

Private Haushalte

Industrie

Verkehr

Öffentlicher Raum

Kommunikation

Produkt Elektrizität

Nutzung



Produkt Elektrizität - Nutzung

Private Haushalte

Kochen, Reinigung, Heizen und Kühlen, Unterhaltung und Kommunikation

Industrie

Elektrothermische Prozesse, Elektrochemische Verfahren, Arbeitsmaschinen, Antriebe/Motoren, Lasthebemagneten

Verkehr

Autos der Zukunft, Eisenbahnen der Zukunft, Von der Bim bis zur U-Bahn

Öffentlicher Raum

Lichterzeugung, Öffentliche Beleuchtung, Verkehrsleitsysteme, Uhren und digitale Anzeigen

Kommunikation

EDV, Mobile Geräte, Stromverbrauch durch Standby

Private Haushalte

Industrie



Private Haushalte

- Kochen
- Reinigung
- Heizen und Kühlen
- Unterhaltung und Kommunikation

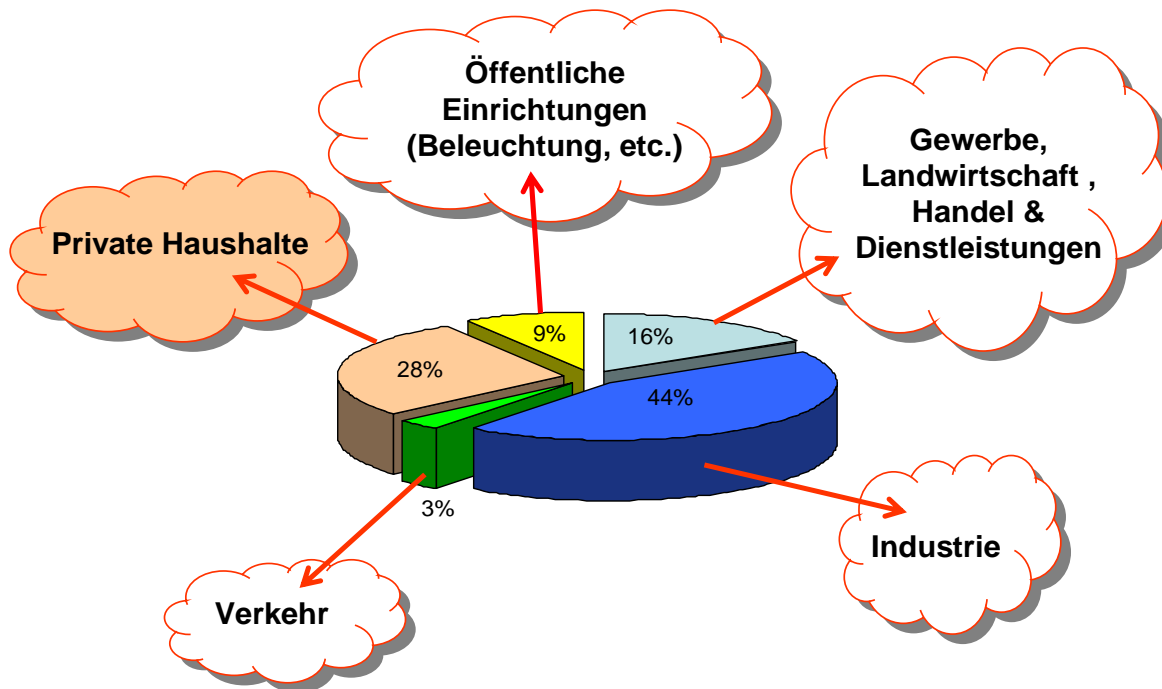




Industrie

Verbraucheranteile

Wer braucht Strom?



Anteile des Verbrauchs nach Abnehmer-Kategorien

Private Haushalte

Industrie

Wie viel elektrische Energie braucht der Mensch?

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. 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
- 15 Hemden zu bügeln
- 70 Tassen Kaffee zu kochen
- 7 Stunden fernzusehen
- 40 Stunden lang mit dem CD-Player Musik hören (25 W)
- 5 Stunden am Computer zu arbeiten
- eine Stromsparlampe mit einer Leistung von 11 Watt 90 Stunden brennen zu lassen, eine normale Glühlampen (60 Watt, gleiche Lichtmenge) nur 17 Stunden!



Private Haushalte

Industrie

Übersicht

Kochen: Heizplatte, Induktionsbackofen, Mikrowelle, Mixer & Co

Reinigung: elektrische Zahnbürste, Staubsauger, Waschmaschine, Geschirrspüler

Beleuchtung (siehe: Öffentliche Beleuchtung)

Heizen: elektrische Öfen, Zauberwort elektrische Flächenheizung

Kühlen (Wärmetauscher): Klimaanlage, Kühlschrank

Medien: Unterhaltung (Kommunikation siehe Dienstleistungen): Fernsehen, Radio, CD-ROM, DVD,



Private Haushalte

Industrie

Kochen

Am neuesten Stand!



Typisches Einbau - Cerankochfeld

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.



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

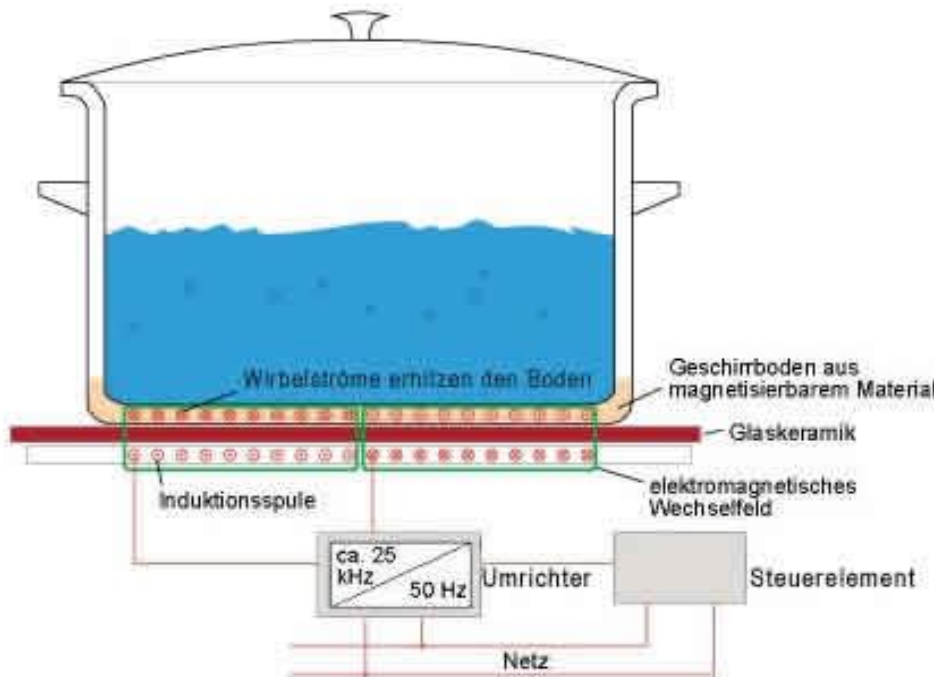


Private Haushalte

Industrie

Kochen

Ganz ohne Wärme von außen!



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 - rasch, effizient, sparsam.

Nachteile: nur Kochtöpfe mit ferromagnetischem Boden geeignet.

Funktion eines Induktionskochfelds

Quelle: http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/umwelttechnik/12induktionsherd/indukherd.htm

Private Haushalte

Industrie

Theorie: Wärme durch Induktion



Die Wärmeentwicklung ist hier eine sekundäre Erscheinung. 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 Wechselfeldspannung 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.

Simulation:

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



Industrie

Kochen



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).

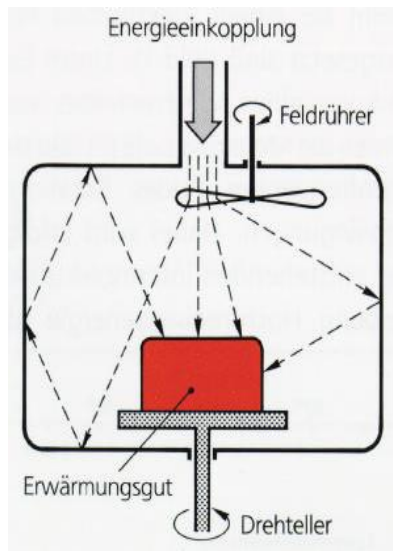


Die Küchenmaschine: Multifunktionale Geräte zum Kneten, Rühren, ... und was es sonst noch zu Schneiden, Reiben und Auspressen gibt! Dahinter steckt in jedem Fall: ein Elektromotor!

Private Haushalte

Industrie

Theorie: Erwärmen durch dielektrischer Polarisierung



Mikrowellen-Erwärmung



Magnetron

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

Weitere Bauteile:

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

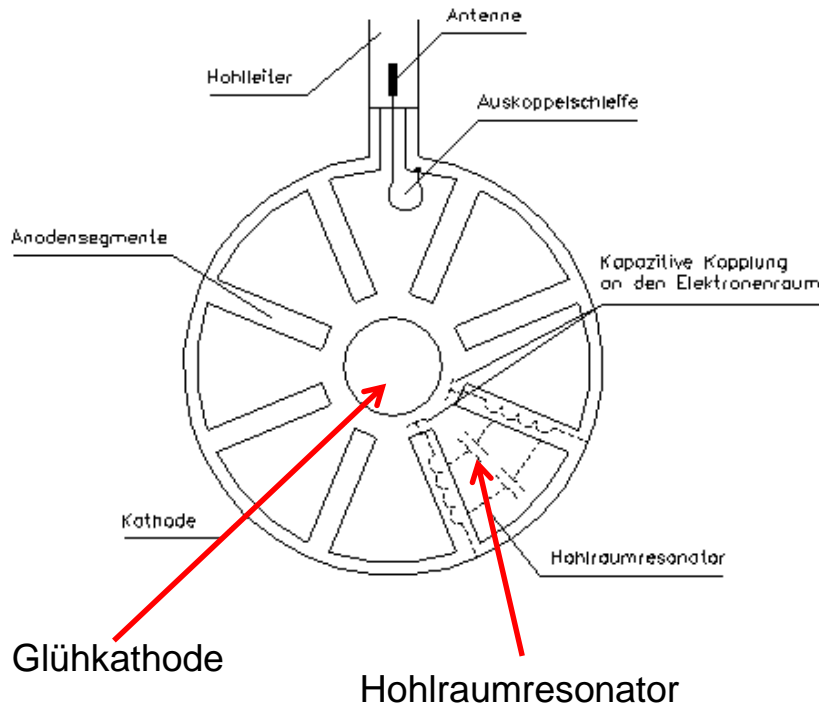
Ventilator: kühlt das Magnetron und bläst dessen Verlustwärme durch den Garraum

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

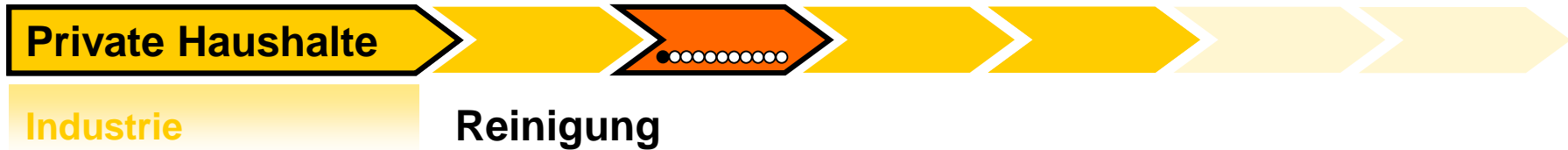
Private Haushalte

Industrie

Theorie: Erzeugung von Mikrowellen



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 zwei Ringmagneten in eine kreisförmige Bahn umgelenkt wird. Dabei streichen die Elektronen entlang der Schlitze in der Anode und regen Schwingungen in den Resonatorkammern an.



Der Staubsauger



Der Staubsauger wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts erfunden.

Der vom Gebläse (vgl. auch Arbeitsmaschinen) erzeugte 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!

