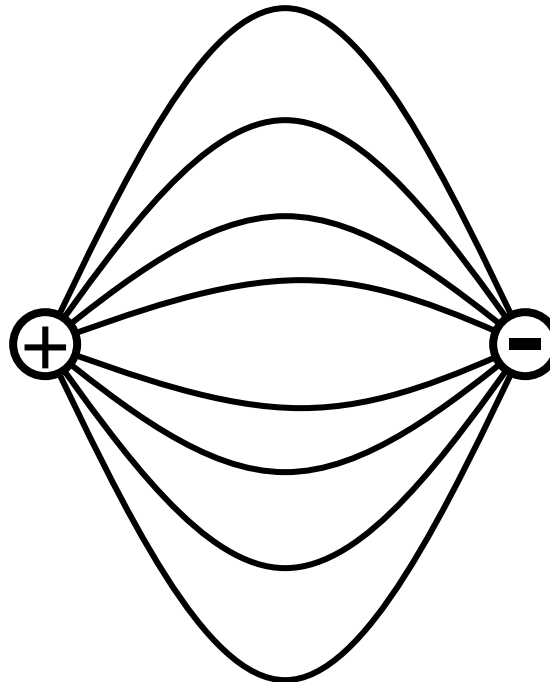


Elektromagnetisches Feld



Elektrisches Feld

Strom ?

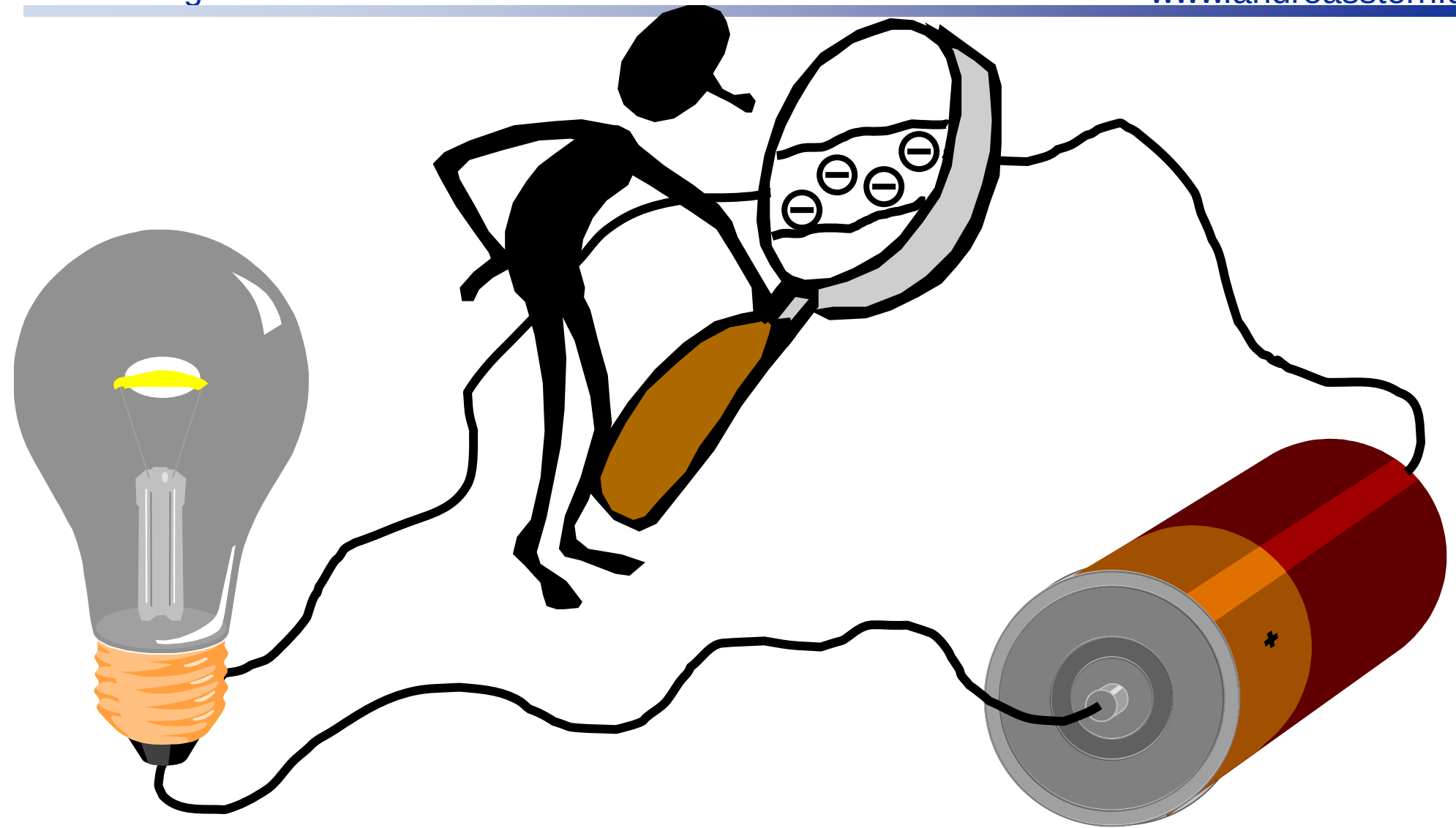
Ich stehe
unter Strom.

