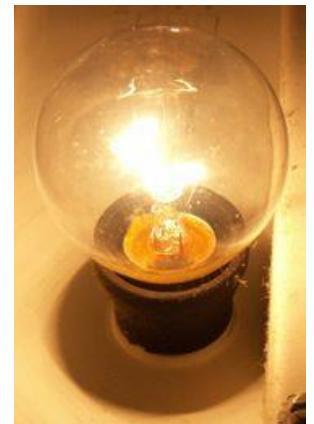
Ein elektrischer Leiter (Glühfaden) wird durch Stromdurchfluss so stark erhitzt, dass er glüht. Die aufgenommene elektrische Leistung wird als elektromagnetischer Strahlung (Infrarot- und sichtbares Licht) abgestrahlt und über Wärmeleitung und Wärmekonvektion an das Füllgas abgegeben.

Helligkeit und Farbe: Mit steigender Temperatur steigt die Strahlungsintensität. Das Strahlungsmaximum verschiebt sich aus dem Bereich der langwelligen Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) zu kleineren Wellenlängen in den Bereich des sichtbaren Lichtes. (Plancksches Strahlungsgesetz & dem Wiensches Verschiebungsgesetz).



Temperaturabhängigkeit des Glühfadenmaterials: auch hoch schmelzende Metall, z.B. Wolfram (Schmelztemperatur $3422 \pm 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$), früher auch Osmium: gelb - rötlich
weißes Licht („natürliches Licht - Sonne“): 6200 K nicht zu erreichen.

Glaskolben: In Umgebungsluft verbrennt der Glühfaden sofort. Vakuum bzw. Gasfüllung verhindern dies.



Halogen hilft sparen!



*Klassische Form
mit Tageslicht-Qualität*

Halogenlampen leben länger und leuchtet heller:

Sie funktionieren nach dem Prinzip der Glühbirne. Bei sehr hohen Temperaturen verdampft die äußere Schicht der Glühwendel. Bei Abkühlung, z.B. am Glaskolben, kondensieren die Wolframatomte wieder. Halogenzusatz verhindert bei einer Glaskolbentemperatur von mehr als etwa 25 °C den Niederschlag von Wolfram auf dem Glaskolben, Die Entfernung zur Glühwendel kann verringert werden. Das kleine Volumen bewirkt eine stärkere Erwärmung des Glases und ermöglicht einen höheren Betriebsdruck, was wiederum das Abdampfen des Drahtes verringert. Die Lampe hält länger. Wegen der hohen Temperaturen muss der Kolben aus Quarzglas sein. Daher werden Halogenlampen auch als Verdampfer, zum Heizen der Fixierwalzen Kopiergeräten, Laserdruckern und in der Halbleiterprozesstechnik ([RTA](#)) eingesetzt.

IRC-Halogenlampen (IRC = Infrared Coating, Infrarotbeschichtung): spezielle Beschichtung des Glaskolbens lässt Licht passieren, reflektiert aber Wärmestrahlung (Infrarot) auf die Glühwendel zurück → geringerer Wärmeverlust, erhöhte Lichtausbeute.

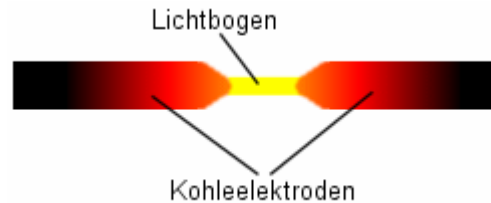


Reduktion des Energieverbrauchs gegenüber Standard-Halogenlampen: 45% bei verdoppelter Lebensdauer!



Edles Gas für edle Autos: die Xenon-Bogenlampen

Das Prinzip der Lichtbogenlampen: 2 Elektroden (Graphit) → Funkenüberschlag (Elektronen) bei hoher Spannung → Plasmaschlauch (dauerhafte Version einer Funken)

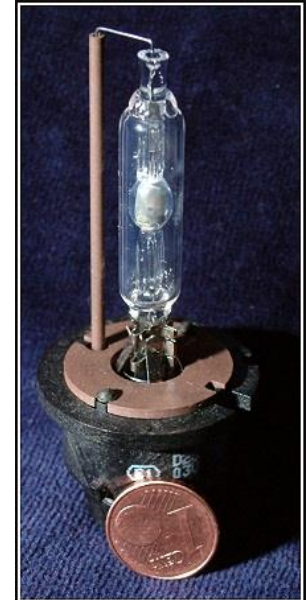


- **Vorteil:** sehr heiß, helles, sonnenlichtähnliches Licht (auch durch die zur Weißglut erhitzten Elektroden)
- **Nachteil:** Abbrand der Elektroden durch Luftsauerstoff

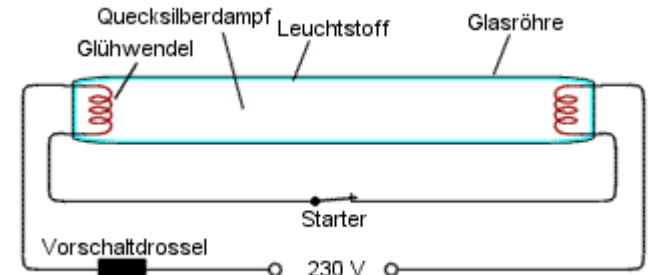
Metalldampf-Hochdrucklampen: Metallelektroden in einem Gas gefüllten Raum → der Strom des Lichtbogens ionisiert das Gas (z.B. Na, Hg) → Plasma (Lichtbogen) → kein Abbrand (längere Lebensdauer), bestimmte Teile des Spektrums durch Wahl des Füllgases (Stadien, Warenhäuser)

Füllung mit Xenon: nahezu kontinuierliches Spektrum im sichtbaren Bereich mit einer Farbtemperatur von ca. 6000 K → Tageslicht (lange Lebensdauer aber extrem teuer!)

Spezielle Anwendungen: Kino oder Effektscheinwerfer, Kraftfahrzeuge der Spitzenklasse (<http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Xenon-flash.gif>)



Kühl und sparsam: die Leuchtstoffröhre

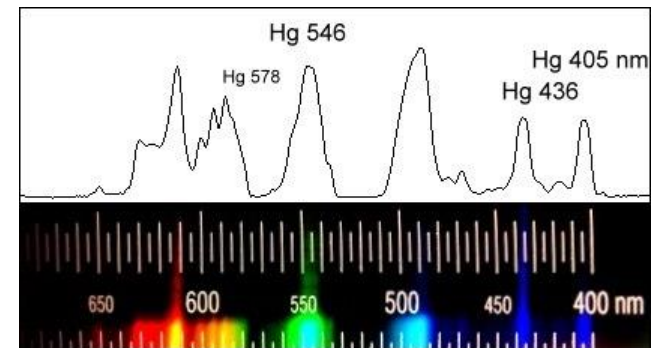


Das Prinzip: [Elektronenemission](#) an der Glühwendel schon bei geringen Temperaturen. Die Entladungs-Spannung (Wechselspannung) beschleunigt die um den Kathodenheizdraht angesammelten Elektronen zur jeweiligen Anode. Sie stoßen unterwegs mit den Quecksilberatomen zusammen. → Stoßionisation → [Plasma](#) strahlt bei Quecksilberdampf vor allem UV-Licht ab.

Leuchtstoffbeschichtung des Glases von Innen: setzt die UV-Strahlung in sichtbares [Fluoreszenzlicht](#) (weiß oder farbig) um.

Metall dampf-Niederdrucklampen: evakuierte Leuchtstofflampen mit geringen Mengen an Quecksilber- oder Natrium-Dampf.. → emittiertes Licht nur eine einzige (oder einige wenige) [Wellenlänge](#) (kohärentes Licht).

Anwendung: Fußgängerüberwegen, Straßenbeleuchtung



Spektrum der Leuchtstoffröhren

Der Hit beim Energiesparen: die Energiesparlampe

Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen): Leuchtstofflampen mit mehrfach gebogener Röhre, in der sich das Leuchtplasma ausbreitet (Platz sparend)

Einsparpotential durch Kompaktleuchtstofflampen:



$$(60 \text{ W}) \times (8000 \text{ h}) \times \left(\frac{0,17 \text{ EUR}}{1000 \text{ W} \cdot \text{h}} \right) = 81,60 \text{ EUR}$$



$$(15 \text{ W}) \times (8000 \text{ h}) \times \left(\frac{0,17 \text{ EUR}}{1000 \text{ W} \cdot \text{h}} \right) = 20,40 \text{ EUR}$$

Energieausbeute: ca. 500% besser als bei normalen Glühlampen
(→ bei gleicher Helligkeit ca. 80% Stromersparnis)

Weitere Vorteile:

lange Lebensdauer (ca. 5-15 mal so lange, wie herkömmliche Glühbirnen)

unterschiedliche Lichtfarben und Formen

Nachteil: verzögertes Startverhalten

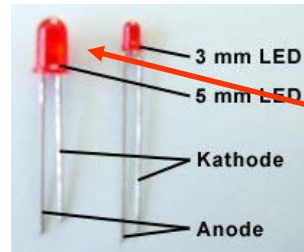
Gesamtersparnis bei 11 Watt (ca. eine 60-Watt-Glühlampe): über ihre Lebensdauer gerechnet etwa 80 € pro Lampe !