Private Haushalte

Industrie

Theorie: Der Elektromotor



Werner von Siemens

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.

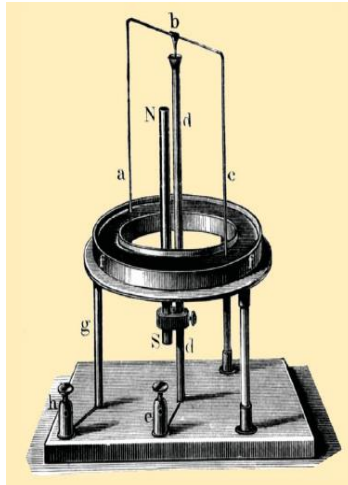
Private Haushalte

Industrie

Theorie: Der Elektromotor



der Einfachste



der Älteste

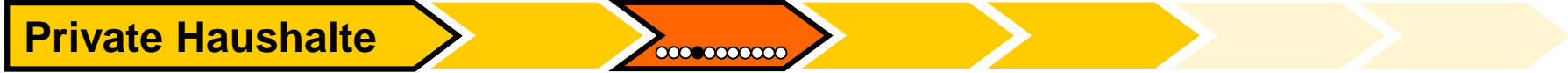


der Gängigste

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

Das Prinzip des ältesten Elektromotors wurde von Michael Faraday 1821 entworfen.

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



Industrie

Theorie: Der Elektromotor

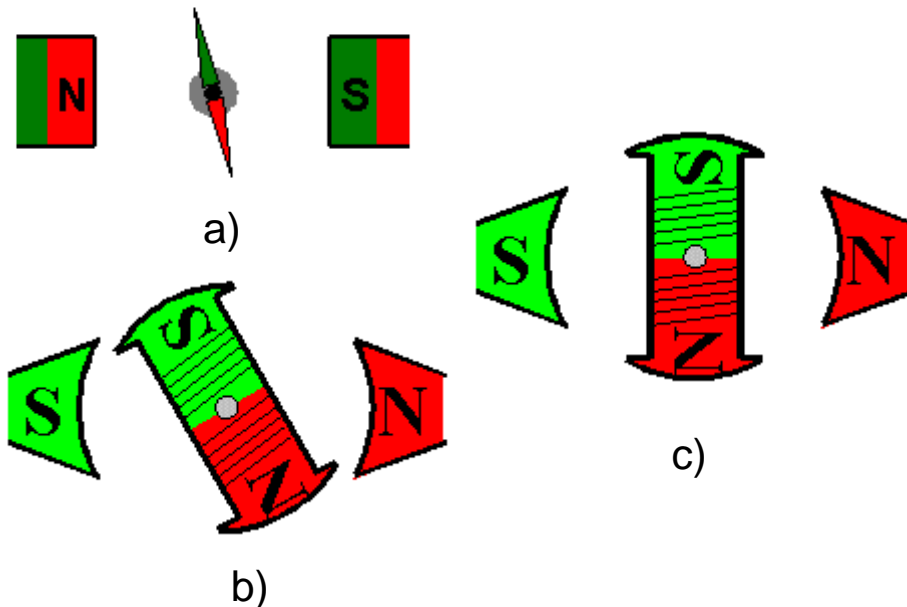
▪ Aufbau

Stator: der feststehende elektromechanische Teil

Rotor: der rotierende elektromechanische Teil

Gehäuse: Lager, Achse und Kühlung

▪ Funktionsprinzip



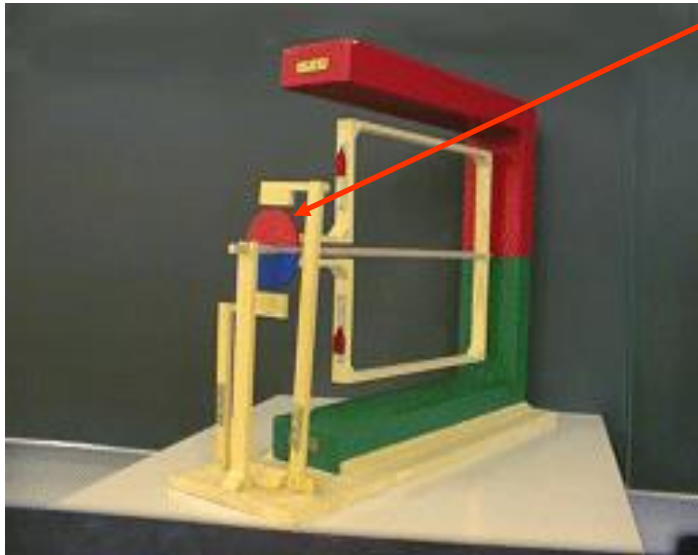
- a) Kompassnadel (Permanentmagnet!) in einem Magnetfeld drehbar gelagert
- b) Elektromagneten (Strom durchflossene Spule mit Eisenkern)
- c) Ändert sich die Richtung des durch eine Spule fließenden Stromes im geeigneten Augenblick, bleibt der Elektromagnet in Bewegung (aufgrund seiner Trägheit überwindet er den "toten Punkt" und dreht sich weiter (Umpolen des Spulenstromes alle 180°).

Private Haushalte

Industrie

Theorie: Der Elektromotor

Der Trick beim Gleichstrommotor: Umpolen!



Simulation: http://www.schulebw.de/unterricht/faecher/physik/online_material/e_lehre_1/induktion/elektromotor.htm

Der Kommutator (Polwender) besteht aus zwei Schleifringhälften, deren Kontakte genau dann ihre Polarität ändern, wenn die Drehspule einen Polwechsel benötigt, damit sie sich weiterdrehen kann. Ungleichnamige Pole ziehen einander an: Die Drehspule müsste deshalb nach einer halben Drehung stehen bleiben. Ändert sich die Stromrichtung durch den Polwechsel an den Schleifringenden, ändern sich auch die Magnetpole der Drehspule. Es stehen sich nach jeder Halbdrehung stets wieder gleichnamige Magnetpole gegenüber, die einander abstoßen. Die Spule dreht sich erneut. Moderne Elektromotoren verwenden elektronische Ventile (Dioden, etc.).

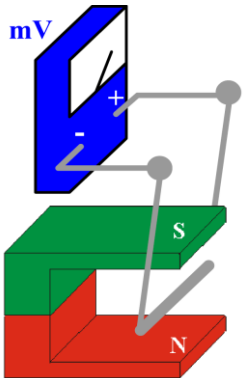
Private Haushalte

Industrie

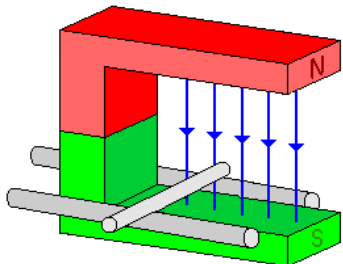
Theorie: Der Elektromotor

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

Generator-Prinzip: Umwandlung mechanischer Energie in elektrische Energie.



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 → Spannung). Bei der Bewegung in der Gegenrichtung wird der Stab umgepolt. Ruht der Stab, so kommt es zu keiner Ladungstrennung. Ist die Stange in Ruhe, gibt es keine Kraft und daher auch keine Induktionsspannung.

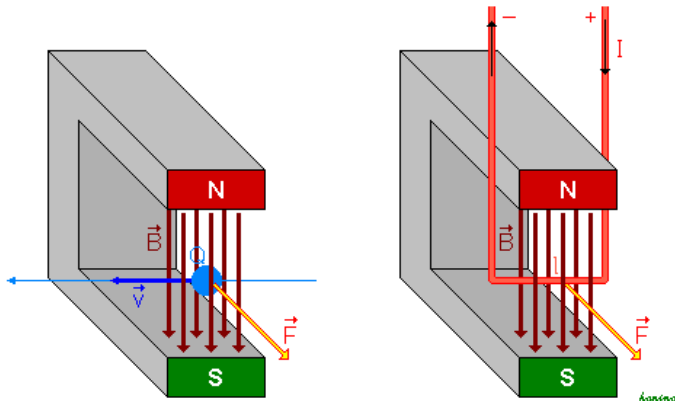


Lässt man die Leiterschaukel - einmal angestoßen - im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten hin- und her schwingen, so kann man am empfindlichen Messgerät eine Spannung feststellen. Das Entstehen einer Spannung bei der Bewegung eines Leiters im Magnetfeld kann man mit Hilfe der Lorentzkraft verstehen: Im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

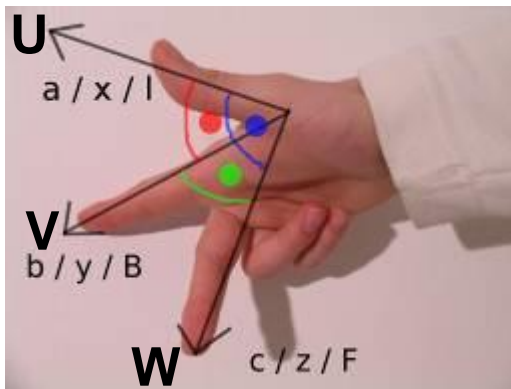
Private Haushalte

Industrie

Theorie: Lorentzkraft



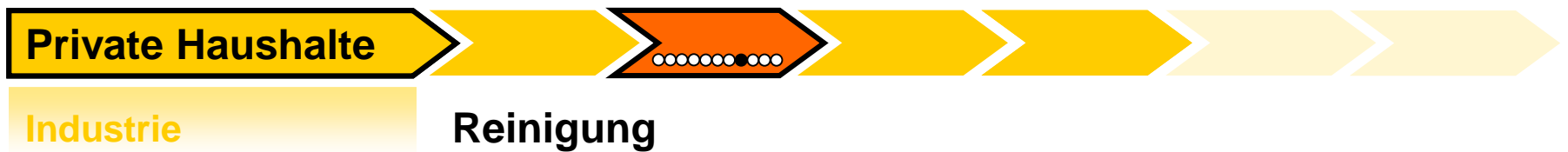
Wenn elektrischer Strom durch sein Magnetfeld auf einen Magneten wirkt (vgl. Elektromagnetismus), so muss auch das Magnetfeld auf die bewegte Ladung in einem Stromleiter wirken (Kräfte sind „Wechselwirkungen“ → jede Kraft bewirkt eine Gegenkraft). Die Kraft, die auf einen Strom durchflossenen Leiter im Magnetfeld wirkt, heißt „Lorentzkraft“. Simulation: http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph10/simulationen/09lorentzkraft/lorentzkraft.htm



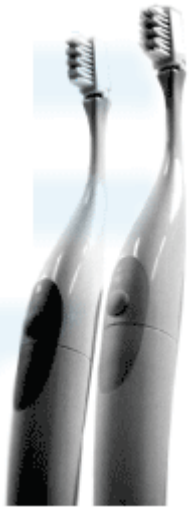
Die **Richtung der Kraft** ergibt sich aus dem Vektorprodukt von $Q \cdot (v \times B) = F$

Die **Stärke der Kraft (F)** ist abhängig von:

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



... 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.

Private Haushalte

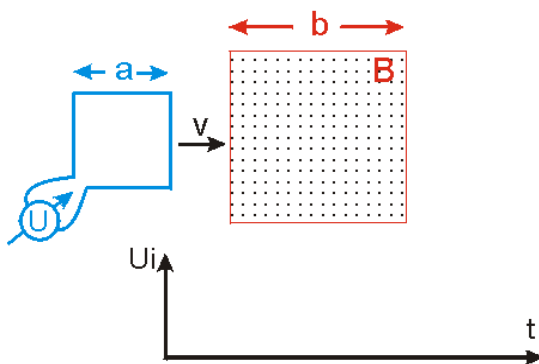
Industrie

Theorie: 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.