fließt durch
Drähte.

Geräte brauchen
Strom.



Was ist Strom ?



Strom = Bewegung von Elektronen (=geladene Teilchen) in einem Leiter

Ladung ?

Ich bin
geladen.

den Akku
laden

negativ und
positiv



Was ist Ladung ?

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$\text{Strom} = \frac{\text{Ladung}}{\text{Zeit}}$$

$$I * t = Q$$

$$\text{Strom} * \text{Zeit} = \text{Ladung}$$

Strom = (bewegte) Ladung pro Zeit

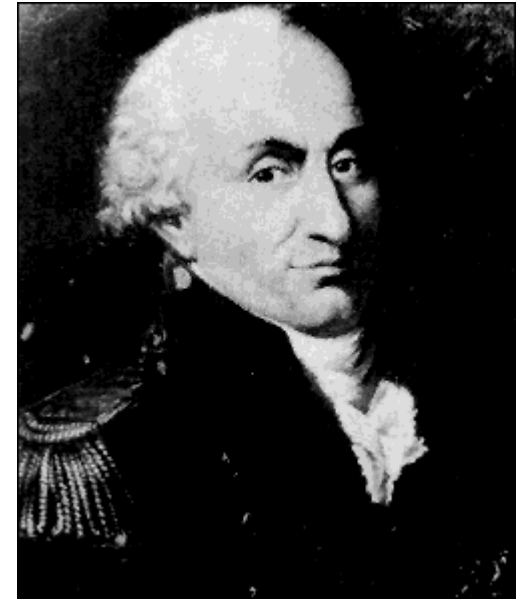
„Strom“ = Bewegung einer elektrischen Ladung