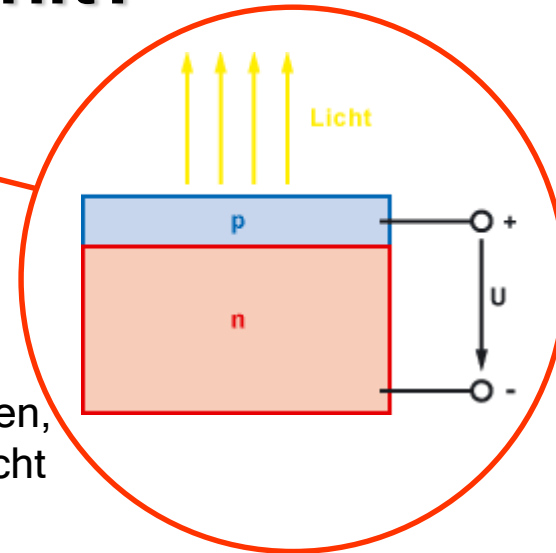
LED - Light Emitting Diode

Nur Warnlämpchen oder die Beleuchtung der Zukunft?

LED-Pflastersteinleuchten
in blau um einen Brunnen
gepflastert



LED sind
Halbleiterverbindungen,
die Strom direkt in Licht
umwandeln.



Aufbau und Funktionsweise: An den Grenzen von übereinander geschichteten Halbleiter (n, p) herrscht hohe Ladungsdichte. Die negativen Ladungsträger (Elektronen) treffen dort auf Stellen mit Elektronenmangel („positive“ Elektronenlöcher) und füllen diese auf. Dabei geben sie Energie in Form von Lichtblitzen ab. Schon bei kleinen Stromstärken leuchtet die Diode hell auf. Die Lichtstärke wächst proportional mit der Stromstärke.

Das Lichtsignal wird durch die linsenförmige Form des Kopfes gebündelt bzw. gestreut.

Vorteil: große Lichtausbeute, geringer Energieverbrauch, hohe Lebensdauer

Nachteil: lichtschwach (viele Leds ergeben eine Glühbirne), hohe Produktionskosten



Entwicklung der öffentlichen Beleuchtung (Wien)

- 1882:** erste Probebeleuchtung auf dem Graben & Stephansplatz mit elektrischen Bogenlampen.
- 1924:** erst Beleuchtung mit Glühbirnen in Wien (20 Stück 44 Volt-Lampen in Serienschaltung auf den Spanndrähten der Straßenbahn.
- 1950:** ersten 60 Leuchtstofflampen (Gaben).
- 1951:** Einsatz neuer Glühlampentypen (200 Watt)
- 1954:** erste Natriumdampflampen-Beleuchtung (67 Gasentladungslampen)
Auf verkehrsreiche Straßenkreuzungen werden die ersten zehn Quecksilberdampflampen montiert.
- 1955:** ersten größere, unterirdischen Fußgängerpassage:
815 zumeist 40 Watt-Leuchtstofflampen

Lampenstand 2001

- 241.381 Lampen insgesamt
- 105 Glühlampen
- 198.584 Leuchtstofflampen
- 1.371 Natriumdampf-Niederdrucklampen
- 32.810 Natriumdampf- Hochdrucklampen
- 7.140 Quecksilberdampflampen



Opernpassage



Anstrahlung von Gebäuden und Brücken

1952: 1. Anstrahlungen in Wien

Errichtung der ersten Anstrahlungsanlage (Parlament)



1995: erstmals in Europa:
Lichtleitfolien für die
Untersicht-Beleuchtung einer
Brücke zum Einsatz
(Friedensbrücke - Wien)

Effektbeleuchtung durch
Scheinwerfer: Donaustadtbrücke



2001: Wien Museumsquartier:
Scheinwerfer, Lichtsäulen (Lichtstehlen;
Lichtleitrohr) Hängeleuchten mit
besonders guter Optik (Streuung) und
geringer Leistung.



Lichtfasersystem: selbst leuchtende
Lichtkreise im Fußboden
(Bodenlichtelemente: gebündeltes
Licht wird von einem Projektor
in eine Kunststofffaser eingespeist →
gleichmäßiges, kontinuierliches Licht
über die ganze Länge;
minimale Erwärmung der Strahler
→geringer Verbrauch (50-Watt-
Lampe für drei Strahler)



Verkehrsleitanlagen, Laufleuchten & Tunnelbeleuchtungen



Tunnel Kaisermühlen (A 22-Donauufer-Autobahn, 2.150m, Durchfahrt ca. 2 Minuten, täglich bis zu 100.000 Fahrzeuge) 2.000 Leuchten, kontinuierliche Helligkeitsregelung, Oberkopf-Anzeigen).

Laaerberg-Tunnel (1. Wiener Straßentunnel, 280 m, A 23-Südosttangente, in 20 m Tiefe); Beleuchtung mit „Gegenstrahlprinzip“ (Licht strahlt blendfrei in einem bestimmtem Winkel gegen die Fahrtrichtung. Hindernisse sind gut erkennbar.



Schwarzenbergplatz: 183 Stück Aufbauleuchten, als "Tunnelleuchten" ausgeführt, beidseitig strahlend mit je 15 weißen LED. Die Steuerung ist freiprogrammierbar ausgeführt (z.B. als Lauflicht).



Elektrische Uhren und digitale Anzeigen



Das weltweit bekannte Würfeluhrn-Design für die öffentlichen Uhren in Wien

1964: ersten Springziffer-Uhren in Wien

Heute: LCD-Anzeige (Flüssigkristallanzeige) mit Leuchtstoffbalken von innen beleuchtet



Der letzte Schrei - ein Hybridsystem:
die Digital-Zeitanzeige erkennen kann. Nähert man sich dem Würfel, verschwindet sie. Sie wirkt durchsichtig und man blickt durch das Glas, das sich optisch "auflöst", auf die analoge Uhr.



Gewerbe, Landwirtschaft, Handel & Dienstleistungen

Der Verbrauch deckt sich
weitgehend mit jenem der

- Industrie
- privater Haushalte
- öffentlicher Einrichtungen
- und des Sektors Verkehr!

Aber nichts geht ohne:

Bürogeräte &
Kommunikation

(Mitarbeiter:
Georg Hofferk, bakk.techn.)



Bürogeräte sind Spitzenverbraucher!



... und das heizt uns ordentlich ein!
Abluft-Temperaturen von 40 bis 60°
bei einem Gerät sparen nur zu Hause
Heizkosten, nicht in Serverräumen!



10% des Stromverbrauchs im Dienstleistungssektor
dienen der Raumklimatisierung (34 Millionen Tonnen
CO₂ - Emission (≈76 TWh; Schätzung für die EU im Jahr
2010; Tendenz steigend)

Es summiert sich: PCs bestehen aus vielen kleinen Einzelverbrauchern und laufen häufig 7 Tage pro Woche 24 Stunden !

1 Standard-PC-Netzteil ca. 350-450 Watt (ohne Monitor), das entspricht 5-6 Glühbirnen

**Der PC verbraucht Energie solange er eingeschaltet ist,
auch wenn wir ihn nicht benutzen!**



Wie schlagen sich die Komponenten zu Buch?

Desktopgeräte (nicht mobile Geräte):

Energiefresser „Monitor“: im Bereich von mehreren 100 Watt.

Flachbildschirme sind leistungssärmer, aber der Verbrauch ist von der Helligkeit abhängig.

Der Prozessor: ca. 80-150 Watt; keine Stromsparmodi, dadurch unabhängig von seiner Auslastung permanent die maximale Leistung → Kühlkörper und Lüfter werden immer größer

Grafikkarte: sehr unterschiedlich für "normale" Zwecke völlig Energieverbrauch nicht nennenswert; High-Performance Grafikkarten ähnlich viel Leistung wie ein Prozessor!

Achtung: auch für 3D-Spiele usw. benötigt ! (vgl. [Private Haushalte!](#))

Festplatte: Motor ca. 10 Watt : 7200 Umdrehungen pro Minute. (In Standgeräten werden die Festplatten oft über Stunden nicht abgeschaltet, obwohl das die Lebensdauer erhöhen würde!)

Andere Komponenten (Soundkarten, Netzwerkkarten, CD-Laufwerke, etc.) kein Dauerbetrieb, vergleichsweise verbrauchsarm

Geschätztes Energiesparpotenzial im Dienstleistungssektor bis zu 50%!



Mobile Geräte (Laptops, Handhelds, Handys, etc)

sind auf relativ niedrigen Energieverbrauch optimiert (Versorgung durch Akku!)