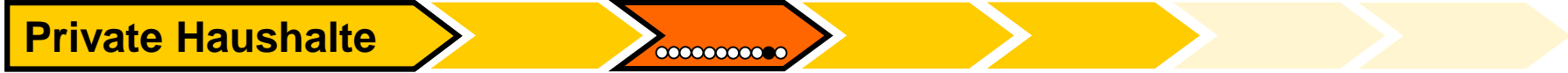


Induktionsgesetz (Faraday'sches Gesetz):

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

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

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



Private Haushalte

Industrie

Reinigung

Waschmaschine und Wäschetrockner

| Energy | | Washing machine |
|--|-------------------------|-----------------|
| Manufacturer Model | | |
| More efficient | | B |
| 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 BCDEFG | |
| Spin drying performance <small>A: higher G: lower Spin speed (rpm)</small> | A BCDEFG 1400 | |
| Capacity (cotton) kg | | 5.0 |
| Water consumption | | 5.5 |
| Noise (dB(A) re 1 pW) | Washing | 5.2 |
| | Spinning | 7.6 |
| <small>Further information contained in product brochure</small> | | |



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 der 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.

Private Haushalte

Industrie

Reinigung

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 (Sinnerscher 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.

Private Haushalte

Industrie

Heizen und Kühlen

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 (siehe 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).

Private Haushalte

Industrie

Heizen 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.

Private Haushalte

Industrie

Theorie: 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

Private Haushalte

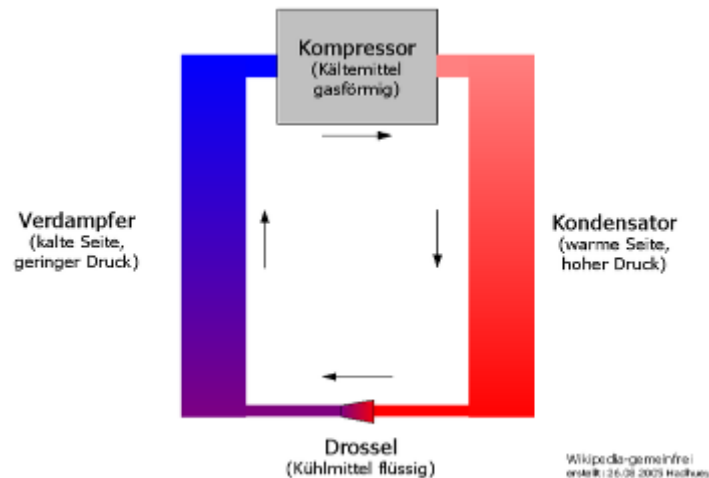
Industrie

Theorie: 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!)



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.

Private Haushalte

Industrie

Heizen und Kühlen:
... und was dem Komfort sonst noch dient

Achtung: **Energiefresser!**



Klimaanlagen



Solarien

"**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.



Saunaöfen

Klimaanlagen:
Funktionieren ähnlich wie der Kühlschrank (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



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 einer fluoreszierenden 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).

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

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

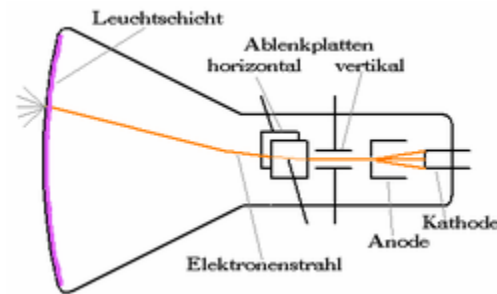
Private Haushalte

Industrie

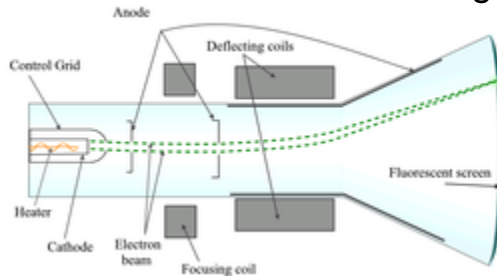
Theorie: Kathodenstrahlröhren



Oszilloskop-Röhre



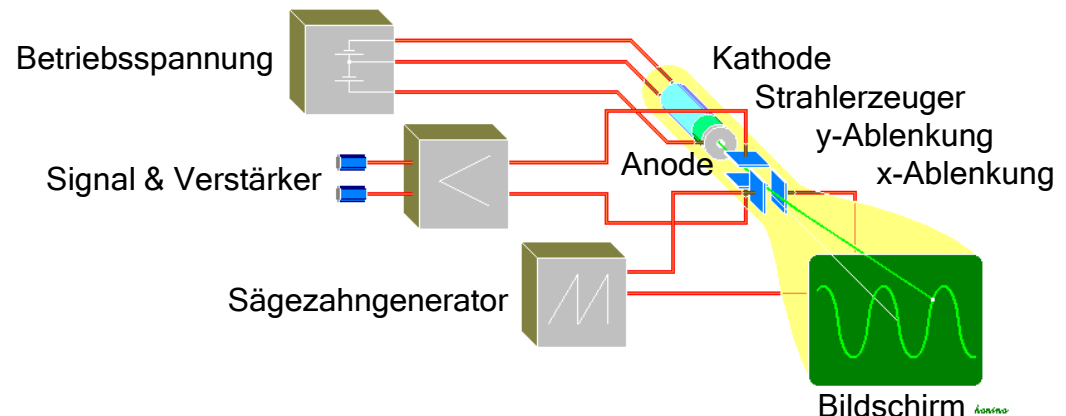
elektrostatische Ablenkung



magnetische 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.

Oszilloskop (Querschnitt)





Private Haushalte

Industrie

Unterhaltung und Kommunikation: Der Bildschirm (Monitor)



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: geringer Stromverbrauch, Strahlungsfreiheit, flimmer- & verzerrungsfreies, scharfes Bild, geringes Gewicht & Einbautiefe.

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 Metallgitter sorgt dafür, dass die Elektronen von jeder Kathode nur auf Fluoreszenzpunkte "ihrer" Farbe treffen. Das Bild wird aus den nebeneinander liegenden kleinen Punkten der drei Grundfarben zusammengesetzt.



Private Haushalte

Industrie

Unterhaltung und Kommunikation: Das Radio

Das 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.



Private Haushalte

Industrie

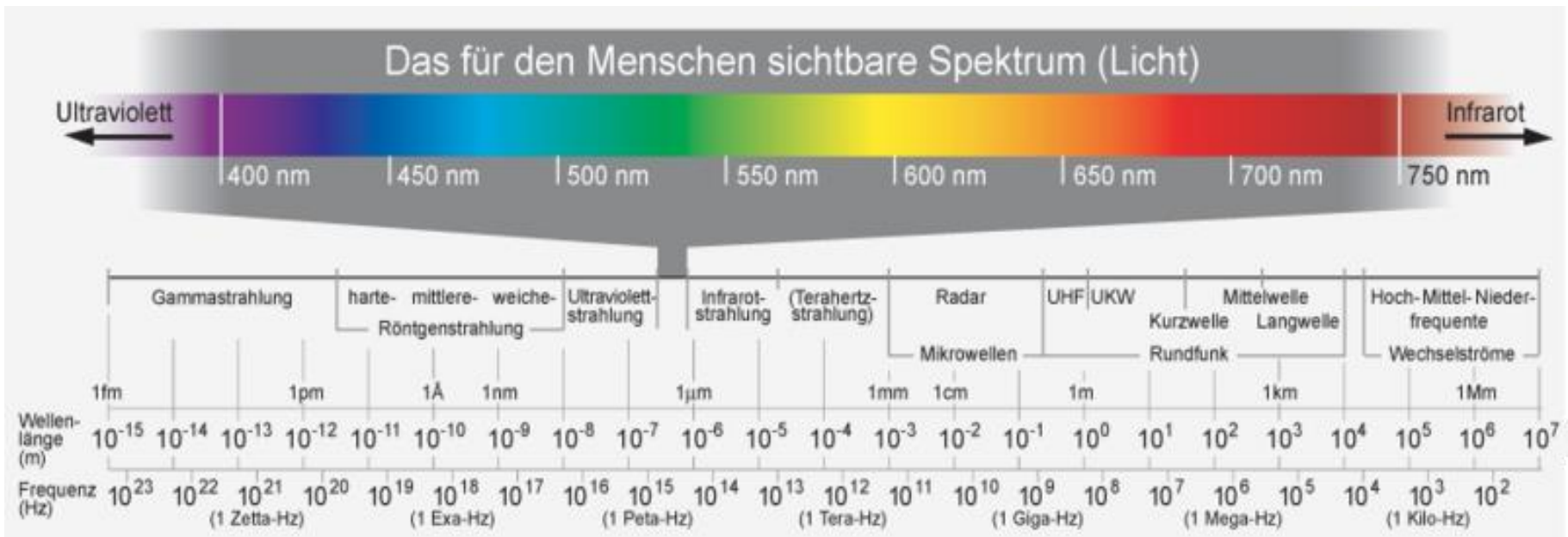
Theorie: Elektromagnetische Wellen

- 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) 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.



Theorie: Das elektromagnetische Spektrum

Elektromagnetische Wellen nach der Wellenlänge sortiert:





Industrie

Unterhaltung und Kommunikation: CD - ROM & DVD

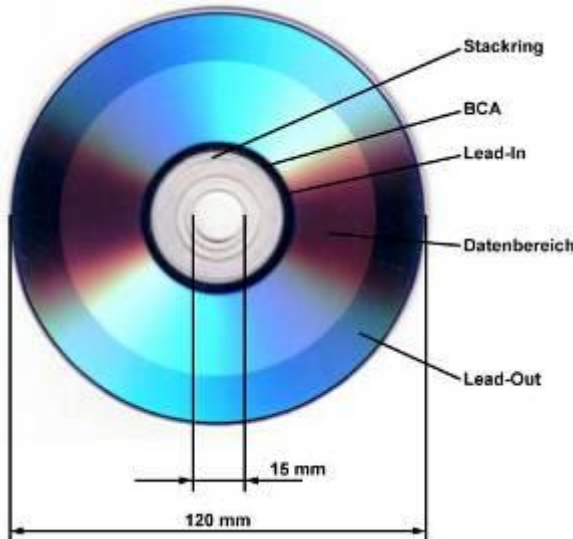
CD-ROM (Compact Disc Read-Only Memory):

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!

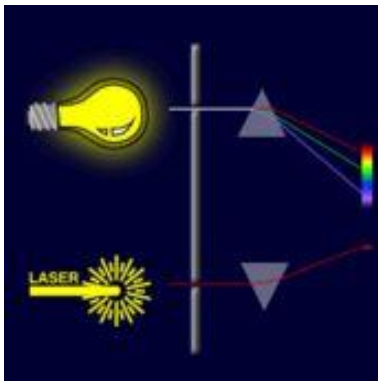
DVD - Digital Versatile Disc: speichern Daten, Ton und Video mit größerer Speicherkapazität (über 4,7 GByte) als die CD-ROM.



Private Haushalte

Industrie

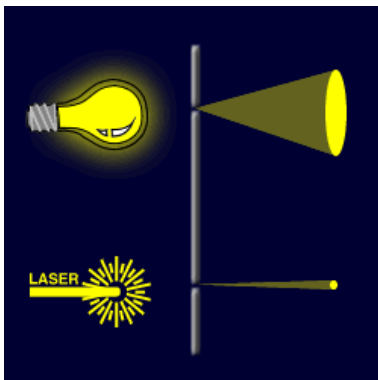
Theorie: Laser



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.

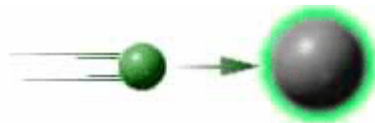


Private Haushalte

Industrie

Theorie: 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.

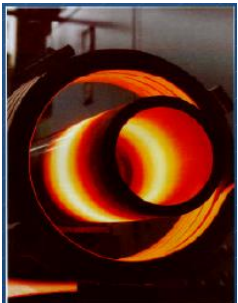
Simulationen: <http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/lasers/lasers4.html>

Private Haushalte

Produkt Elektrizität - Nutzung

Industrie

Verkehr



Industrie

- Elektrothermische Prozesse
- Elektrochemische Verfahren
- Arbeitsmaschinen
- Antriebe/Motoren
- Lasthebemagneten

Industrieller Stromverbrauch in Europa in 2000: 951 TWh !