„starker Strom“ = Bewegung von viel Ladung in kurzer Zeit



Andre-Marie Ampere
-> Maßeinheit des Stroms

$$1A = \frac{1C}{1s}$$



Charles Augustin de Coulomb
-> Maßeinheit der Ladung

$$1A * 1s = 1 As = 1C$$

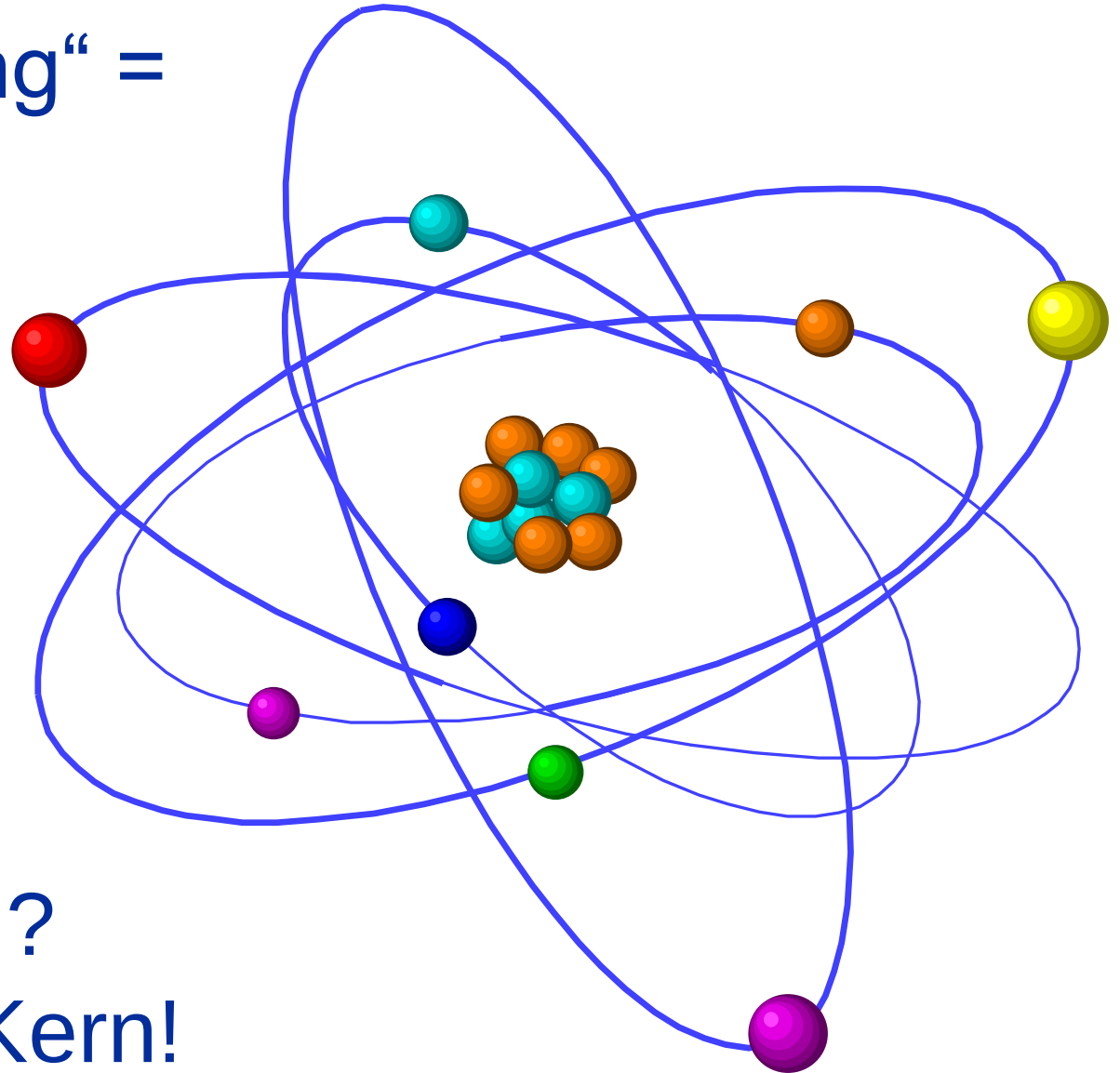
Die Ladungsmenge 1 Coulomb wird transportiert, wenn ein Strom der Stärke 1 Ampere eine Sekunde lang fließt.

Was ist Strom ?

„Elementarladung“ =

Ladung eines
Elektrons =
 $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
(negativ)

positive Ladung ?
-> Protonen im Kern!



Spannung ?

Ich bin
gespannt.