Notebook-Netzteile: ca. 150 - 250 Watt (nicht immer die volle Leistung)

Indikator für Verbrauch: Erwärmung des Notebooks (Verlust in form von Wärme! z.B. frisch gebrannte CDs sind ziemlich heiß!)

Einsparung durch:

- ✓ Monitor und Festplatte schalten automatisch ab, bzw. gehen in den Standby-Modus
- ✓ Reduktion der Prozessor-Leistung des Prozessors durch automatisches Herabsetzen der Taktfrequenz bei nicht voller Rechenleistung (Energiespar-Modi und -Funktionen (automatisch voreingestellt) z.B. werden Laptopbildschirme beim Abstecken der Stromversorgung meistens automatisch dunkler
- ✓ Taktfrequenz und Energieverbrauch des Prozessors hängen linear zusammen.)

Achtung: Es lauern die "stillen Verbraucher"! (Modems, Netzwerk-Switches, Router, Modems, Standby, Kontrollleuchten, ...)



Dielektrikum

Als **Dielektrikum** bezeichnet man jenen Raum, in dem sich das elektrostatische Feld ausbreitet und der von Vakuum und von einem Isolator ausgefüllt ist. Die Ladungsträger sind dort nicht frei beweglich, werden aber durch ein äußeres elektrisches Feld „polarisiert“.

Elektrische Dipole entstehen durch

- Ladungsverschiebung in den Atomen oder Molekülen
- Ausrichtung bestehende, permanenten Dipole eines Isolators

Dielektrizitätszahl (Permittivitätszahl): Materialkonstanten

Je höher die Dielektrizitätszahl ist, desto mehr Energie kann in dem elektrischem Feld eines Kondensators gespeichert werden.

Simulation:

http://fipsgold.physik.uni-kl.de/medienserver/mediapages/experimentalphysics2/chapter01/free/dielektrika_im_elektr_feld.html



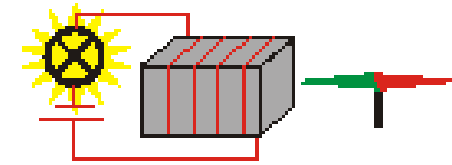
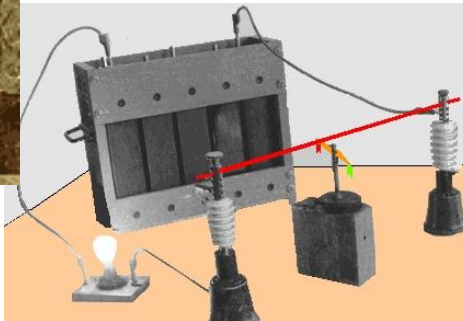
Elektromagnetismus

1919 von Hans Christian Oerstedt entdeckt



Oerstedt zeigt seinen Versuch

Der Versuchsaufbau, Simulation dazu: <http://www.walter-fendt.de/ph14d/mfleiter.htm>



Strom durchflossener Leiter (*links*) und Strom durchflossene Spule (*oben*).

Das Prinzip:

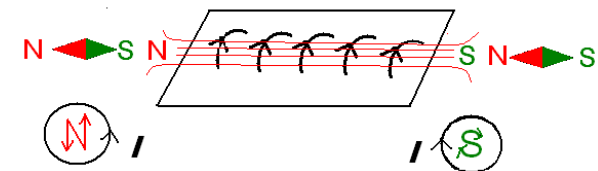
Von jeder elektrischen Ladung geht eine elektrische Kraft aus.

Sie erzeugen ein elektrisches Feld. Bewegte elektrische Ladungen (elektrischer Strom) erzeugen zudem ein Magnetfeld (→ elektromagnetische Felder). Beschleunigte Ladungen bewirken veränderliche Magnetfelder.

Die magnetische Kraft eines Strom durchflossenen Leiters

- zieht andere Magnete an
- macht ferromagnetische (=magnetisierbare) Stoffe magnetisch, z.B. Eisen.

Das Magnetfeld einer Strom durchflossenen Spule:
(Ein Eisenkern verstärkt das Magnetfeld!)



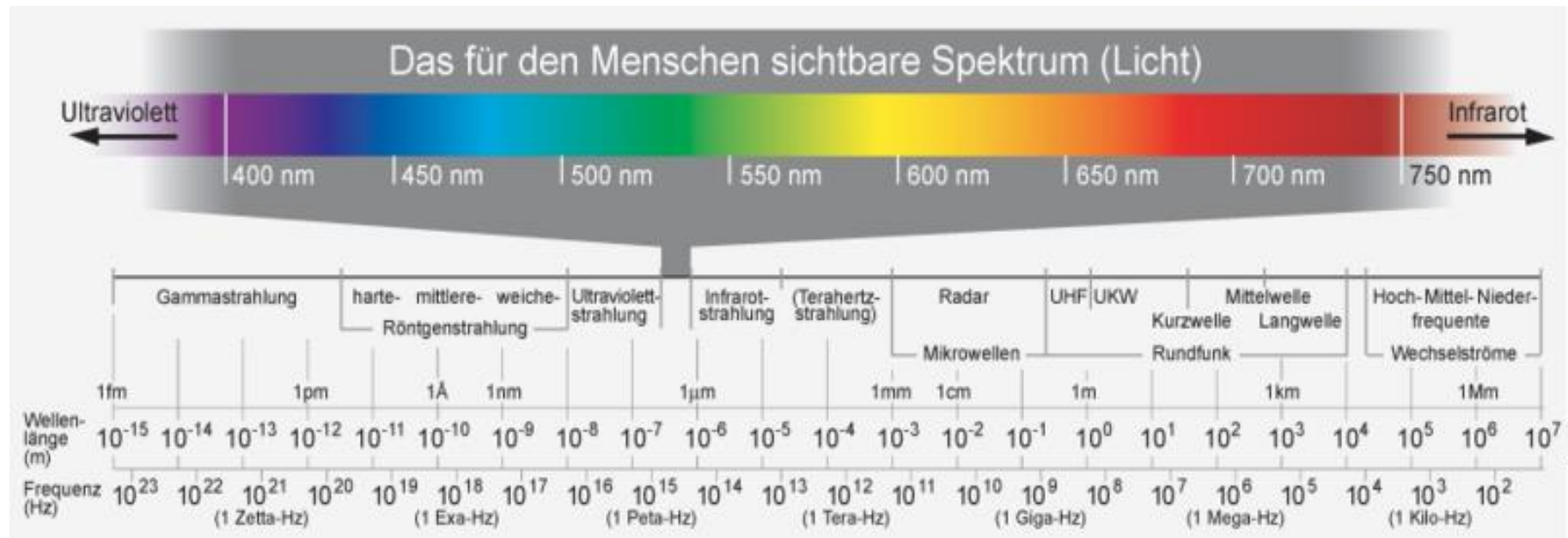
Elektromagnetische Wellen

- Ausbreitung von Veränderungen (Schwingungen) des elektromagnetischen Feldes: Das elektrische und das magnetische Feld stehen dabei senkrecht aufeinander.
- Transversalwellen: Ausbreitungsrichtung und Schwingungsrichtung stehen senkrecht aufeinander. (Simulation: <http://www.walter-fendt.de/ph11d/emwelle.htm>)
- Entstehung: durch Beschleunigung von elektrischen Ladungsträgern (jede Änderung des elektromagnetischen Feldes).
- Maxwell'schen Gleichungen: Die zeitliche Änderung des elektrischen Feldes ist stets mit einer räumlichen Änderung des magnetischen Feldes verknüpft. Ebenso ist wiederum die zeitliche Änderung des magnetischen Feldes mit einer räumlichen Änderung des elektrischen Feldes verknüpft. Für periodisch wechselnde Felder ergeben diese Effekte zusammen eine fortschreitende Welle.
- Ausbreitungsgeschwindigkeit: endliche, konstante Geschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit) aus. Kein Medium notwendig (Vakuum!) In einem Medium (also in Materie) verringert sich die Geschwindigkeit.
- Energie der elektromagnetischen Strahlen: nur in Quanten verfügbar..
- Elektromagnetische Strahlung kann mit elektrisch geladenen Teilchen wechselwirken



Das elektromagnetische Spektrum

Elektromagnetische Wellen nach der Wellenlänge sortiert:



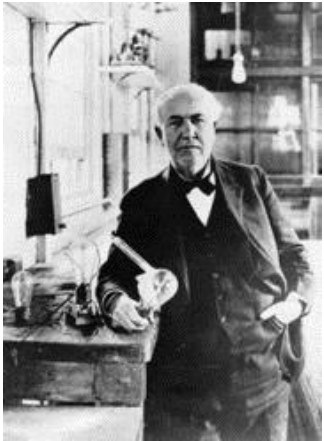
Dr. Carl Auer, Freiherr von Welsbach (1858-1929)



Österreichischer Chemiker, Unternehmer & Erfinder unter anderem der **Metallfadenlampe** (1898). Sie war die erste funktionierende elektrische Glühlampe.