Private Haushalte

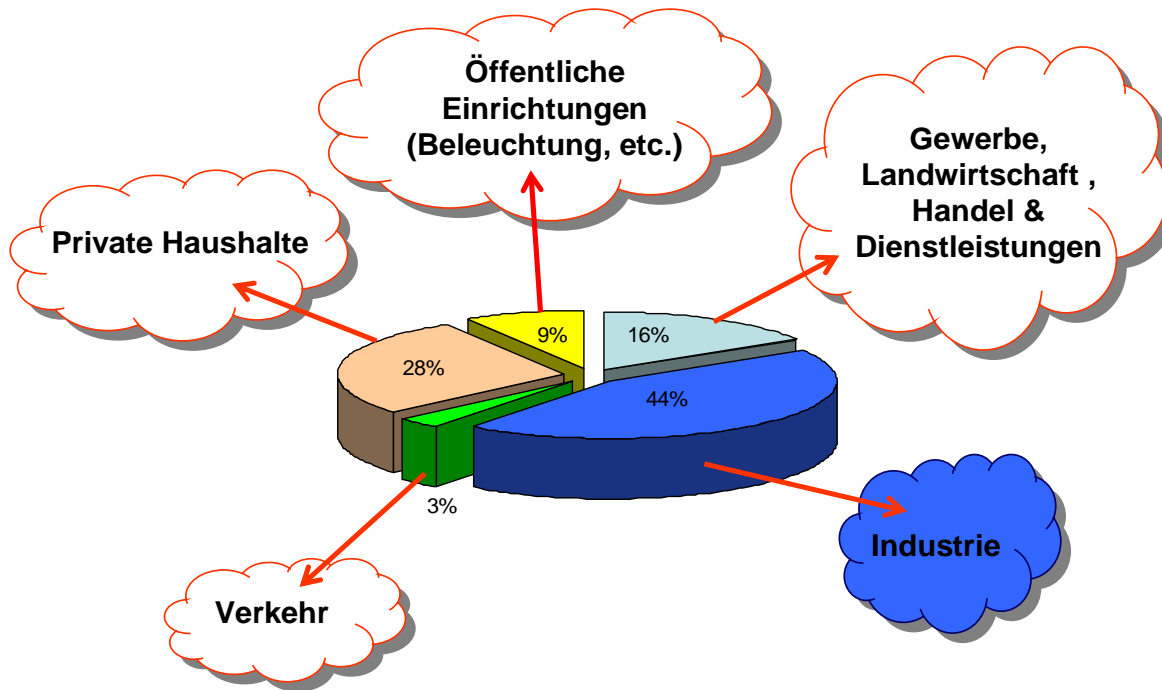
Produkt Elektrizität - Nutzung



Verkehr

Verbraucheranteile

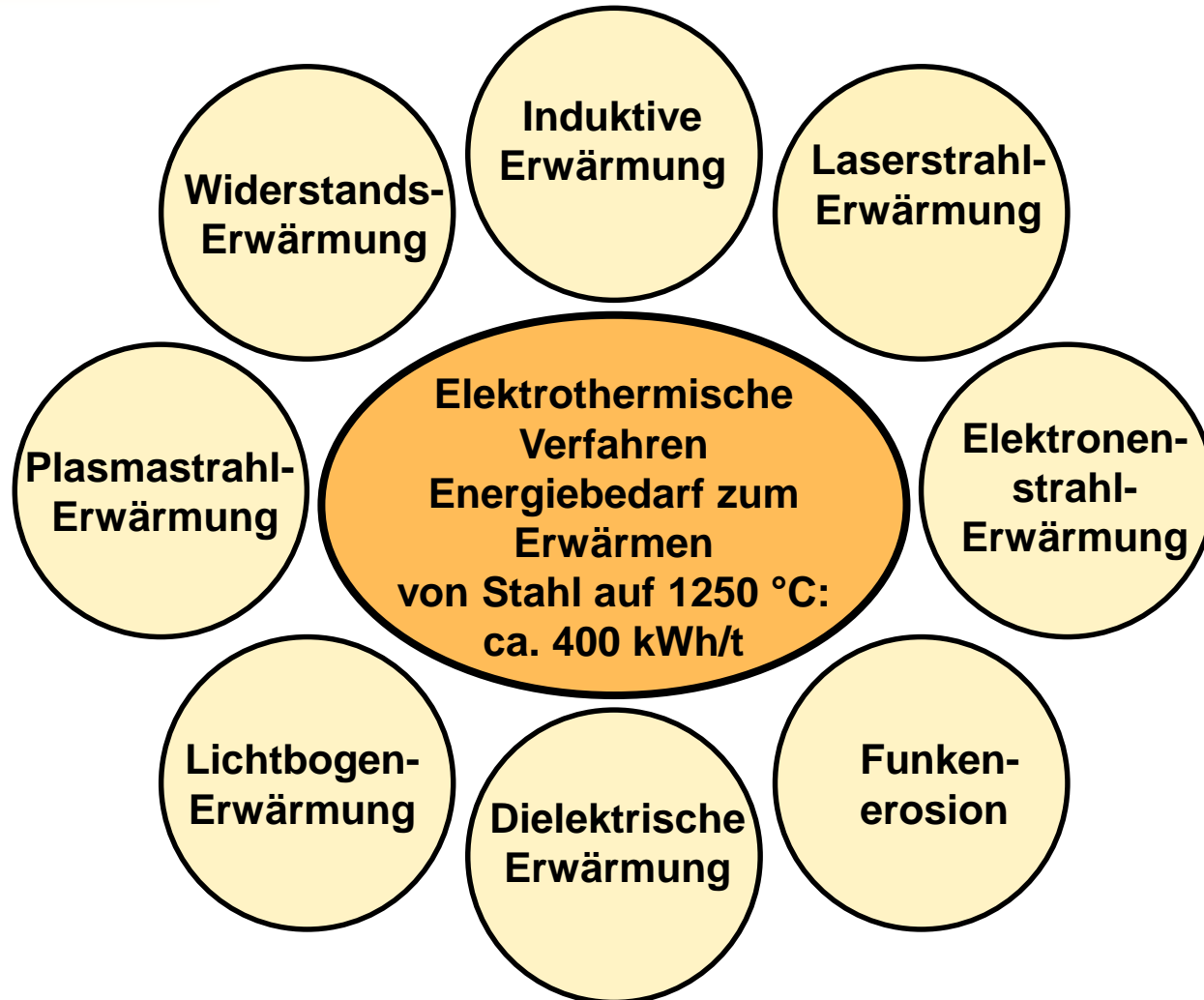
Wer braucht Strom?



Anteile des Verbrauchs nach Abnehmer-Kategorien



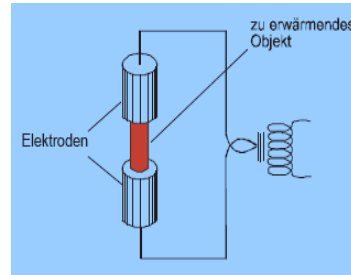
Übersicht: Elektrothermische Prozesse



Elektrothermische Prozesse

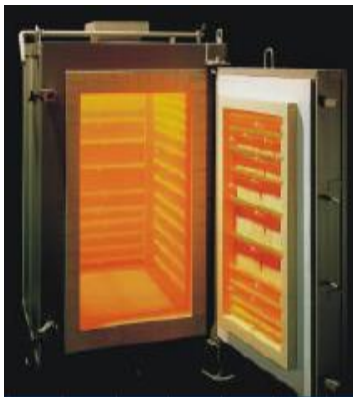


Knüppel - Erwärmungsanlage

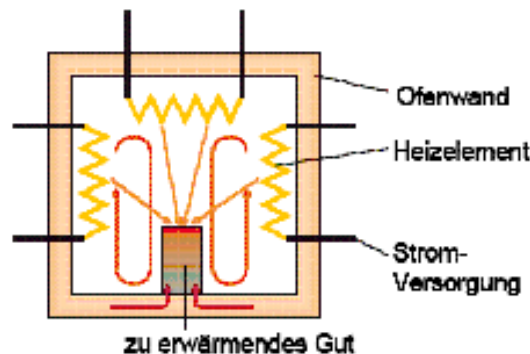


Direkte Erwärmung:

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



Brennofen für Keramik, Glas & Porzellan



Indirekte Erwärmung:

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

Theorie: Wärmewirkung des elektrischen Stroms

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):

$$I = U/R \quad R \dots \text{elektrischer Widerstand (Einheit: Ohm } [\Omega])$$

$$R = \rho \cdot l/A \quad \rho \dots \text{spezifischer Widerstand des Materials (temperaturabhängig)}$$

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: $\sigma = 1/\rho$

Theorie: 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

Elektrische Leistung:

$P_{el} = U \cdot I$

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

Ein Beispiel:

2 Tauchsieder
gleiche Wassermenge
gleiche Wärmeleistung
→ gleiche Endtemperatur



Energiebedarf, um Elektronen zu bewegen

$$E_{el} = U I t$$

$$[E_{el}] = 1 \text{ VAs} = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J}$$

$$P_{el} = \frac{E_{el}}{t} = U I$$

$$[P_{el}] = 1 \text{ VA} = 1 \text{ Watt} = 1 \text{ W}$$

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{Q}{c \cdot m}$$

$$\Delta T = \frac{9 \text{ kJ}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 0,2 \text{ kg}}$$

$$\Delta T = 11 \text{ K}$$

$$P_{el} = \frac{Q}{t}$$

$$Q = P_{el} \cdot t$$

$$Q = 300 \text{ W} \cdot 30 \text{ s}$$

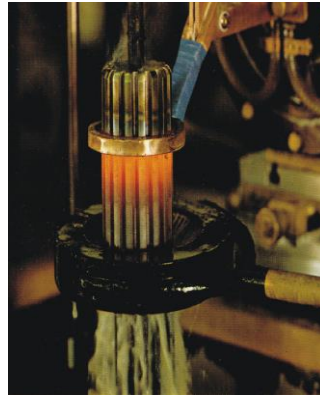
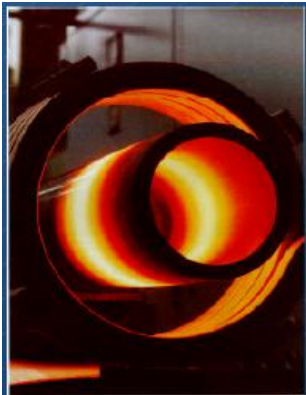
$$Q = 9000 \text{ J}$$



Elektrothermische Prozesse

Metalle schmelzen, schmieden, härten & schweißen durch Induktion

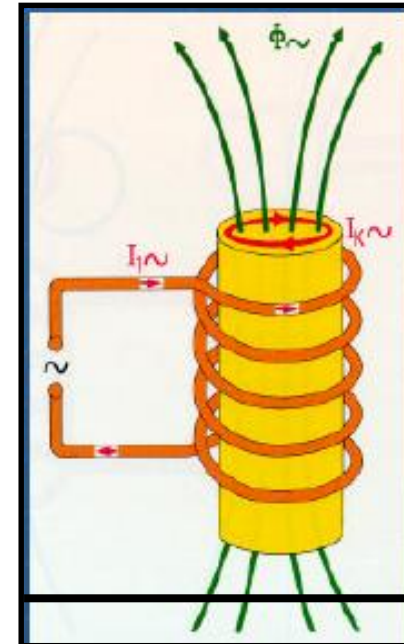
Durcherwärmen zum Pressen, Walzen und Rohrbiegen



Härten einer Kurbelwelle

Induktionsschmelzofen

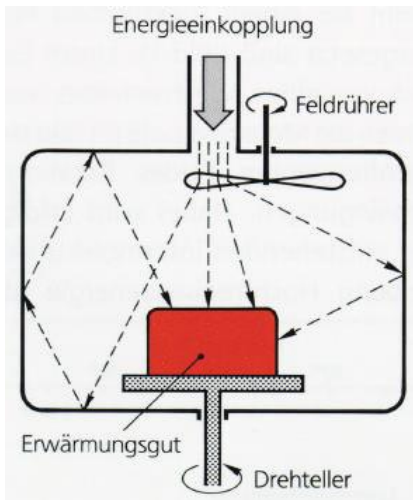
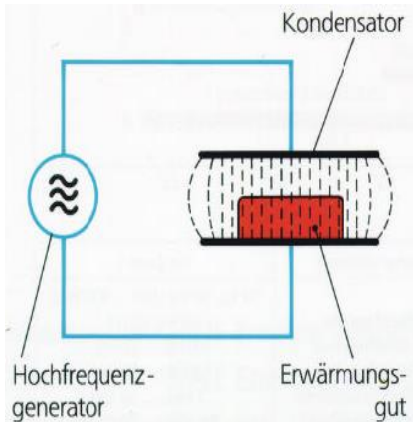
Prinzip der Erwärmung durch Induktion



Elektrothermische Prozesse: 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, Schädlingsbekämpfung im Holz, etc.