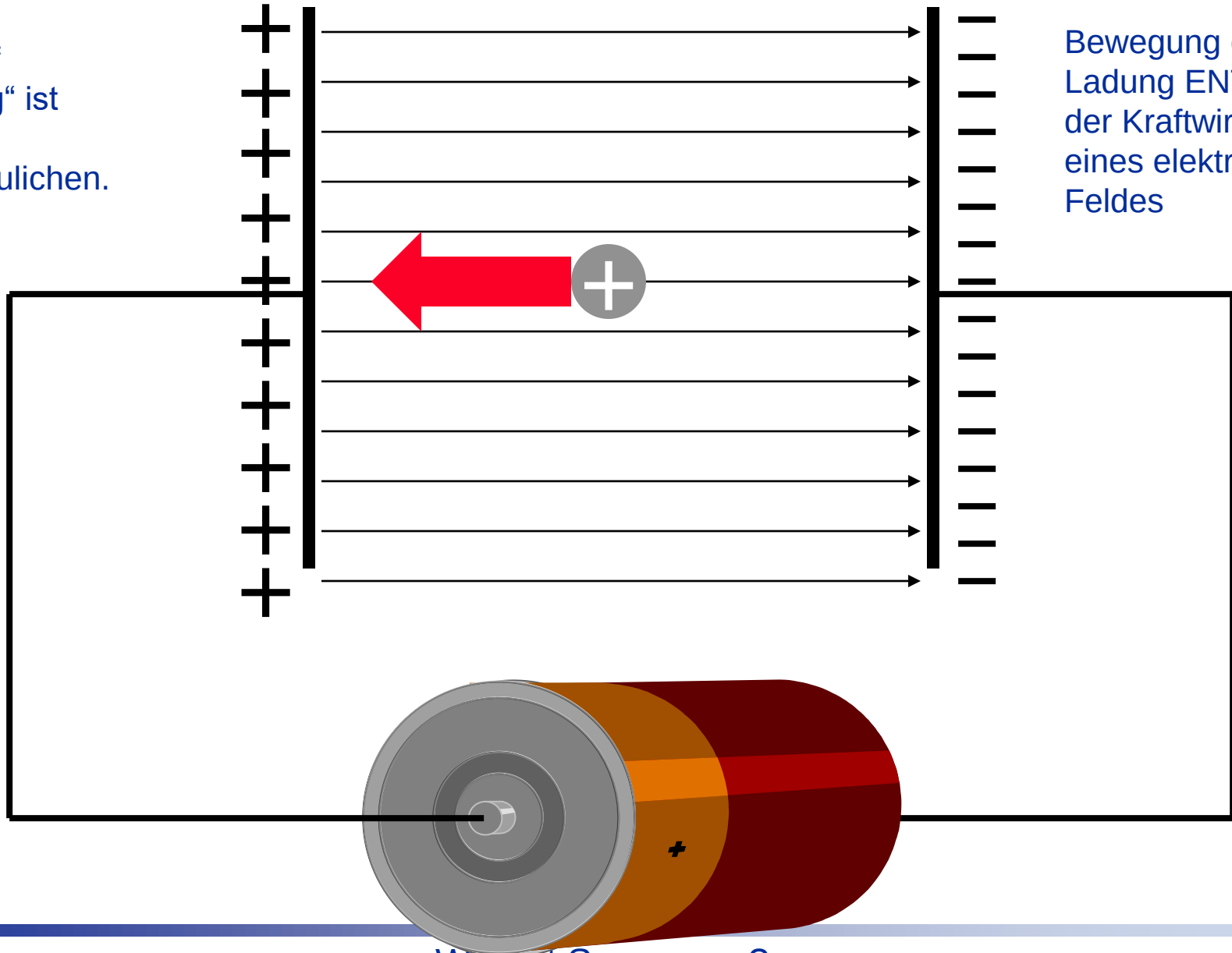
230 V aus der
Steckdose

Hochspannung
ist gefährlich



Was ist Spannung ?

Der Begriff
„Spannung“ ist
schwer zu
veranschaulichen.



Bewegung einer
Ladung ENTGEGEN
der Kraftwirkung
eines elektrischen
Feldes

Was ist Spannung ?

$$U = \frac{W}{Q}$$

$$\text{Spannung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Ladung}}$$

Eine große Spannung liegt also vor, wenn bei der Bewegung einer Ladung viel Arbeit verrichtet werden muss.

$$U * Q = W$$

Da Arbeit = Kraft * Weg ist, kann man auch sagen: Es muss viel Kraft aufgewendet werden, um die Ladung zu bewegen.

Was ist Spannung ?

„Spannung“ = Arbeit bei der Bewegung einer elektrischen Ladung (Analogie: Ziehen an einer Feder -> „Um eine starke Feder zu spannen, braucht man viel Kraft“)

Federspannung!



„starke Spannung“ = Es ist viel Arbeit für die Bewegung einer elektrischen Ladung erforderlich



Alessandro Volta
-> Maßeinheit der Spannung

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

Deprimierende Tatsache:

Ich kann viel arbeiten – aber wenn ich dafür sehr lange brauche, habe ich wenig geleistet!