Sein 1890 patentiertes Verfahren zur Herstellung von Drähten aus Osmium, das damals als Metall mit dem höchsten Schmelzpunkt galt. Später verwendete man eine Osmium-Wolfram-Legierung (Wolfram schmilzt bei noch höheren Temperaturen).

Metalldrahtglühlampe: sehr hoher Einschaltstrom → rasches Steigen des Widerstandes & der Temperatur → volle Leuchtkraft sofort nach dem Einschalten



Thomas Alva Edison's Glühlampe (1879) bestand aus einer evakuierten Glasbirne mit **Kohleglühfaden**. Durch die vergleichsweise niedrigen Temperaturen der Kohlenfadenlampe liegt ihr Strahlungsmaximum im infraroten Bereich (→ düsteres, gelb-oranges Licht, viel Wärme).

Kohlenfadenlampen: Ladungsträger werden erst mit steigender Temperatur freigesetzt → langsame Zunahme des Widerstandes und der Helligkeit.



Strahlung und Temperatur

Erwärmt man einen beliebigen Stoff durch Energiezufuhr von außen, so emittiert er elektromagnetische Strahlung!

Sowohl die gesamte abgegebene Strahlungsenergie als auch die Wellenlängenverteilung hängen von der Temperatur des Körpers ab.

Stefan-Boltzmann-Gesetz (Josef Stefan und Lothar Boltzmann, 1879):
Je heißer ein Körper ist, desto mehr Licht emittiert er.

Dabei geht die Temperatur in der vierten Potenz ein: $P = \sigma T^4 A$
(T die absolute Temperatur, A die Fläche und $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$).



Wien'sches Verschiebungsgesetz (Wilhelm Wien, 1893)

Je heißer ein Körper wird, desto mehr verlagert sich die abgegebene Strahlung zu immer kürzeren Wellenlängen:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

So konnte auch die Temperatur der Sonne abgeschätzt werden:

Das bei uns eintreffende Wellenlängenmaximum liegt bei 490 nm.

Das Wien'sche Gesetz liefert damit eine Sonnentemperatur von etwa 6000 K.



Vgl. dazu <http://www.schulphysik.de/java/physlet/planck/stefan.html>



Energie aus Wasserstoff

Was ist Wasserstoff?

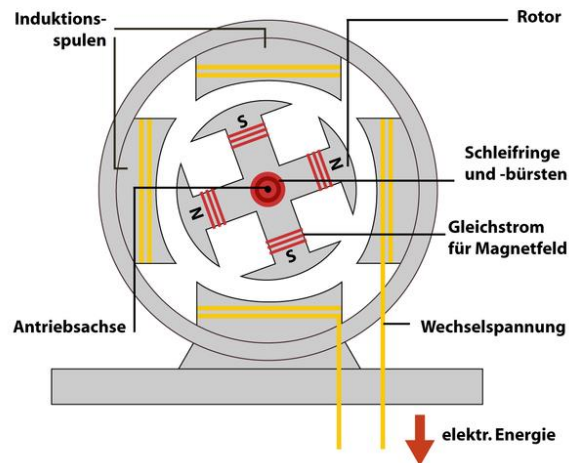
Wasserstoff - chemisch H_2 - ist bei Zimmertemperatur ein farb- und geruchloses Gas, das etwa 14,4-mal leichter ist als Luft. Zusammen mit Sauerstoff ergibt er ein stark brennbares und hochexplosives Gemisch, das auch als Knallgas-Gemisch bezeichnet wird. Bei dieser Verbrennung entsteht ausschließlich Wasser. Wasserstoff ist das Element mit der geringsten Dichte und daher extrem flüchtig.

Wasserstoff - so wird er produziert

Wasserstoff (H_2) entsteht bei der Aufspaltung von Wasser (H_2O):
Wird an zwei Elektroden, die in Wasser getaucht sind, Gleichstrom angelegt,
so entsteht am Pluspol Sauerstoff, am Minuspol Wasserstoff. Dieser Vorgang wird als Elektrolyse bezeichnet.
Wasserstoff aus Erdgas und Wasserdampf ist billiger aber weniger umweltfreundlich (CO_2).

Der Generator

Prinzip: Mechanische Leistung wird in elektrische Leistung umgewandelt (Dynamo, Kraftwerke). Auf die bewegten elektrischen Ladungen in einem Magnetfeld wirkt die Lorentzkraft und setzt sie in Bewegung (vgl. Induktion). Diese Ladungsverschiebung bewirkt eine Potenzialdifferenz, bzw. elektrische Spannung zwischen den Enden des Leiters (vgl. Induktionsspannung).



Bauteile:

Stator: feststehenden Teil, der im Prinzip eine große Induktionsspule mit Eisenkern (zur Vermeidung von Wirbelströmen aus vielen einzelnen Blechlamellen aufgebaut)

Rotor: drehbare Teil des Generators; führt über die Welle (→Turbine) die mechanische Leistung zu.

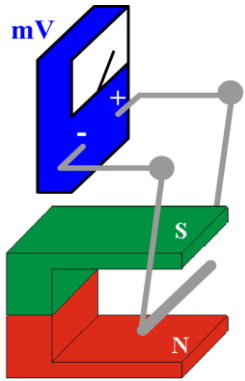
Simulation: http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/simulationen/11generator/generator.htm



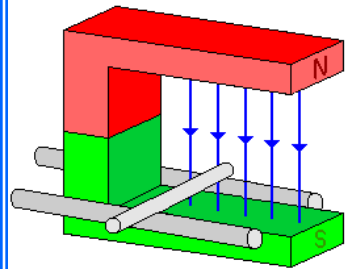
Induktion

Elektromotorisches Prinzip: Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie Auf bewegte elektrische Ladung (Strom) in einem Magnetfeld wirkt auf diese (bzw. den Leiter) eine Kraft ([Lorentzkraft](#))

Generator-Prinzip: Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie.



Lässt man die Leiterschaukel - einmal angestoßen - im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten hin- und her schwingen, so kann man am empfindlichen Messgerät eine Spannung feststellen. Das Entstehen einer Spannung bei der Bewegung eines Leiters im Magnetfeld kann man mit Hilfe der Lorentzkraft verstehen: Im Leiter werden bewegliche Ladungsträger (z.B. Elektronen) mitbewegt.

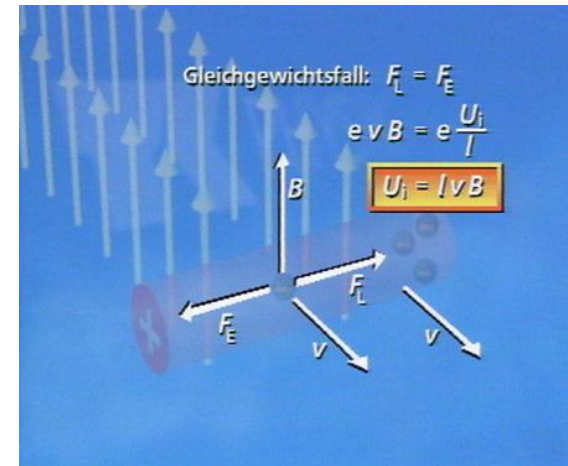
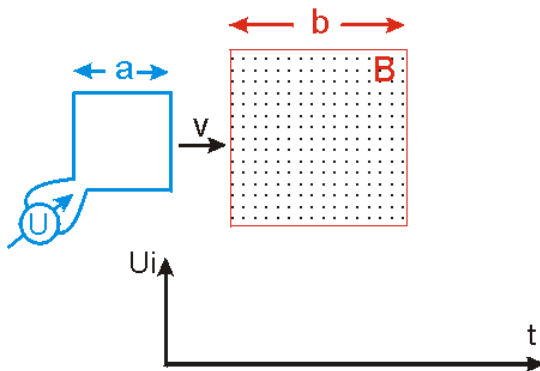


Mit der UVW-Regel der linken Hand ergibt sich bei einer Bewegung nach links eine Lorentzkraft auf die Elektronen, die aus der Zeichenebene gerichtet ist. Daher erhält der nach links bewegte Stab vorne einen Minuspol und hinten einen Pluspol (Elektronenmangel \rightarrow Spannung). Bei der Bewegung in der Gegenrichtung wird der Stab umgepol. Ruht der Stab, so kommt es zu keiner Ladungstrennung. Ist die Stange in Ruhe, gibt es keine Kraft und daher auch keine Induktionsspannung.



Induktionsspannung

Induktionsspannung entsteht durch die Relativbewegung von Leiter und Magnetfeld. Sie hängt von der Änderung der Anzahl der geschnittenen Feldlinien mit der Zeit (Beschleunigung, bzw. Änderung der Stärke des Magnetfeldes) ab. Die Richtung des induzierten Stroms ist von der Bewegungsrichtung und der Richtung des Magnetfeldes abhängig, die Stärke der Induktionsspannung U_i von der Stärke des Magnetfeldes B , von der relativen Geschwindigkeit der Bewegung v und von der Länge des Leiters l .