Mikrowellen-Erwärmung: Siehe private Haushalte: Mikrowelle, Mixer & Co



Theorie: 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: 

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

Plattenkondensator- Simulation: <http://www.physicslab.co.uk/capacitance.htm>

Theorie: Das 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 im elektrischen Feld eines Kondensators gespeichert werden.

<http://www.fernstudium-physik.de/medienserver/html/index.html>

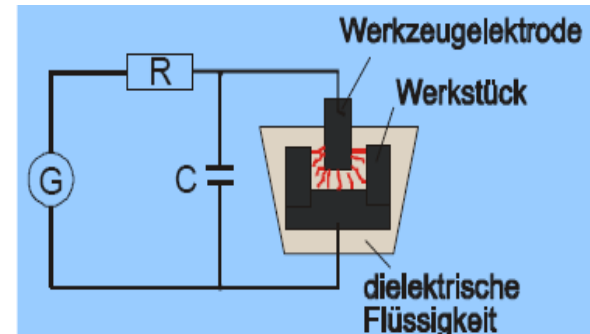
(Kennwort: medien, Passwort: uni-kl)



Elektrothermische Prozesse: Hightec Produkte durch Elektronenstrahlen & Funken

Elektronenstrahlen zum Aufdampfen von hochreinen Schichten in Optik und Elektronik

Das Prinzip:



Funkenerosion:

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

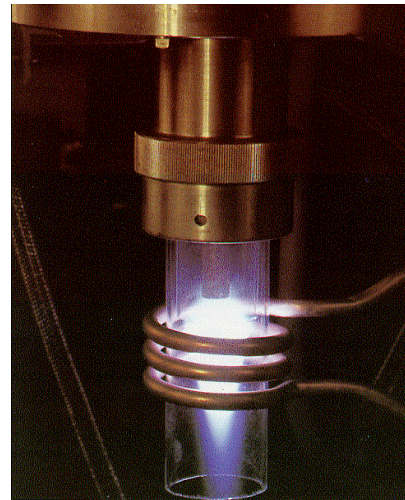


Funkenerosive Zahnkranzherstellung

Elektrothermische Prozesse: Laser- & Plasmastrahlen

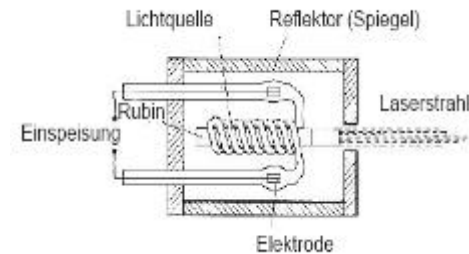


Laserschneiden von Transformator-Bleichen

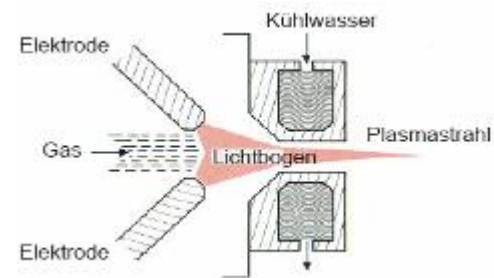


Plasmaflamme einer HF-Induktionsplasmaanlage

Laserstrahl-Erwärmung:



Plasmastrahl-Erwärmung:



Verwendung: Schneiden, Schweißen, Löten, Härten, Bohren, Schmelzen Aufdampfen und Aufspritzen von Stoffen wie Metalle, Oxide und Karbide

Elektrochemische Verfahren: Gewinnung von Metall aus Erz (FeSi, CaSi, Si, CaC₂, P)



Redoxreaktionen: Austausch von Elektronen zwischen Reduktionsmittel (Elektronendonator) und ein Oxidationsmittel (Elektronenakzeptor). Das Reduktionsmittel als Elektronendonator 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!

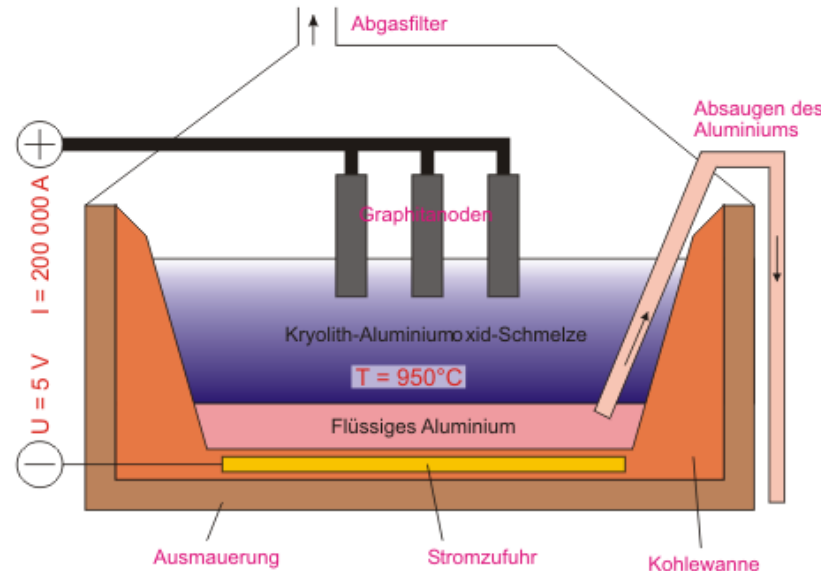


Elektrochemische Verfahren

Aluminiumherstellung durch Schmelzflussanalyse: Höchstverbrauch elektrischer Energie!

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!

Theorie: Schmelzelektrolyse

Ausgangsstoff:

Aluminiumoxid (Schmelztemperatur 2045 °C) wird gereinigt und zu 80 % bis 90 % mit Kryolith ($Na_3(AlF_6)$) vermischt. (Schmelztemperatur nur noch ca. 950 °C → Verringerung des Energieaufwandes).

Schmelzelektrolyse: Reduktion von Aluminiumoxid (Al_2O_3) $2Al_2O_3 \rightarrow 4Al + 3O_2$

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.

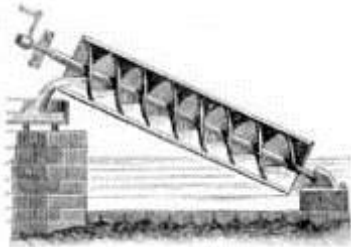
Reinaluminium enthält noch etwa 0,1 bis 1% Verunreinigungen. Diese sind im wesentlichen Eisen, Silizium und Titan.

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



Arbeitsmaschinen: Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren & Co.

Von Archimedes bis heute transportieren Pumpen Flüssigkeiten entgegen der Schwerkraft!



Archimedische Schraube
(Schneckenpumpe)



Schneckenkaskade heute



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 (\rightarrow Druckluft). Für Verdichtungs Vorgänge gilt bei konstant bleibender Temperatur das Boyle-Mariottesche Gesetz ($p \cdot V = \text{konst.}$)

Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren sind **Arbeitsmaschinen!** 54

Theorie: Was sind Arbeitsmaschinen?

Arbeitsmaschinen 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!

Private Haushalte

Produkt Elektrizität - Nutzung

Industrie

Verkehr

Antriebe & Motoren: ob zum ...

Schneiden, Sägen



Schleifen



In Industrieanlagen erfolgt der Antrieb, d.h. die Drehung von Schaufelrädern bzw. die Bewegung des Kolbens meist durch **Elektromotoren** (siehe auch: Haushalt).

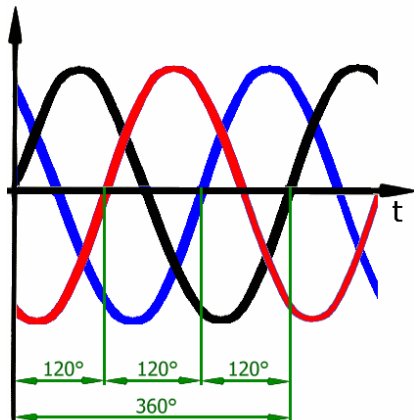
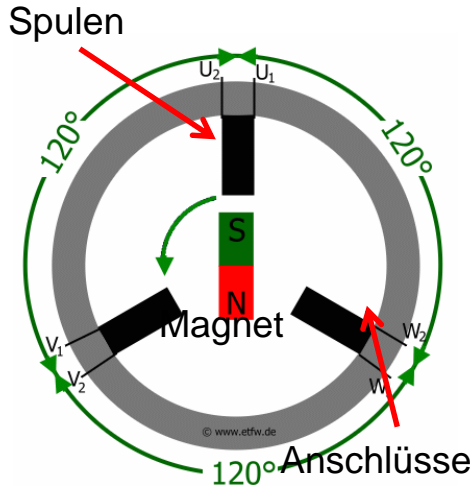
Bohren



oder Drehen ...



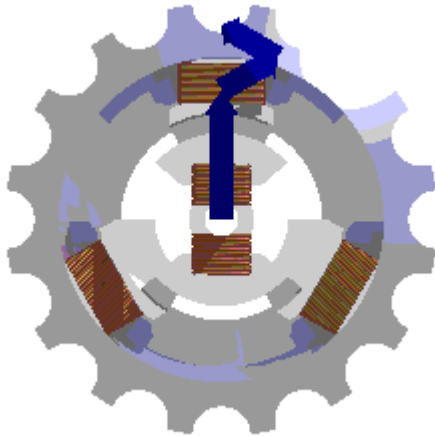
Theorie: Drehstrom



Drehstrom (Stark-, Kraftstrom): Durch die Drehbewegung eines Generators wird eine sinusförmige Wechselspannung induziert. Wenn jedoch aufgrund eines erhöhten Energiebedarfs eine Phase Wechselspannung allein nicht mehr ausreicht, so verwendet man den aus 3 Phasen bestehenden Drehstrom. Drehstrom wird mit speziellen Drehstromgeneratoren erzeugt. Ein Drehstromgenerator hat 3 um jeweils 120° zueinander verschoben angeordnete Spulen. Bei einer Umdrehung induziert der Drehstromgenerator daher 3 um jeweils 120° phasenverschobene Spannungen (\rightarrow Drehstrom).

Simulation: <http://www.zum.de/dwu/depotan/apem112.htm>

Theorie: Drehstrommotor



Drehstrommotor: Der Drehstrom 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.

Prinzip des Drehfeldes in einem Drehstrommotor.

Die von der Achsmittle ausgehend aneinander gereihten Pfeile wechselnder Größe zeigen jeweils die momentane Größe und Richtung der Magnetfelder in den einzelnen Spulen an.

(Bei Verschwinden der Animation auf das leere Feld klicken bzw. Präsentation neu starten!)

Theorie: Synchron- und Asynchronmotoren

Umpolen überflüssig!



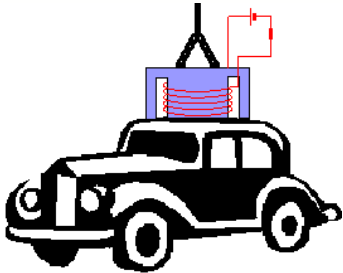
Einphasen - Synchronmotor: Wird mit Wechselstrom gespeist und dreht sich mit gleicher Frequenz und Phase wie dieser. Bei hoher Leistung „hinkt“ seine Drehung leicht nach.