Definition der elektrische Leistung:

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Volt} * 1 \text{ Ampere}$$

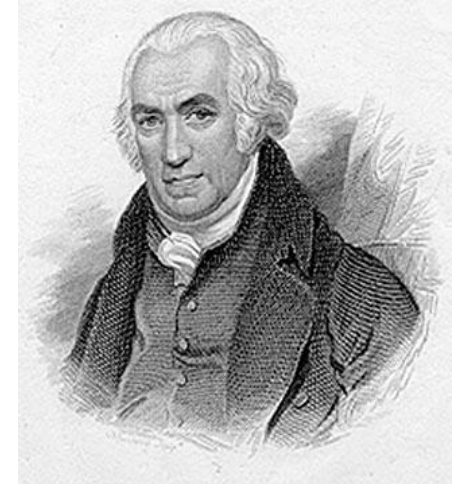
$$1 \text{ kW} = 230 \text{ Volt} * 4,35 \text{ Ampere}$$

Dann ergibt sich aus der obigen Gleichung für die elektrische Arbeit:

$$\text{Arbeit} = \text{Leistung} * \text{Zeit}$$

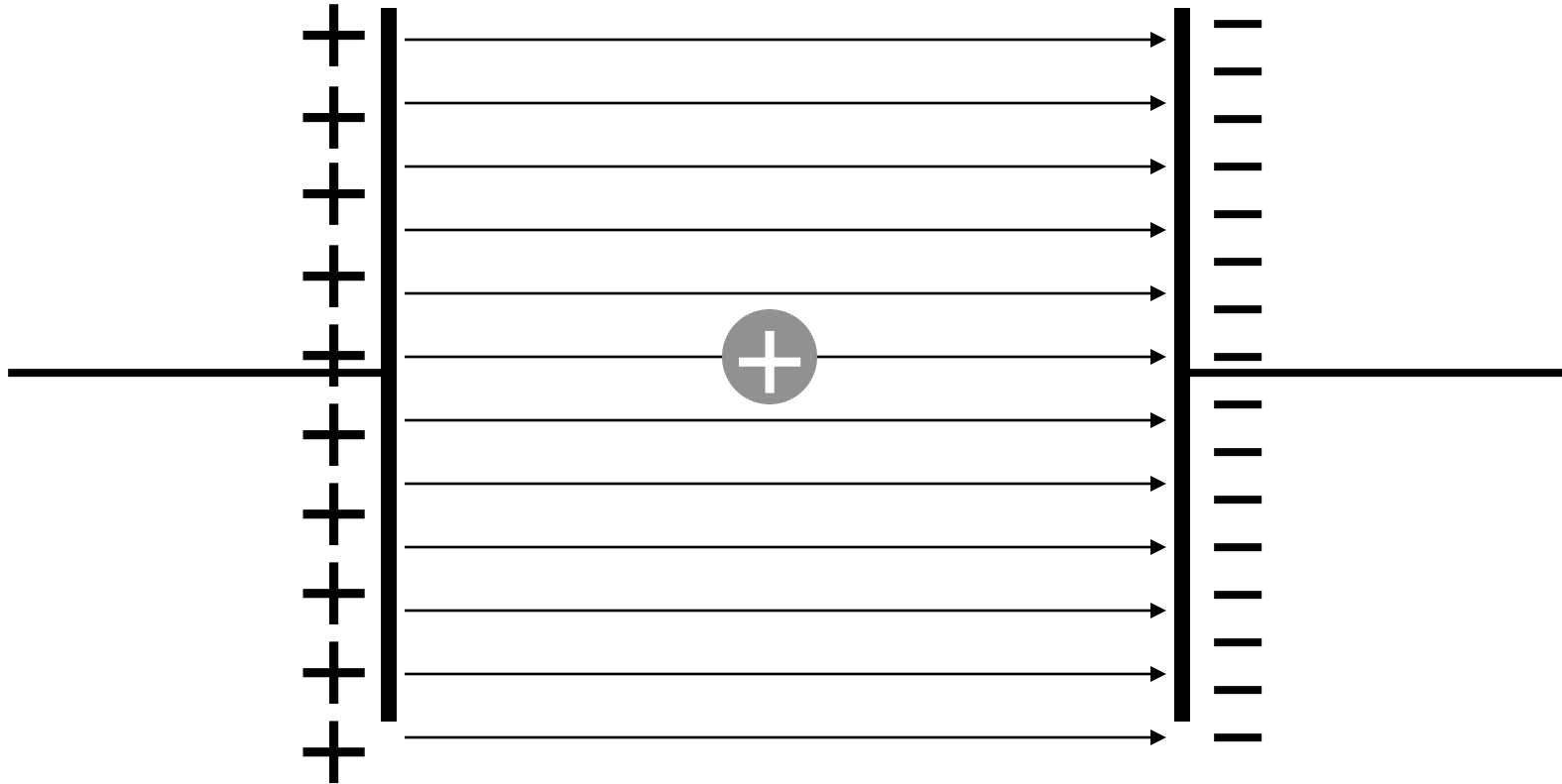
$$1 \text{ Wattsekunde} = 1 \text{ Watt} * 1 \text{ Sekunde}$$