Induktion in einer Spule: Die Induktionsspannung ist um so größer je mehr Windungen (N) die Spule hat, je größer die Grundlänge d der Spule und je kräftiger das Magnetfeld (B) ist.

Induktionsgesetz (Faraday'sches Gesetz):

$$U_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

N ... Windungszahl
 t ... Zeit
 Φ ... magnetischer Fluss
(Anzahl der Feldlinien)

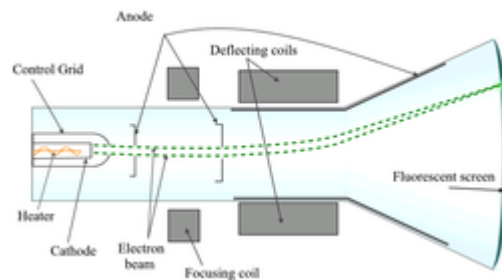
Lenz'sche Regel: Der Induktionsstrom wirkt stets seiner Ursache entgegen!



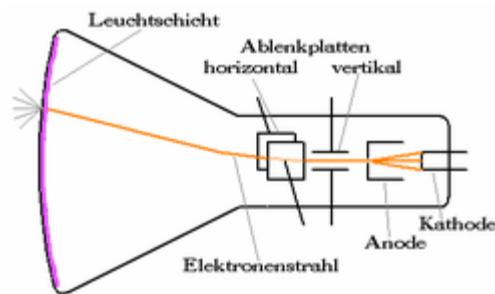
Kathodenstrahlröhren



Oszilloskop-Röhre

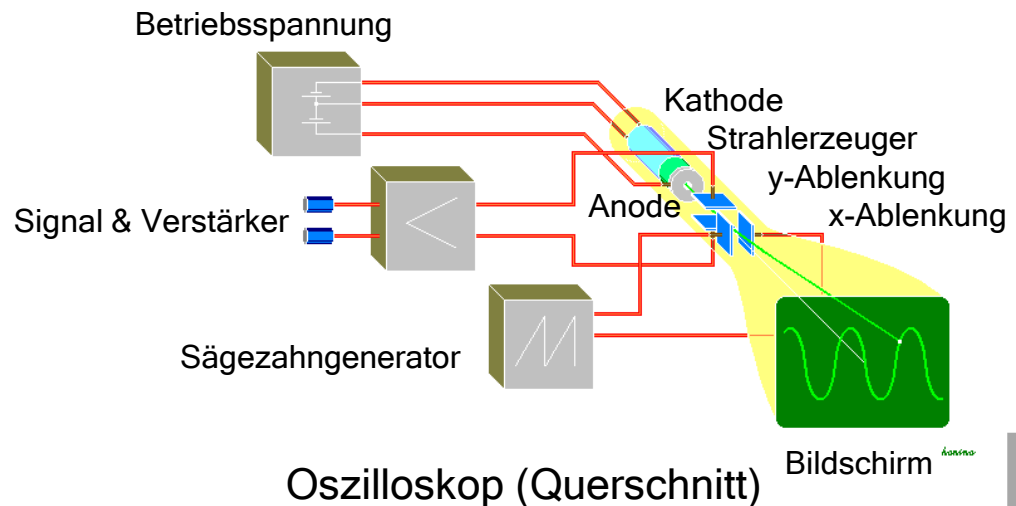


magnetische Ablenkung



elektrostatische Ablenkung

Sie bestehen aus einem luftleeren, trichterförmigen Glasbehälter. Je nach der gewünschten Helligkeit eines Bildpunktes werden mehr oder weniger Elektronen von einer Glühkathode (eine Glühwendel ähnlich wie in herkömmlichen Glühbirnen) herausgelöst und mittels Hochspannung zur weiter vorn liegenden Anode hin beschleunigt. Durch den vor der Kathode liegenden Wehneltzylinder werden sie fokussiert (→ Helligkeit) und gesteuert. Die Anode hat die Form einer Lochblende, sodass die Elektronen auf den dahinter liegenden Leuchtschirm treffen.



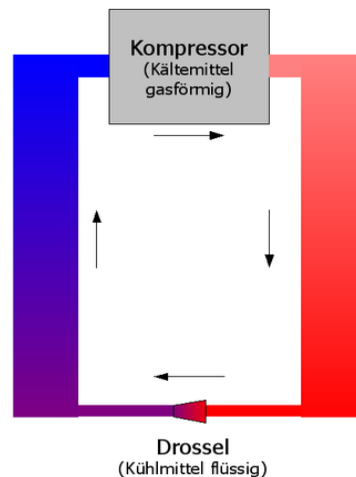
Die Kompressionskältemaschine

Zum Kühlen wird die Verdampfungswärme bei Wechsel des Aggregatzustandes von gasförmig zu flüssig genutzt. Wärme niedriger Temperatur (z.B. 5 °C) wird in Wärme hoher Temperatur (z.B. 30 °C) unter Zufuhr von Arbeit umgewandelt.

Hier wird das gasförmige Kältemittel komprimiert (verdichtet). Die Temperatur steigt.

Kalt!
Hier nimmt das Kältemittel Wärme aus der Umgebung auf, kühlt die Umgebung ab und verdampft (geringer Druck!)

Verdampfer
(kalte Seite,
geringer Druck)



Kondensator
(warme Seite,
hoher Druck)

Warm!
Wärme kann an das Heizsystem abgegeben werden, wodurch Abkühlung und Kondensation (Verflüssigung) eintritt.

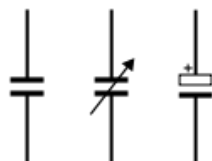
Das flüssige Kältemittel tritt durch ein Expansionsventil. Der Druck wird abgebaut und das Kühlmittel verdampft unter Wärmeaufnahme aus der Umgebung.



Der Kondensator

Leiter (meist Platten → „Plattenkondensator“), auf denen elektrische Ladungen gesammelt werden, um elektrische Energie im elektrischen Feld zu speichern.

Durch Anschluss an eine Gleichspannungsquelle, wird der Kondensator aufgeladen. Die gespeicherte Ladung (Q) ist der Spannung (U) proportional. Die Proportionalitätskonstante heißt „Kapazität“ (C) und ist von den Abmessungen des Leiters, der Entfernung der Pole und von dem zwischen diesen befindlichen Isolator (Dielektrikum) abhängig.

Schaltzeichen:  $C = \frac{Q}{U}$ Einheit: [C] = Farad (F)

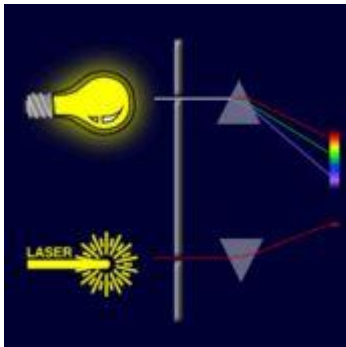
Plattenkondensator- Simulation: <http://www.physicslab.co.uk/capacitance.htm>
http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/plattenkond.htm
(Kennwort: medien, Passwort: uni-kl)



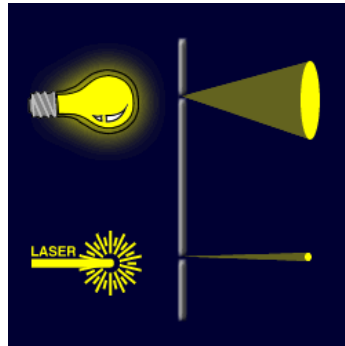
Laser

Laser ist ein Akronym von **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

Man kann Licht auch als kleine Teilchen auffassen. Beim Laser sind diese Teilchen alle gleich und strömen alle in die gleiche Richtung. Weil das Laserlicht so geordnet ist, können wir es extrem genau steuern und kontrollieren..



Bei Laserlicht sind alle Wellenberge und -täler aneinander ausgerichtet. Das Licht ist „monochromatisch“, hat also stets genau die gleiche Farbe (Frequenz) und schwingt stets in der selben Stelle (Phase) in die gleichen Richtung (Polarisation).



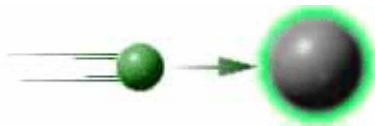
Es hat auch stets gleiche Intensität und Richtung. Laserlicht ist vollständig geordnet!

Der Laser ist eine sehr präzise Lichtquellen zur Datenübertragung (in Glasfasern), in CD- und DVD-Playern und zu verschiedene wissenschaftlichen, medizinischen und technischen Zwecken.

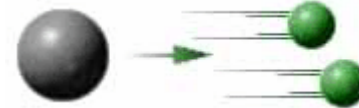


Entstehung von Laser-Licht

Wenn ein Photon ein Atom trifft, das schon angeregt ist, so gibt das Atom ein neues Photon ab, das **völlig identisch** mit dem einfallenden Photon ist. Wir nennen diesen Prozess "stimulierte Emission".