Drehstrom-Synchronmotor: Bei dieser Synchronmaschine ist die Drehzahl des Läufers gleich der Drehzahl des elektromagnetischen Drehfeldes, das heißt, der Läufer rotiert synchron zum Drehfeld. Synchronmotoren eignen sich für Maschinen, die sehr gleichmäßig laufen müssen.

Asynchronmotor: Wird mit Drehstrom 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. Er kann daher auch als Generator verwendet werden.* Beide Magnetfelder wechselwirken so, dass letztlich ein Drehmoment erzeugt wird - das Rotorfeld wird mitgezogen.

* Motoren dieser Art werden deshalb oft auch als Maschinen bezeichnet.

Lasthebemagneten



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).

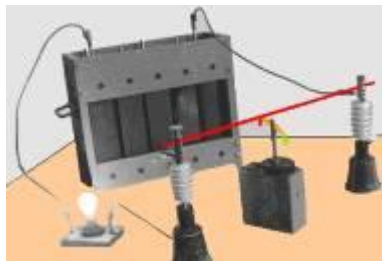


Theorie: Elektromagnetismus

1919 von Hans Christian Oersted entdeckt

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.

Oersted zeigt seinen Versuch

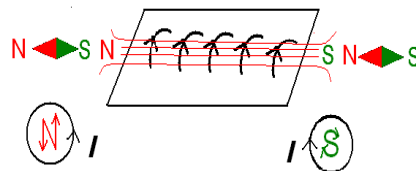
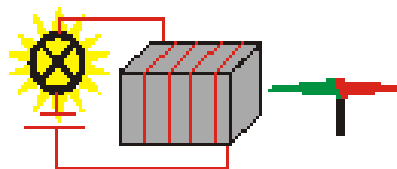


Strom durchflossene Leiter

Die magnetische Kraft eines Strom durchflossenen Leiters

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

Simulation: <http://www.walter-fendt.de/ph14d/mfleiter.htm>



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

Industrie

Produkt Elektrizität - Nutzung

Verkehr

Öffentlicher Raum



Verkehr

- Autos der Zukunft
- Elektroloks der Zukunft
- Von der Bim bis zur U-Bahn

Industrie

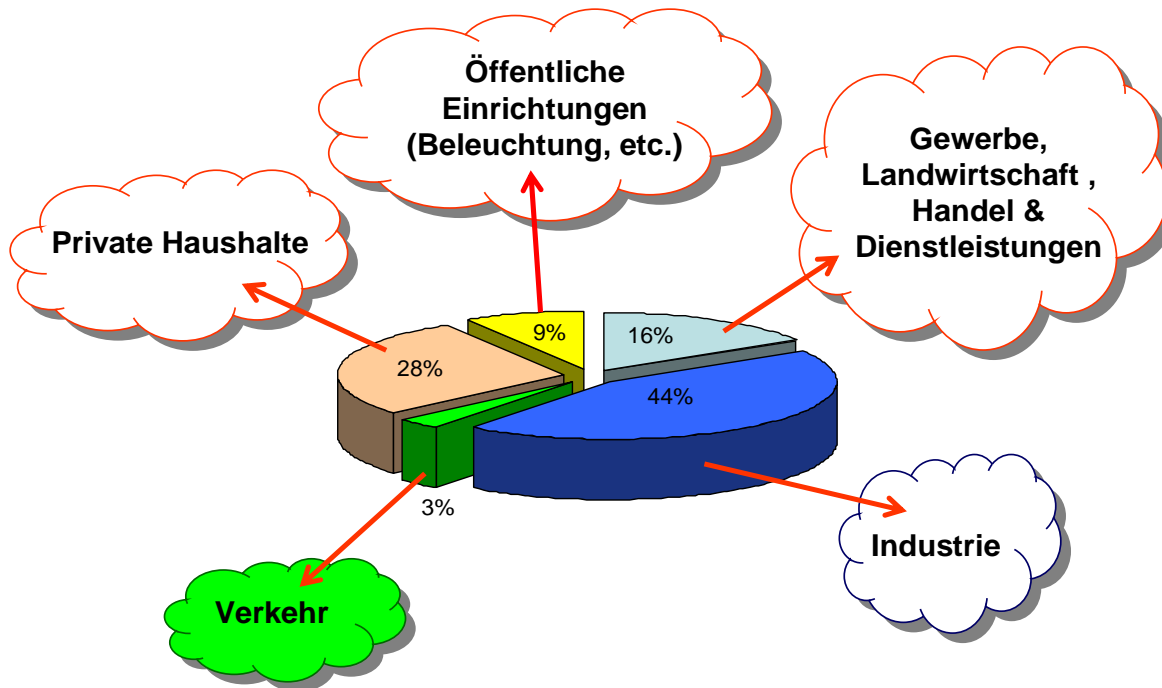
Produkt Elektrizität - Nutzung

Verkehr

Öffentlicher Raum

Verbraucheranteile

Wer braucht Strom?



Anteile des Verbrauchs nach Abnehmer-Kategorien

Autos der Zukunft: Antrieb mit Brennstoffzellen



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

Industrie

Produkt Elektrizität - Nutzung

Verkehr

Öffentlicher Raum

Eisenbahnen der Zukunft

Fahrzeuge an mechanischen oder magnetischen Trag- und Leitsystemen



Seilbahn mit



und ohne Schienen



Zahnradbahn

Oder auf einer Schiene ...



Fahrzeuge nach dem Rad-Schiene-Prinzip:



mit eigenem Antrieb
(Triebwagen)

oder mit einer Lokomotive



wie von Geisterhand getragen



**aber stets mit
Strom betrieben!**

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

2007 Frankreich, SNCF, Geschwindigkeitsrekord des TGV um 60 km/h auf 575 km/h verbessert

Eisenbahnen der Zukunft: Hochgeschwindigkeitszüge



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



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



- Drehgestell: Auflage des Rahmens mit bester Federung

Eisenbahnen der Zukunft: die dazu passende Elektrolok



ICE mit Antrieb, Frequenzumschalter & Wirbelstrombremse

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, 16²/₃ 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 55)
- elektrisches Bremsen (mit Widerständen und/oder regenerativ) an den Antriebsachsen
- Scheibenbremsen (mechanisch)
- Magnetschienenbremsen und in letzter Zeit auch
- Wirbelstrombremsen.

Theorie: Wirbelstrom

Befindet sich ein 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, entgegengesetztes 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**.

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.

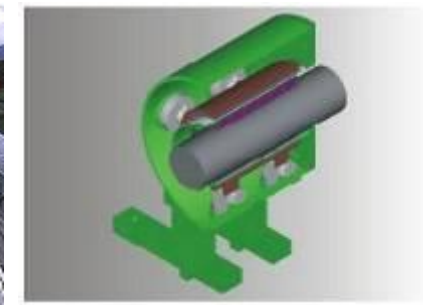
Verluste durch Wirbelströme: Ist der Querschnitt des Leiters sehr groß, also der elektrische Widerstand gering, werden sehr große Wirbelströme induziert. Dies führt zur Erwärmung des Leiters. Diese Verluste sind dem Quadrat der Frequenz proportional. ➡ hohen Frequenzen & große Querschnitten → hohe Verluste.

Abhilfe: dünne, aufeinander geschichtete Blechlammellen

Eisenbahnen der Zukunft:
518km/h und was dahinter steckt!



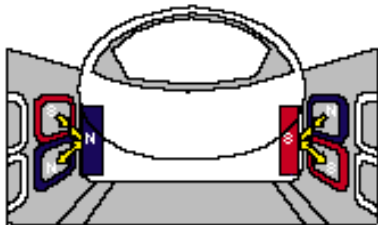
Magnetic Levitation



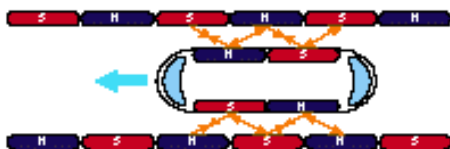
HTSL (Hoch Temperatur Supra Leiter)-Magnetlager

Supraleitung macht's möglich!

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



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.

Theorie: Supraleitung

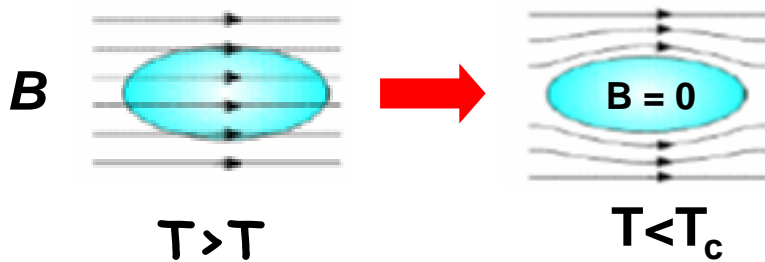
Supraleiter verlieren unter einer bestimmten Temperatur T_c (Sprungtemperatur) ihren elektrischen Widerstand

→ keine Energieverluste

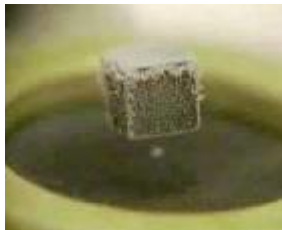
→ elektrische Ströme (Wirbelströme) bleiben erhalten

Meißner-Ochsenfeld-Effekt:

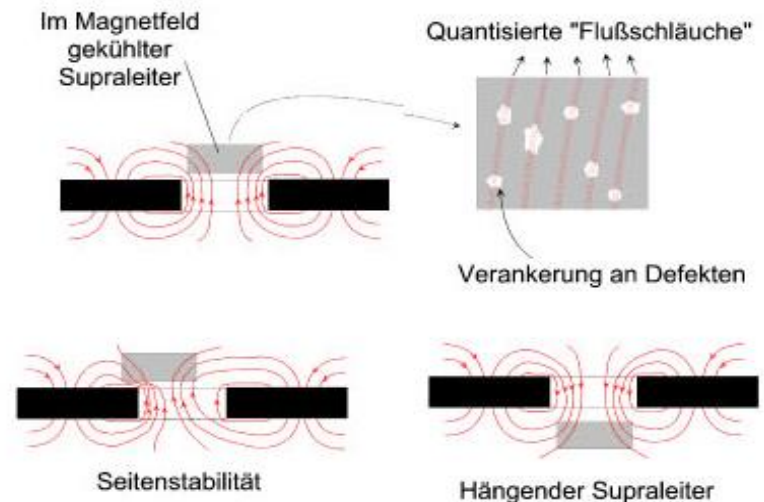
Typ I –Supraleiter verdrängen das Magnetfeld (B) völlig



c



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



Eisenbahnen der Zukunft

Bahninfrastruktursysteme und Komfortsysteme

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

Die Ankunfts- und Abfahrtspläne der Bahnhöfe



Elektronische Fahrplan-Informationen und ihr persönlicher Fahrplan auf dem Handy



Video- und Audioprogramme



Bordgastronomie



Der Zug - ein rollendes Büro



Laptop-Steckdosen, speziellen Verstärkern sorgen für einen störungsfreien Handy-Empfang!

Industrie

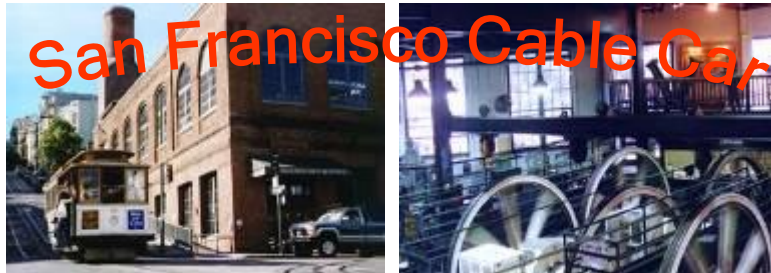
Produkt Elektrizität - Nutzung

Verkehr

Öffentlicher Raum

Von der Bim bis zur U- Bahn

einst



Straßenbahn, Wien 1912

und jetzt



Seit 1879 (Siemens' Elektrolokomotive) wird der Personennahverkehr in Großstädten weitgehend elektrisch angetrieben!
 Straßenbahnen (auch die "Elektrische"): Gleise in die Fahrbahn integriert

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, übrige Einrichtungen im Dachbereich).