$$1 \text{ kWh} = 1.000 \text{ Watt} * 3.600 \text{ Sekunden}$$



James Watt
-> Maßeinheit der Leistung

Was ist elektrische Leistung? Was ist elektrische Arbeit?

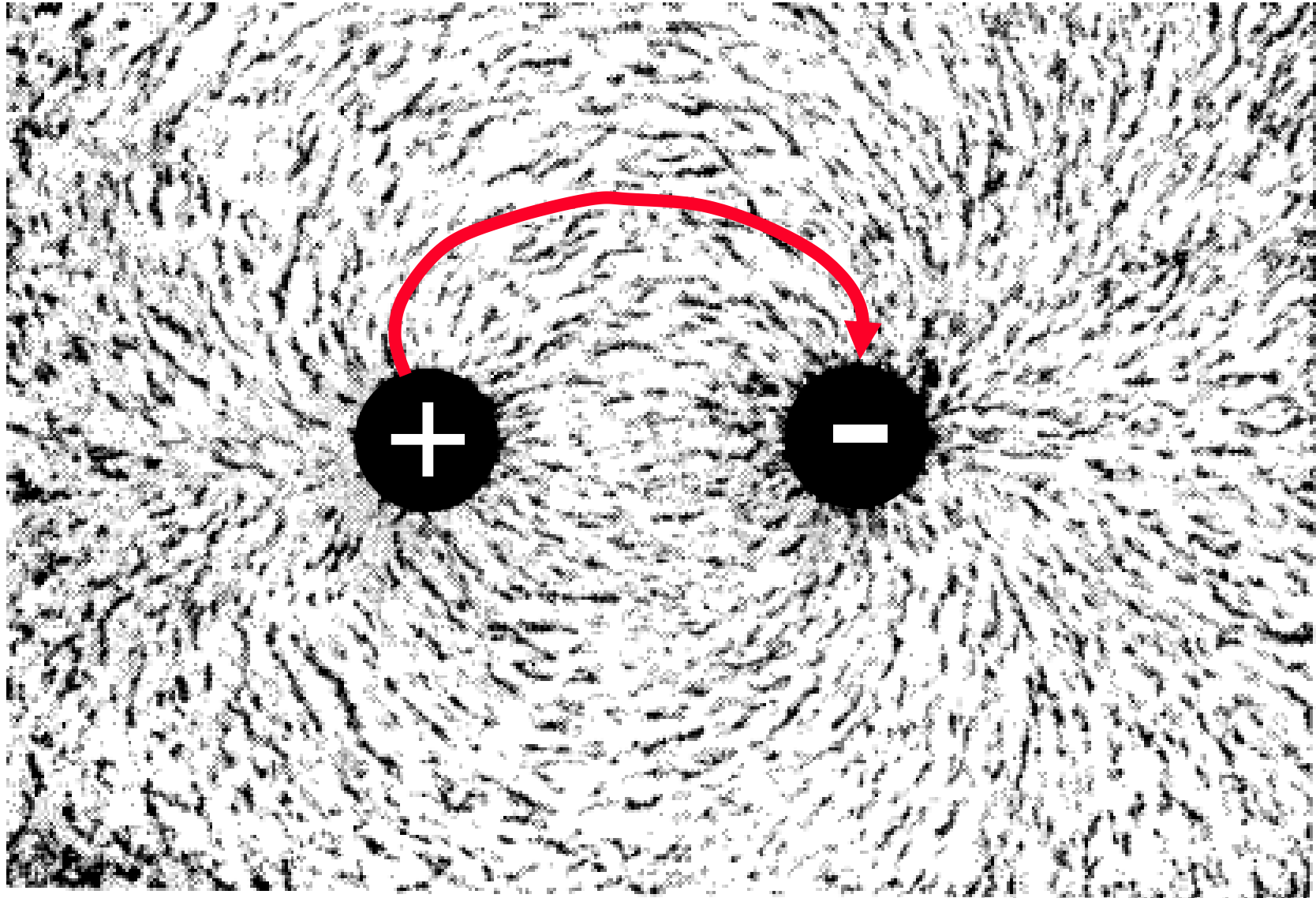


„Etwas zieht an dem Kügelchen.“

„Feld“

umschreibt die Tatsache, dass jedem Punkt des Raumes eine physikalische Eigenschaft zugeordnet wird (Kraft, Temperatur, Druck, Geschwindigkeit, ...)

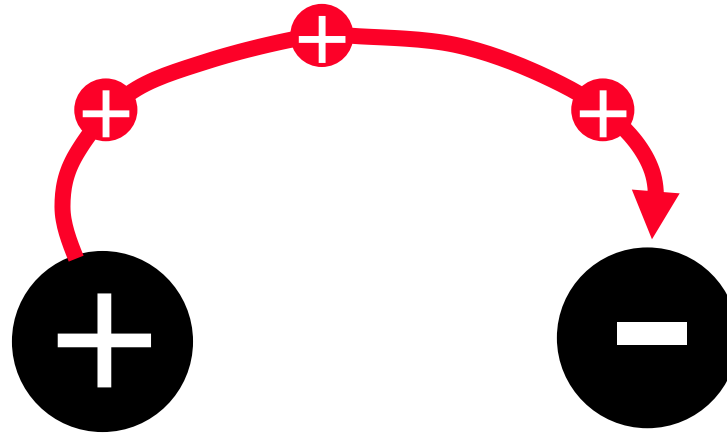
Vektorfeld / Skalarfeld
konstantes / zeitlich veränderliches Feld



Gipspulver

Quelle: Grimsehl, „Lehrbuch der Physik“, Band II, S. 12

Mit Eisenfeilspänen sichtbar gemachte Feldlinien



Feldlinie

= Weg, auf dem sich eine Probeladung
im Feld bewegen würde

Probeladung: relativ zur feldverursachenden Ladung so klein, dass die Störung, die sie hervorruft, vernachlässigt werden kann.