Ein Photon trifft ein angeregtes Atom...



und das Atom emittiert ein neues Photon, das *genau gleich* dem ersten ist. Es wird durch stimulierte Emission geklont und man erhält zwei identische Photonen

Energiepumpen: Damit das passieren kann müssen die Atome im „angeregten“ Zustand sein. Dazu muss man elektrische Energie in die Atome pumpen. Wenn ein angeregtes Atom ein Photon aussendet, kann es mehr angeregte Atome treffen und einen kleinen Erdrutsch an Photonen auslösen.

Hohe Intensität und gleiche Richtung entsteht durch wiederholtes Reflektieren an Spiegeln.

Simulationen: <http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/lasers/lasers4.html>



CD-ROM



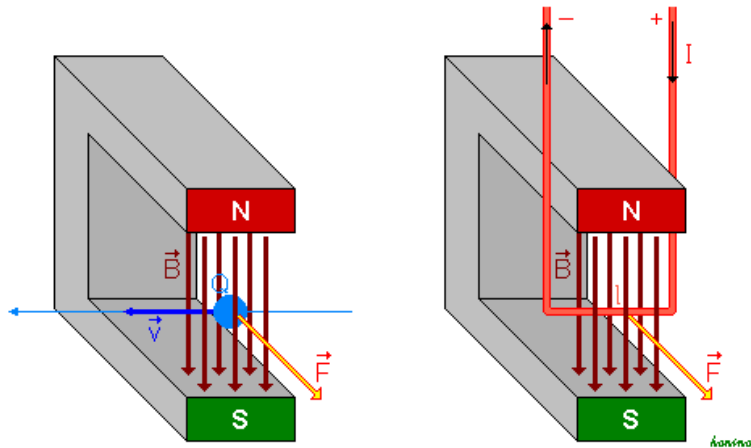
Industrie



Lorentzkraft

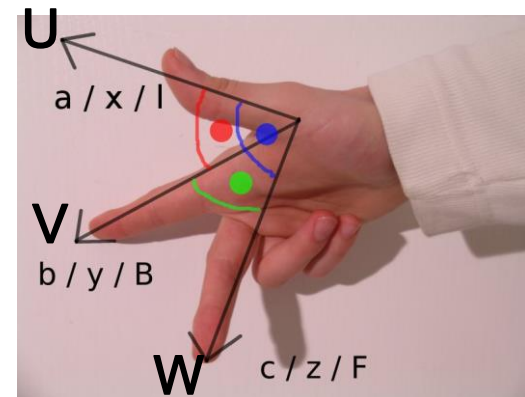
Wenn elektrischer durch sein Magnetfeld auf einen Magneten wirkt (vgl. [Elektromagnetismus](#)), so muss auch das Magnetfeld auf die bewegte Ladung in einem Stromleiter wirken (Kräfte sind „Wechslewirkungen“ → jede Kraft bewirkt eine Gegenkraft). Die Kraft, die auf einen Strom durchflossenen Leiter im Magnetfeld wirkt, heißt „Lorentzkraft“.

→ Simulation: http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/simulationen/09lorentzkraft/lorentzkraft.htm



Die Stärke der Kraft (F) ist abhängig von:

- der Ladungsmenge (Q)
 - der Geschwindigkeit (v)
 - der Stärke des Magnetfeldes (magn. Induktion B)
- } → Stromstärke (I)



Die Richtung der Kraft ergibt sich aus dem Vektorprodukt von $Q \cdot (v \times B) = F$ durch die UVW-Regel:

U (Ursache)=Stromrichtung

V (Vermittlung)=Richtung des Magnetfeldes

W (Wirkung) = Kraft



Mikrowellen

Elektromagnetische Wellen: Wellenlängen im Bereich von mm bis dm
Frequenzen: 2 bis 100 GHz (Gigahertz)

Vorzüge: kurze Wellenlänge (wichtig für Informationsübertragung und Erwärmung)

Wärme durch Mikrowellen:

In schlecht leitenden Flüssigkeiten und Festkörpern führen rasch wechselnde Felder zu ständiger, rascher Änderung der elektrischen Polarisierung. (Ausrichtung der auch im schlechten Leiter vorhandenen Dipole.) Dadurch wird die Strahlungsenergie in Wärme umgesetzt. Je höher die Frequenz ist, und je leichter das Material polarisierbar ist, umso höher ist Absorption.

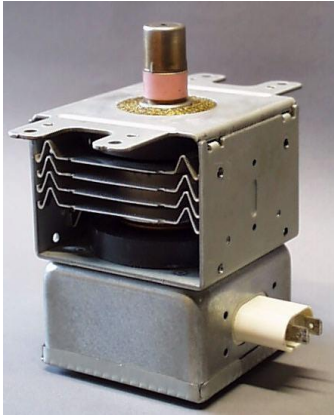
Anwendungsgebiete: Medizin (Wärmetherapie) & Kochen: hohe Wassergehalt von Muskeln und Lebensmittel - H₂O absorbiert aufgrund der guten Polarisierbarkeit besonders stark
technische Bereiche (gleichmäßige Erwärmung von Werkstoffen)

Sind Mikrowellen schädlich?

Die Energie der Mikrowellen (und anderer elektromagnetischer Wellen vergleichbarer Wellenlänge) ist für die Veränderung von Molekülen (Spaltung, Ionisation), die eine Schädigung des Gewebes bewirken, zu klein. Auch ihre Intensität (Erwärmung) ist zu gering, um direkt zu schaden. Sekundäre Schäden können allenfalls durch die Polarisierung & durch schwache Induktionsströme, die körpereigene Ströme (Gehirn, Nerven) beeinflussen, auftreten. Solche wurden bislang aber nicht nachgewiesen.



Erzeugung von Mikrowellen



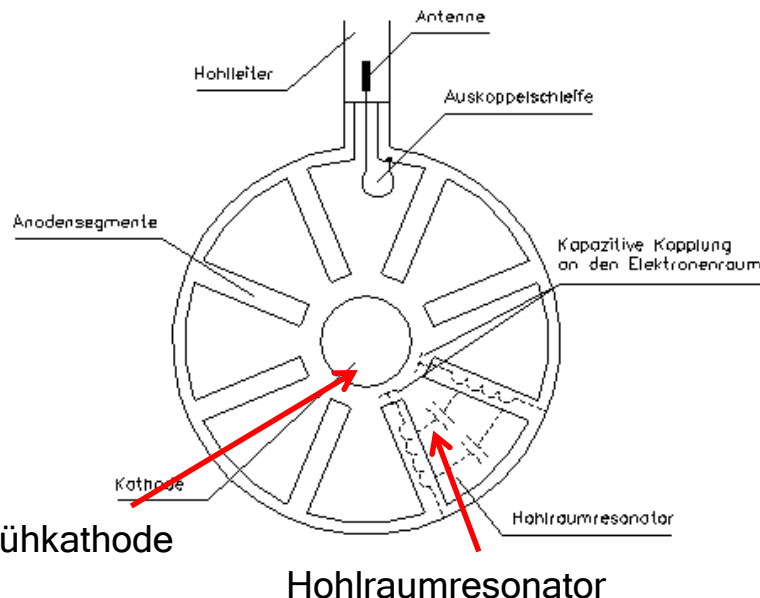
Die Magnetfeldröhre (Magnetron) eine Frequenz von 2455MHz bei einer Ausgangsleistung von 500W.

Weitere Bauteile:

Hochspannungstrafo: Versorgung der Anode (bis zu 5 kV) und der Glühkathode.

Ventilator: kühlt das Magnetron und bläst dessen Verlustwärme durch den Garraum

Innenraum (Garraums): Die Innenwände bestehen Metall und wirken als Faradayscher Käfig. Strahlung kann daher nicht austreten.



Am einfachsten lässt sich die **Funktion** eines Magnetrons mit der einer Pfeife vergleichen. Wenn in der Pfeife ein Luftstrom über eine scharfe Kante streicht, entsteht im Pfeifenkörper eine Schwingung. Im Magnetron wird ausgehend von der Glühkathode ein Elektronenstrom erzeugt, der durch das Magnetfeld der zweier Ringmagnete in eine kreisförmige Bahn umgelenkt wird. Dabei streichen die Elektronen entlang der Schlitze in der Anode und regen Schwingungen in den Resonatorkammern an.



Stromwärme & Stromarbeit

Beim Zusammenstoß mit den Atomrümpfen verlieren die Elektronen Energie (Reibung). Dies erfordert eine permanente elektrische Kraft, damit sich die Elektronen mit konstanter Geschwindigkeit weiter bewegen und verursachen außerdem Wärmeverluste. Diese Stromwärme ist gleich der elektrischen Arbeit.