**Von der Bim bis zur U- Bahn:
Unterirdisch geht es schneller!**



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: 2×190 kW bzw. 4×100 kW

Stromversorgung: 750V durch Oberleitung bzw. eine 3.

Schiene

Sicherheit:

Automatisch Einrichtungen zur Information und Abfertigung, Notrufeinrichtungen

LZB-System (Linienzugbeeinflussung): kontinuierliches, elektronisches Zugsicherungssystem

optische Überwachungssysteme



Öffentlicher Raum

Beleuchtung, Komfort & Sicherheitseinrichtungen

- Lichterzeugung
- Öffentliche Beleuchtung
- Verkehrsleitsysteme
- Uhren und digitale Anzeigen

Verkehr

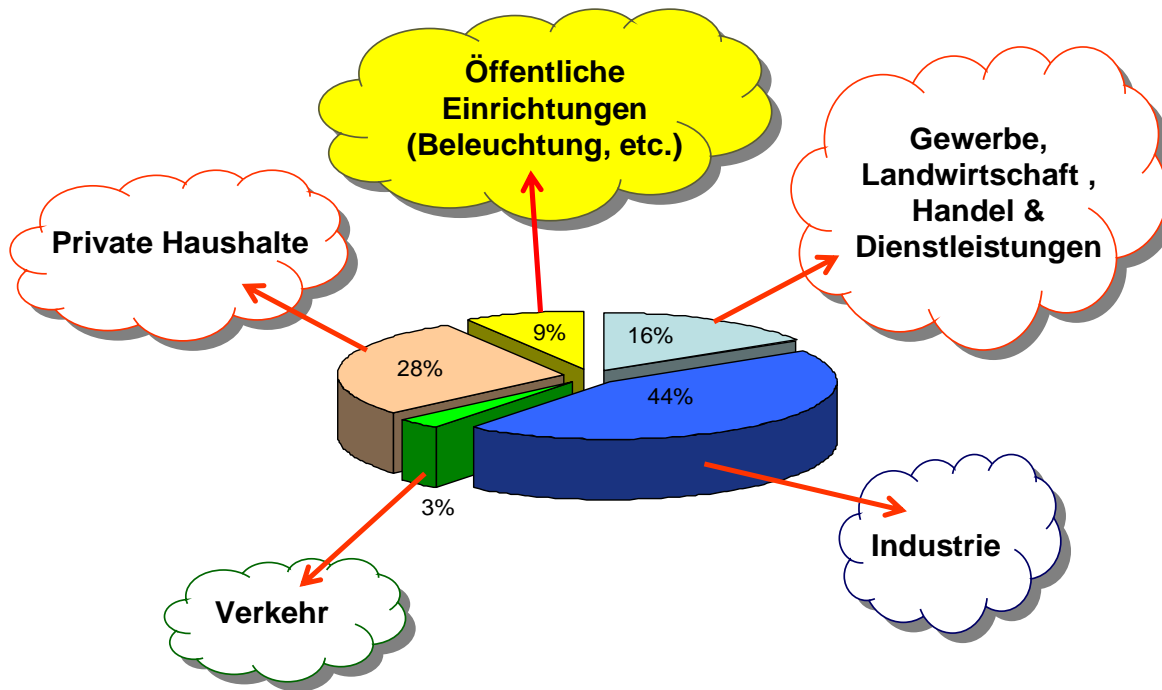
Produkt Elektrizität - Nutzung

Öffentlicher Raum

Kommunikation

Verbraucheranteile

Wer braucht Strom?



Anteile des Verbrauchs nach Abnehmer-Kategorien

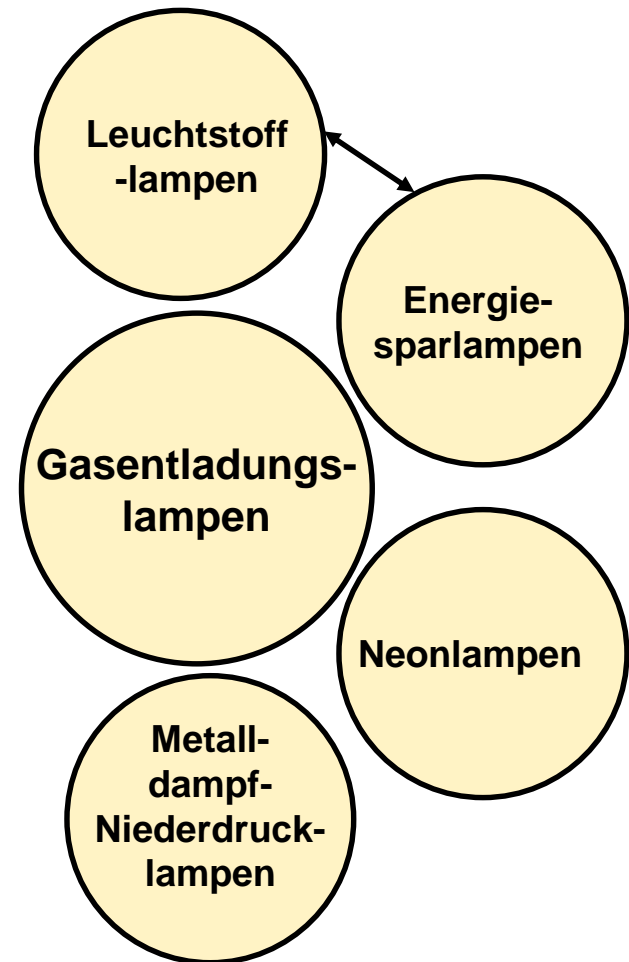
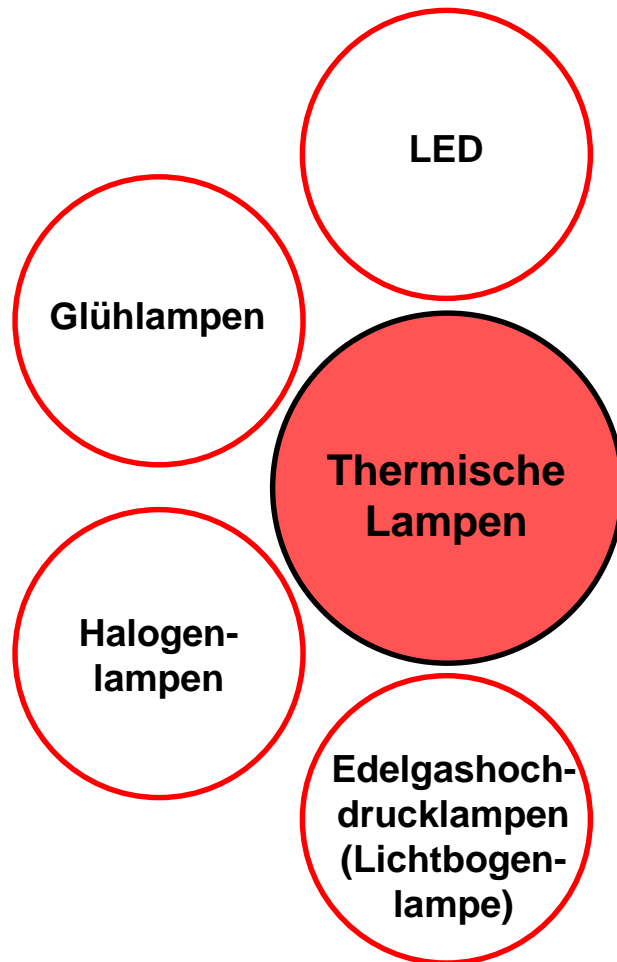
Verkehr

Produkt Elektrizität - Nutzung

Öffentlicher Raum

Kommunikation

Lichterzeugung





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.

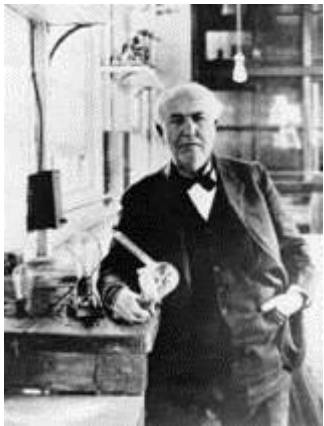
Theorie: Dr. Carl Auer, Freiherr von Welsbach (1858-1929)



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.

Theorie: 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.

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



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.

Lichterzeugung: Halogen hilft sparen!



Klassische Form
mit Tageslicht-Qualität

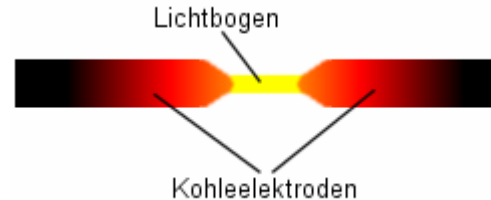
Halogenlampen leben länger und leuchten heller: Sie funktionieren nach dem Prinzip der Glühbirne. Bei sehr hohen Temperaturen verdampft die äußere Schicht der Glühwendel. Bei Abkühlung, z.B. am Glaskolben, kondensieren die Wolframatomte wieder. Halogenzusatz verhindert bei einer Glaskolbentemperatur 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 Halbleiterprozessertechnik ([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 Funkens)



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

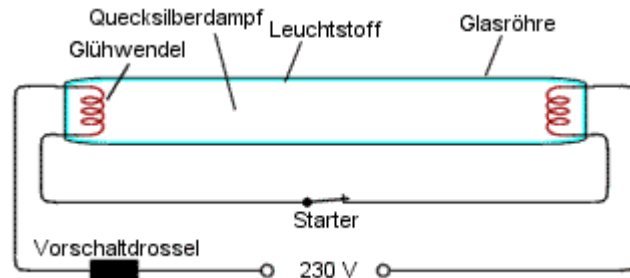


Metaldampf-Hochdrucklampen: Metallelektroden in einem Gas gefüllten Raum → der Strom des Lichtbogens ionisiert das Gas (z.B. Na, Hg) → Plasma (Lichtbogen) → kein Abbrand (längere Lebensdauer), bestimmte Teile des Spektrums durch Wahl des Füllgases (Stadien, Warenhäuser)

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>)

Lichterzeugung: die Leuchtstoffröhre - kühl und sparsam!