„elektrisches Feld, magnetisches Feld, Gravitationsfeld“

keine Sinnesempfindung,
Ausdruck der Hilflosigkeit,
da wirkt eine Kraft, auch im
„Nichts“, im Vakuum

Wir können es mit unseren Augen und Ohren nicht wahrnehmen!
(... und mit der Nase auch nicht ...)

$$E = \frac{F}{Q}$$

$$\text{Feldstärke} = \frac{\text{Kraft}}{\text{Ladung}}$$

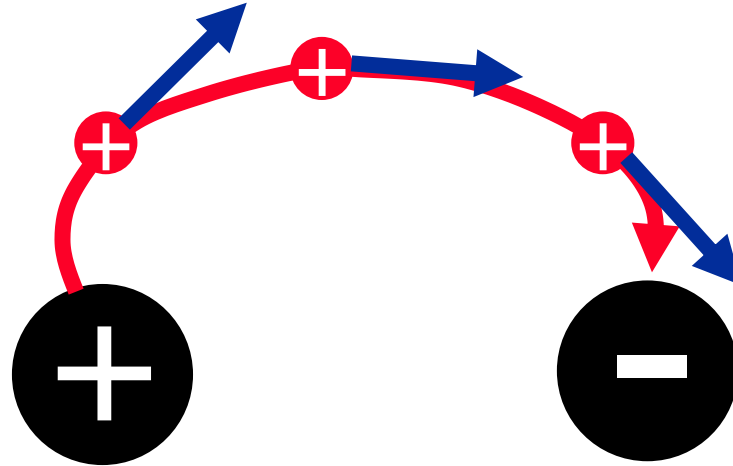
$$E * Q = F$$

Die auf eine Ladung (Q) in einem elektrischen Feld ausgeübte Kraft (F) ergibt sich aus dem Produkt Ladung Q mal Feldstärke E.

$$[E] = \frac{1\text{Ws}/1\text{m}}{1\text{As}}$$

$$[E] = \frac{1\text{V}}{1\text{m}}$$

Die Maßeinheit der elektrischen Feldstärke ist als „1 Volt pro Meter“



Richtung der Feldstärke
= Tangente an die Feldlinie

Magnetisches Feld

Magnet ?