Dazu einige wichtige Größen, Begriffe und Zusammenhänge:

Elektrische Arbeit:

$$W_{el} = E_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t$$

U ... Spannung
I ... Stromstärke
t ... Zeit

$$\text{Denn: } W_{el} = U \cdot \Delta Q \text{ und } \Delta Q = I \cdot \Delta t$$

Elektrische Leistung:

$$P_{el} = U \cdot I$$

Ein Beispiel:

2 Tauchsieder
gleiche Wassermenge
gleiche Wärmeleistung
→ gleiche Endtemperatur



Energiebedarf, um Elektronen zu bewegen

$$E_{el} = UIt$$
$$[E_{el}] = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J}$$
$$P_{el} = \frac{E_{el}}{t} = UI$$
$$[P_{el}] = 1 \text{ VA} = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ W}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$
$$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m}$$
$$\Delta T = \frac{9 \text{ kJ}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 0,2 \text{ kg}}$$
$$\Delta T = 11 \text{ K}$$
$$P_{el} = \frac{Q}{t}$$
$$Q = P_{el} \cdot t$$
$$Q = 300 \text{ W} \cdot 30 \text{ s}$$
$$Q = 9000 \text{ J}$$



Supraleiter

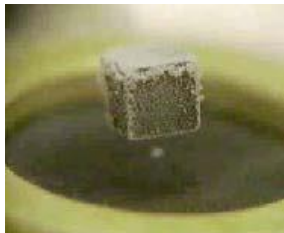
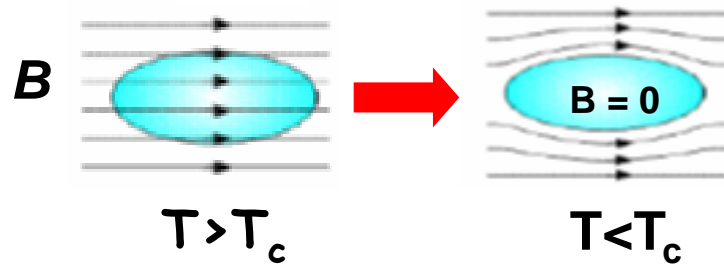
verlieren unter einer bestimmten Temperatur T_c (Sprungtemperatur) ihren elektrischen Widerstand

→ keine Energieverluste

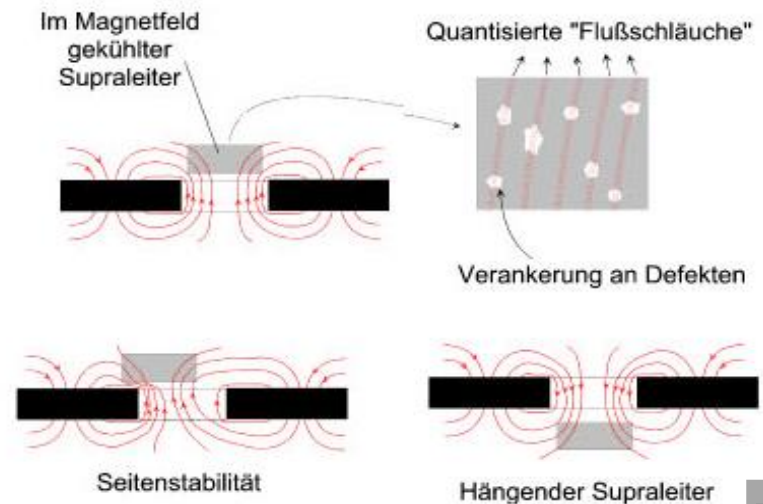
→ elektrische Ströme (Wirbelströme) bleiben erhalten

Meißner-Ochsenfeld-Effekt:

Typ I -Supraleiter verdrängen das Magnetfeld (B) völlig



Typ II -Supraleiter bündeln das Magnetfeld zu "magnetischen Schläuchen"



Wärme

Wärme(energie), auch Wärmemenge: dient zur Vergrößerung der inneren Bewegungsenergie (kinetischen Energie der Molekularbewegung) und erhöht somit die Temperatur (=Maß für die mittlere Translationsenergie der Moleküle).
Einheit der Wärmemenge: J (Joule, Newtonmeter)
Einheit der Temperatur: K (Kelvin) bzw. °C (Celsiusgrade.)

Energietransport durch Wärme: Übergang von Energie zwischen zwei Körpern aufgrund der ungeordneten Molekularbewegung.

- Wärmeleitung: Übertragung zwischen Teilchen benachbarter Körper.
- Wärmeströmung (Konvektion): Wärmetransport durch bewegte Stoffmengen:
Grundlage jeder Zentralheizung
- Wärmestrahlung: berührungsfreier Übergang zwischen Körpern
verschiedener Temperatur

Kühlen durch Verdampfen: Verdampft man eine Flüssigkeit ohne Wärmezufuhr, so wird die dafür notwendige Energie (Verdampfungswärme) der Umgebung entzogen: Es tritt Abkühlung ein.



Wärmewirkung

Warum kann der elektrische Strom Wärme erzeugen?

Die freien Elektronen stoßen mit den Atomrümpfen des Metalls zusammen. Dadurch werden die Atome zum Schwingen angeregt und es steigt die Geschwindigkeit der Atome an. Je schneller sie schwingen, desto höher wird der innere Widerstand und die Temperatur. (Simulation: [Molecular Expressions: Electricity and Magnetism - Interactive Java Tutorials: Resistance at the Molecular Level](#))

Dazu einige wichtige Größen, Begriffe und Zusammenhänge:

Das Ohmsche Gesetz (Zusammenhang zwischen Spannung U und Stromstärke I):

$$I = U/R$$

R ... elektrischer Widerstand (Einheit: Ohm $[\Omega]$)

$$R = \rho \cdot l/A$$

ρ ... spezifischer Widerstand des Materials
(temperaturabhängig)

l ... Länge des Leiters

A ... Querschnittsfläche des Leiters

Temperaturkoeffizient (bei Metallen): Widerstandsänderung pro Kelvin
(z.B. Cu: $\rho = 0,017 \cdot 10^{-6} \Omega \cdot m$)

Leitwert: $G = 1/R$ (Einheit: Siemens $[S]$)

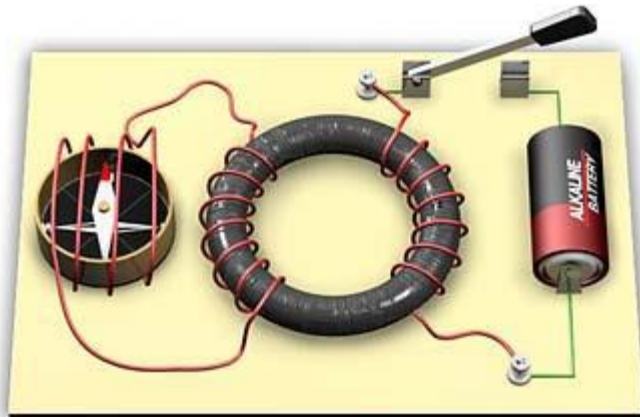
Leitfähigkeit: $\sigma = 1/\rho$



Wärme durch Induktion

Die Wärmeentwicklung ist hier eine sekundäre Erscheinung. ([vgl. Folie 19](#))
Durch eine von Wechselstrom durchflossene Spule wird ein wechselndes Magnetfeld erzeugt. Befindet sich ein metallischer Körper (Leiter) in einem veränderlichen Magnetfeld, wird in dem Leiter Wechselspannung und in Folge Wechselstrom induziert. Dieser im Körper induzierte Strom verursacht wegen des elektrischen Widerstandes genau an den Stellen des Stromflusses eine Erwärmung des Körpers.

Die Induktion wurde 1831 von Michael Faraday entdeckt . Seine Anordnung:



Simulation:

<http://www.micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/faraday/index.html>



Wärmepumpen

- Um einen Wärmeübergang von einem Körper auf einen anderen zu ermöglichen bedarf es eines Temperaturgefälles. Je größer das Temperaturgefälle, desto größer die Wärmemenge, die je Zeiteinheit und Fläche übertragen werden kann.
- Selbständig geht die Wärme nur vom heißeren auf den kühleren Körper über!

Dazu können verschiedene physikalische Effekte herangezogen werden:

- die Verdampfungswärme bei Wechsel des Aggregatzustandes (flüssig/gasförmig)
- die Reaktionswärme bei Mischung zweier verschiedener Stoffe
- die Temperaturabsenkung bei der Expansion eines (nicht idealen) Gases (Joule-Thomson-Effekt)
- der thermoelektrische Effekt;
- das Thermotunneling-Verfahren;
- sowie der magnetokalorische Effekt



Wirbelstrom

Befindet sich elektrischer Leiter in einem sich zeitlich ändernden Magnetfeld oder bewegt sich ein solcher Leiter in einem Magnetfeld, wird in diesem Leiter eine Spannung induziert.

Hat der Leiter einen entsprechend großen Querschnitt erzeugt diese Spannung in sich geschlossene Kreisströme, so genannte **Wirbelströme**. Sie erzeugen gemäß der Lenzschen Regel ein ihrer Ursache, also dem ursprünglichen Magnetfeld, entgegen gesetztes Magnetfeld im Leiter selbst und wirken so dem primären Feld, welches sie erzeugt hat, entgegen. War die Ursache der Magnetfeldänderung die Bewegung des Leiters, wird diese gebremst → **Wirbelstrombremse**.