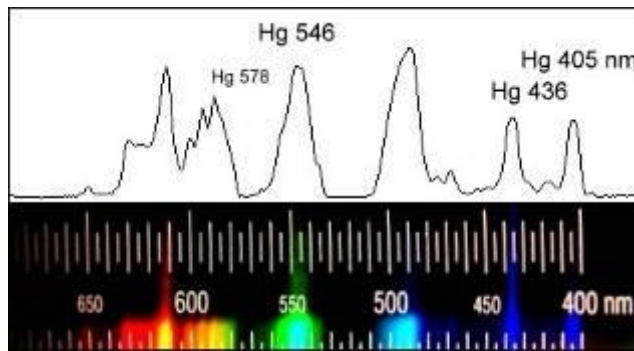
Das Prinzip: Elektronenemission an der Glühwendel schon bei geringen Temperaturen. Die Entladungsspannung (Wechselspannung) beschleunigt die um den Kathodenheizdraht angesammelten Elektronen zur jeweiligen Anode. Sie stoßen unterwegs mit den Quecksilberatomen zusammen. → Stoßionisation → Plasma strahlt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

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

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

Anwendung:

Fußgängerübergänge, Straßenbeleuchtung



Spektrum der Leuchtstoffröhren

Lichterzeugung : Energiesparlampen – der Hit beim Energiesparen



Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen):

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

Einsparpotential durch Kompaktleuchtstofflampen:

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

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

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

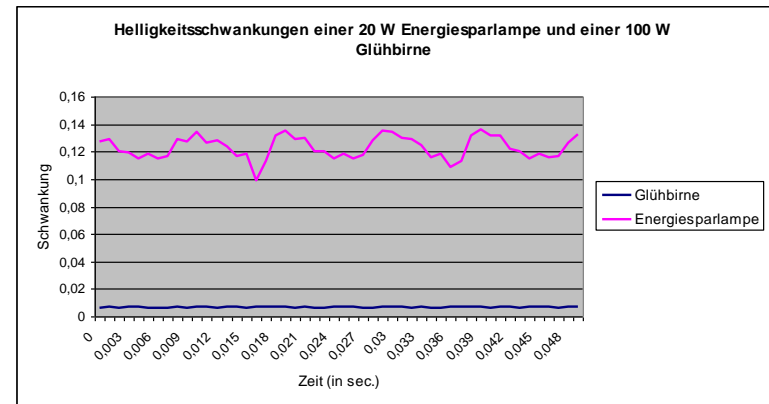
Weitere Vorteile: lange Lebensdauer (ca. 5-15 mal so lange wie herkömmliche Glühbirnen) unterschiedliche Lichtfarben und Formen

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

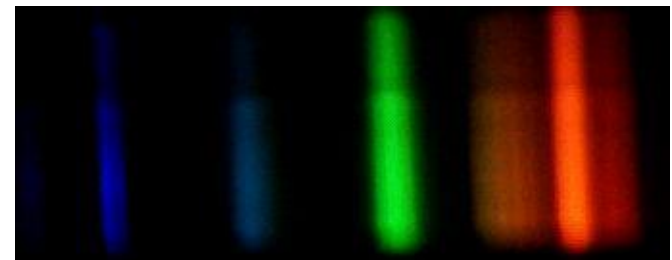
Lichterzeugung : Energiesparlampen – aber

Kein Plus ohne Minus:

- Energiesparlampen zünden verzögert
- es wird nur langsam hell
 - Energiesparlampen flackern: störende Helligkeitsschwankungen
 - Kühles Licht – veränderte Farben:
Energiesparlampen haben kein fließendes Farbspektrum und kein Gelb.
- ★ **Ganz neu auf dem Markt:**
Energiesparlampen mit sonnenlicht-ähnlichem Vollspektrumlicht!



Helligkeitsschwankungen im Vergleich



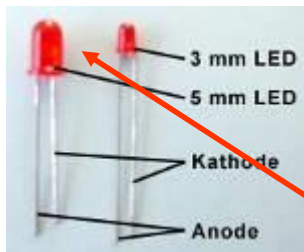
Spektrum der Energiesparlampe



Lichterzeugung

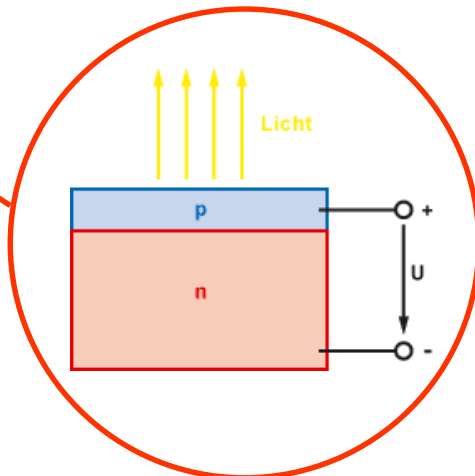
LED - Light Emitting Diode - nur Warnlämpchen oder die Beleuchtung der Zukunft?

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

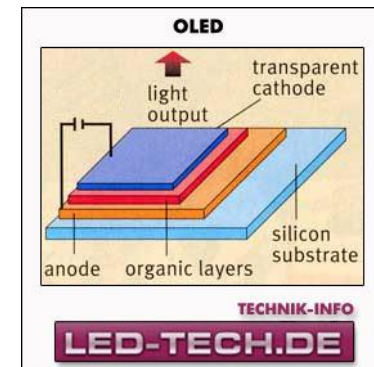
Nachteil: lichtschwach (viele Leds ergeben eine Glühbirne), hohe Produktionskosten

Lichterzeugung: Die Zukunft der Led – OLED

Organische Leuchtdiode:

halbleitende, organische Polymere oder kleine Moleküle

- kostengünstiger als anorganische LEDs
- hohe Energieeffizienz, niedrige Betriebsspannung
- homogenen dünne leuchtende Flächen
 - Lichtkacheln, Bildschirme,
 - biegbare Displays so dünn wie Plastik-Folien



- ★ Kingt wie Zukunftsmusik, wird aber bald Realität
 - flexible oder transparente Flächenstrahler als Dachfenster: Tagsüber wird das natürliche Licht durchgelassen und nachts wird der Raum faszinierend beleuchten.
 - In die Heckscheibe des Autos vollständig integrierte Rückbeleuchtung



Leuchtkörper der Zukunft

Entwicklung der öffentlichen Beleuchtung (Wien)



Opernpassage 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 Natriumdampf lampen-Beleuchtung (67 Gasentladungslampen) Auf verkehrsreiche Straßenkreuzungen werden die ersten zehn Quecksilberdampf lampen montiert.

1955: ersten größere, unterirdischen Fußgängerpassage: 815 zumeist 40 Watt-Leuchtstofflampen

Lampenstand 2001: 241.381 Lampen insgesamt

Davon: 105 Glühlampen, 198.584 Leuchtstofflampen, 1.371 Natriumdampf-Niederdrucklampen
32.810 Natriumdampf- Hochdrucklampen, 7.140 Quecksilberdampf lampen



Öffentliche Beleuchtung

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)

Verkehrssysteme: 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).

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:

In dem man zunächst die Digital-Zeitangabe 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.



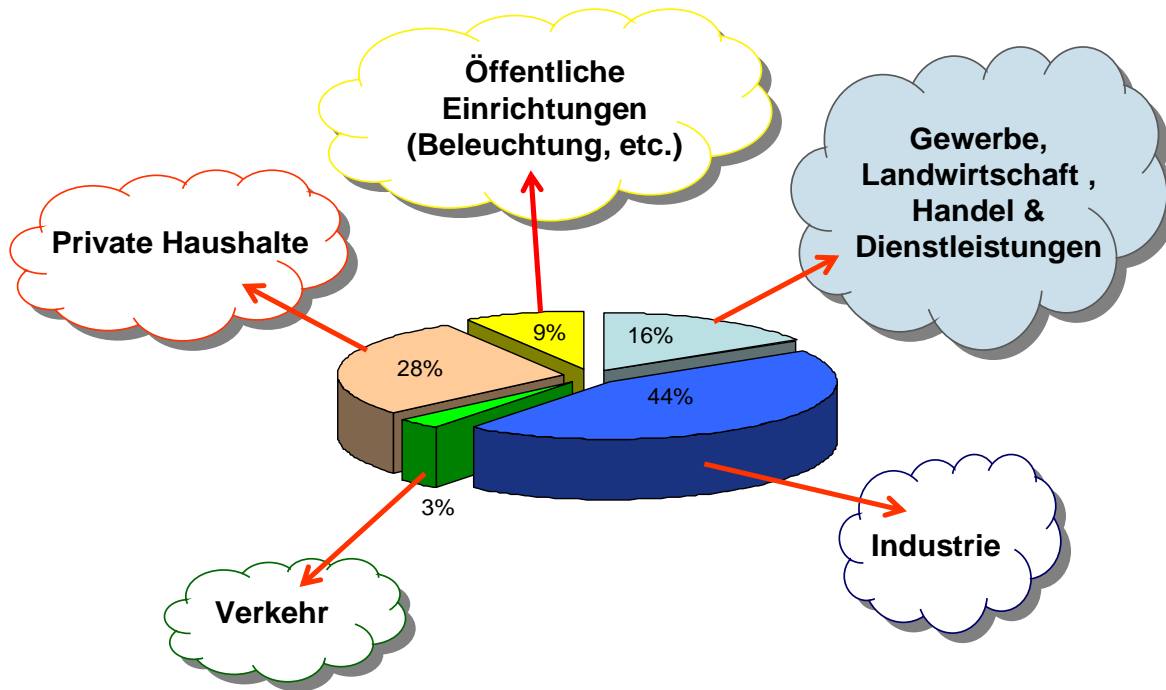
Kommunikation

- EDV
- Mobile Geräte
- Standby



Verbraucheranteile

Wer braucht Strom?



Anteile des Verbrauchs nach Abnehmer-Kategorien



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 leistungsärmer, 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.

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, Standby, Kontrollleuchten, ...)

Standby ist ein Stromfresser!

- Standby: unnötige Energieverlust im Bereitschafts-, Warte- und im Aus-Zustand eines Geräts.
- Standby-Verbrauch: in einem typischen Haushalt etwa 10% des Stromverbrauchs
- Jedes Standby-Watt kostet Sie im Jahr rund 1,50 Euro!
- Rechnen Sie Ihren Verbrauch selbst aus!
<http://www.energybox.ch/standbytest.aspx>
- Standby-Verbrauch in Österreich: 2,5% des gesamten Stromverbrauches
- Standby-Anteil an den gesamten nationalen CO₂ – Emission: 0,5%
- Für die Erzeugung der gesamten österreichischen Stand-by Leistung ist zum aktuellen Zeitpunkt ein Kraftwerk mit einer Leistung von rund 150 MW nötig!

Standby: Hier einige Stromräuber ...

| Gerät | Leistung Stand-by [W] | Leistung Betrieb [W] | Stromverbrauch [kWh/Jahr] | Kosten *) [€/Jahr] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|
| TV | 10 | 20 | 73 | 10,6 |
| Videorecorder | 6 | 23 | 50 | 7,3 |
| HiFi Anlage | 15 | 20 | 110 | 16,0 |
| 3 Radios | 6 | 20 | 44 | 6,4 |
| PC | 5 | 20 | 37 | 5,4 |
| Monitor | 5 | 20 | 37 | 5,4 |
| Drucker | 6 | 23 | 50 | 7,3 |
| Akku-Ladegeräte | 2 | 24 | 15 | 2,2 |
| Schnurlostelefon | 3 | 23 | 25 | 3,6 |
| Summe | 58 | 193 | 441 | 63,9 |

*) bei einem Strompreis von 0,145 € pro kWh

[Quelle: Energieagentur Austria, Energie-Control GmbH]

Standby:

7 Tipps zur Vermeidung von hohen Standby-Werten

- ➔ Elektrogeräte über Steckerleiste mit Schalter vom Netz trennen. (Master-Slave-Funktion: Das Gerät wird elektronisch überwacht. Sobald es eingeschaltet wird, schaltet die Elektronik der Leiste auch die anderen Steckdosen ein.)
- ➔ Zumindest über Nacht Fernseher, Hifi und PC mittels manuellem Hauptschalter ausschalten.
- ➔ Drucker ausschalten! Sie sind die größten Standby-Verbraucher (ca. 70% des gesamten Verbrauches).
- ➔ Vor Urlauben alle "Verdachtsgeräte" ausstecken.
- ➔ Verzichten Sie auf Radiowecker mit Digitalanzeige und greifen Sie zum Batteriewecker mit Akkubatterien.
- ➔ Trennen Sie Ladegeräte immer vom Netz, wenn sie nicht benötigt werden (Handy, Rasierapparat, Barttrimmer, elektrische Zahnbürste, Handstaubsauger, Akkuladegerät ...).
- ➔ Achten Sie beim Kauf neuer Geräte auf niedrigen Standby-Verbrauch.

Produkt Elektrizität - Nutzung



Ende



Impressum



- **Herausgeber:**
 - Österreichische Physikalische Gesellschaft - Arbeitskreis Energie



- **Redaktionelle Leitung und Inhalte:**

- Dipl.-Ing. Dr.techn. **Werner Spitzl**,
WIEN ENERGIE Stromnetz
werner@spitzl.cc

- Mag. Dr. **Brigitte Pagana-Hammer**, MAS, MSc
brigitte@pagana.info



- **Grafisches Konzept:**

- DDipl.-Ing. **Helmut Spitzl**, MSc
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
helmut@spitzl.cc

- **Wissenschaftliche Beratung:**

- Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Helmuth Böck**,
Atominsttitut der österreichischen Universitäten
- Ao.Univ.Prof.i.R. Dr.phil. **Heinz Oberhammer**,
Atominsttitut der österreichischen Universitäten