Simulation

Skineffekt: Durch das magnetische Gegenfeld verteilt sich der Strom über den Querschnitt des Leiters ungleichmäßig. Der Strom wird sozusagen aus der Mitte des Leiters an die Oberfläche verdrängt.

Verluste durch Wirbelströme: Ist der Querschnitt des Leiters sehr groß, also der elektrische Widerstand gering, werden sehr große Wirbelströme induziert. Dies führt zur Erwärmung des Leiters. Diese Verluste sind dem Quadrat der Frequenz proportional. ➡ hohen Frequenzen & große Querschnitten → hohe Verluste.

Abhilfe: dünne, aufeinander geschichtete Blechlammellen



Glossar 1

Ablenkspulen (Ablenkplatten): ein Teil von Bildröhren (Fernsehgeräten, Oszilloskopen). Sie befinden sich an der Außenseite der [Kathodenstrahlröhre](#) zwischen Bildebene und Elektronenkanone und erzeugen Magnetfelder bzw. elektrische Felder, die den Elektronenstrahl ablenken.

Beleuchtungsstärke (E): Verhältnis des auffallenden Lichtstroms zur beleuchteten Fläche; Einheit: Lux (lx)

Coulombsches Gesetz: Es beschreibt die elektrostatische Kraft zwischen zwei Punktladungen. Letztere ist proportional zum Produkt dieser beiden Ladungen und umgekehrt proportional zum Quadrat ihres Abstandes. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Dipolmoment: Das elektrische Dipolmoment ist ein Maß für die räumliche Ladungstrennung, also die Stärke des Dipolcharakters (z.B.: eines Moleküls).

Elektronenemission: Aussenden von Elektronen aus einem Material. Die Elektronen können entweder durch den „äußeren photoelektrischen Effekt“, durch hohe Temperaturen (→thermische Emission oder Edison-Richardson-Effekt) oder hohe elektrische Feldstärken aus der Elektronenhülle freigesetzt werden. Elektronen werden auch beim Zerfall von Neutronen emittiert (Betazerfall).

Fluoreszenz: selbständige Emission von Licht beim Übergang eines elektronisch angeregten Systems in einen Zustand niedrigerer Energie.



Glossar 2

Gleichstrom: ein elektrischer Strom, der Betrag und Richtung nicht ändert; engl. DC (direct current)

Kilowattstunde: Einheit der elektrischen Arbeit, also der elektrischen Energie. Eine Wattstunde ist die Energie, die eine Maschine mit einer Leistung von einem Watt in einer Stunde aufnimmt bzw. abgibt.

$1 \text{ Wh} = 3.600 \text{ Ws (Wattsekunde)} = 3.600 \text{ Joule} = 3,6 \text{ Kilojoule (kJ)}$;

Kilowattstunde (kWh) = 1000 Wattstunden = 103 Wh

Kondensation: Übergehen eines Stoffes vom gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand; druck- und temperaturabhängig (Kondensationspunkt). Während des Übergangs bleibt die Temperatur konstant, sämtliche entzogene Wärme wird in Form der Kondensationswärme in die Zustandsänderung investiert. Gegenteil: Verdampfen, Verdunstung.

Ladung (Elektrizitätsmenge): Ein Phänomen, das sich unserer direkten sinnlichen Wahrnehmung entzieht und nur indirekt nachzuweisen ist (z.B. über die Kräfte, die zwischen Ladungen wirken). Die elektrische Ladung ist Quelle des elektrischen Feldes. Ihre Wechselwirkung mit dem elektrischen Feld wird durch das Coulomb'sche Gesetz (siehe oben) und ihre Wechselwirkung mit dem magnetischen Feld durch die [Lorentzkraft](#) beschrieben.

Lichtstärke: Strahlungsleistung einer Lichtquelle pro Raumwinkel; Einheit: Candela (cd)

Lichtstrom: Strahlungsleistung insgesamt; Einheit: Lumen (lm)



Glossar 3

Plasma: ein (teilweise) ionisiertes Gas, das vor allem freie Ladungsträger wie Ionen oder Elektronen enthält. Mehr als 99% der sichtbaren Materie im Universum befindet sich im Plasmazustand; auch vierter Aggregatzustand.

Potenzialdifferenz: Wird im elektrische Feld Ladung verschoben, so wird dabei Arbeit verrichtete. Es entsteht zwischen den beiden Punkten, zwischen denen die Ladung bewegt wurde, eine wegunabhängige Differenz an potentieller Energie (Potenzial). Die elektrische Spannung zwischen diesen Punkten ist als Differenz der jeweiligen Potenziale definiert. Sie ist demnach eine skalare Größe!

Resonanzfrequenz: Die Eigenfrequenz eines schwingfähigen Systems ist jene Frequenz, mit der das System nach einmaliger Anregung schwingen kann (bei Vernachlässigung der Dämpfung). Wenn einem solchen System von außen Schwingungen aufgezwungen werden, deren Frequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt (Resonanzfrequenz), reagiert das System mit besonders großen Amplituden, was man als Resonanz oder, wenn zerstörende Auswirkungen auftreten, Resonanzkatastrophe bezeichnet.

RTA: Rapid Thermal Annealing ist eine Verfahrensweise aus der Herstellung von Halbleitern um jeweils einzelne Wafer durch Erhitzung in ihren elektrischen Eigenschaften zu verändern.



Glossar 4

Sättigungsgrenze: Von Sättigung spricht man, wenn ein Stoff, Körper oder ein Feld eine solch große Menge eines anderen aufgenommen hat, dass eine weitere Aufnahme unter den gegebenen Bedingungen zu einem energetisch ungünstigeren Zustand führen würde. (Magnetisierung: alle Elementarmagnete innerhalb eines Eisenkerns ausgerichtet)

Spannung: vgl. Potenzialdifferenz (Glossar 3); Einheit: Volt (V) nach Alessandro Volta.

Watt: Einheit der Leistung (nach James Watt). Die elektrische Leistung (P von power) entspricht dem Produkt der Effektivwerte von Strom (I) und Spannung (U); nur bei rein ohmschen Widerständen ohne Phasenverschiebung gilt direkt: $P = I \cdot U$.

Wellenlänge (λ): der kleinste Abstand zweier Punkte gleicher Phase (d.h. im zeitlichen Ablauf die gleiche Auslenkung und die gleiche Bewegungsrichtung) einer Welle.

(Wasserwellen: Abstand zweier benachbarter Wellenberge oder Wellentäler.) Sie ist das räumliche Analogon zur Periodendauer (T). Es gilt $c = \lambda \cdot f$ (c Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit), f die Frequenz).

Wechselstrom: elektrischen Strom, der seine Richtung (Polung) periodisch und in steter Wiederholung meist sinusförmig ändert; engl. AC (alternating current)

Wirkungsgrad (η): Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. Maß für die Effizienz von Energieumwandlungen (z.B. Wärme in mechanische Energie) bzw. Übertragungen. Wert zwischen 0 und kleiner 1 oder in Prozent ausgedrückt, zwischen 0 und weniger als 100.

$\eta = \text{abgegebene Leistung} / \text{aufgenommene Leistung}$.



Quellen

Elektronisch:

http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/grundwissen/11grundvers/grundvers.htm
http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/simulationen/12faraday/faraday.htm
http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph07_g8/umwelt_technik/05elektromag/e_magnet.htm
<http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/lasers/index.html>
http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_2/induktion/ind_beweg.htm
http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_1/induktion/elektromotor.htm
www.kiss-textil.de/LED_blaue.htm
<http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0201111.htm>
http://www.etp.uni-hannover.de/lehre/EV_K5_a.pdf
<http://de.wikipedia.org>
<http://www.pc-erfahrung.de/Index.html?stromverbrauch.html>
http://www.hei.de/40000_statistik/40302_content.htm
<http://www.schulmodell.de/physik/2004/phisti/phisti.ppt#256,1>
<http://www.elektronikinfo.de/strom/gasentladungslampen.htm#Neonlampen>
http://users.physik.tu-muenchen.de/cucke/ftp/lectures/Unipolarmotor_phiuz.pdf
<http://www.hcrs.at/MIKRO.HTM>
<http://wiener-tramwaymuseum.org/betriebs.htm>
http://www.br-online.de/wissen-bildung/telekolleg/faecher/physik/trimester_04/physik_18/#2
<http://www.micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/faraday/index.html>
www.baulinks.com

Literatur:

Jaros Albert, Nussbaumer Alfred, Nussbaumer Peter: Basiswissen 3, Physik-compact. Hölder-Pichler-Tempsky, Wien. 1. Aufl., 1991.

Schreiner Josef: Physik 3 für die Oberstufe der allgemeinbildenden höheren Schulen., öbv & hpt., Wien. 2. Aufl., 2002.