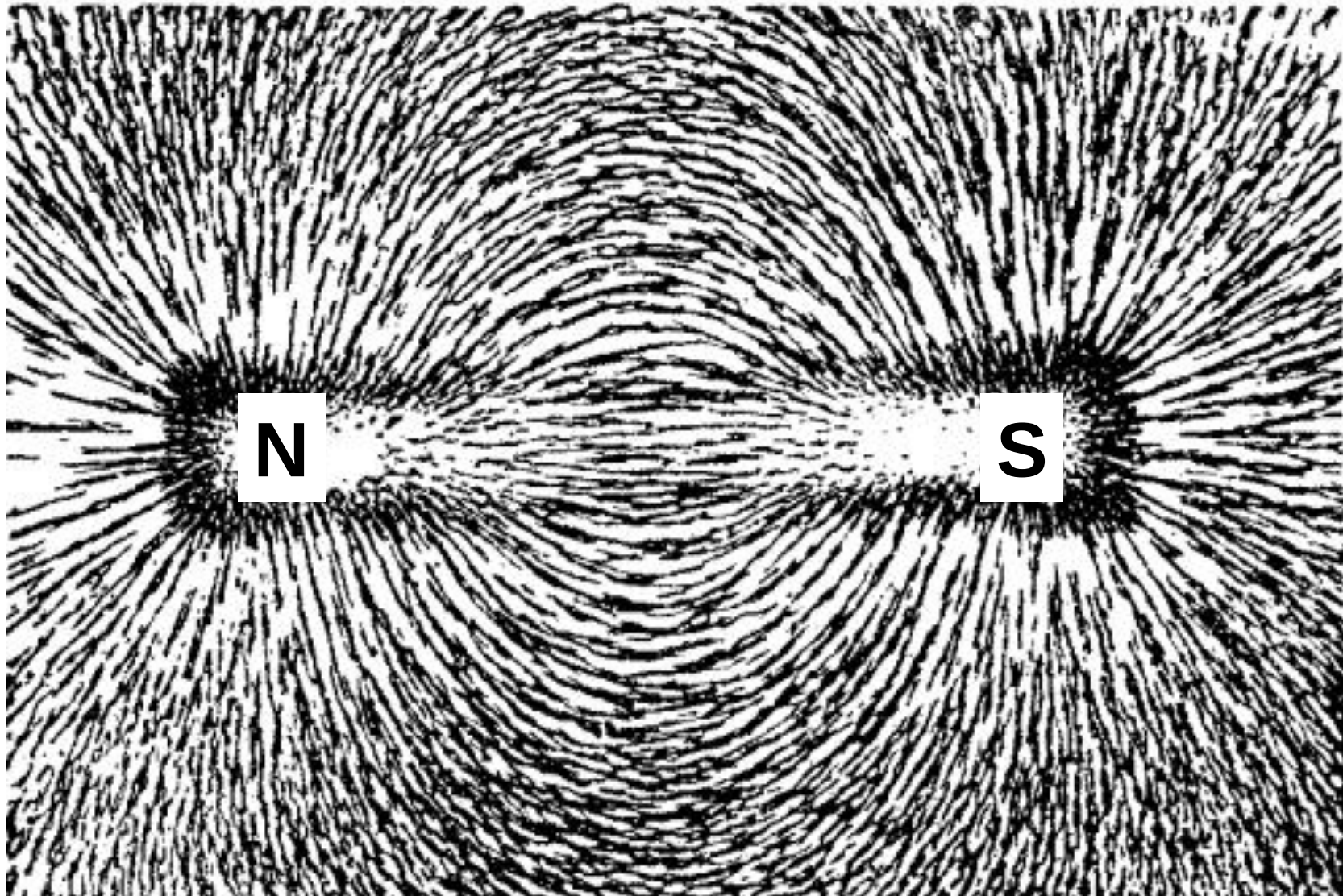
Nord- und
Südpol,

Erdmagnetfeld,
Kompass,

anziehen /
abstoßen



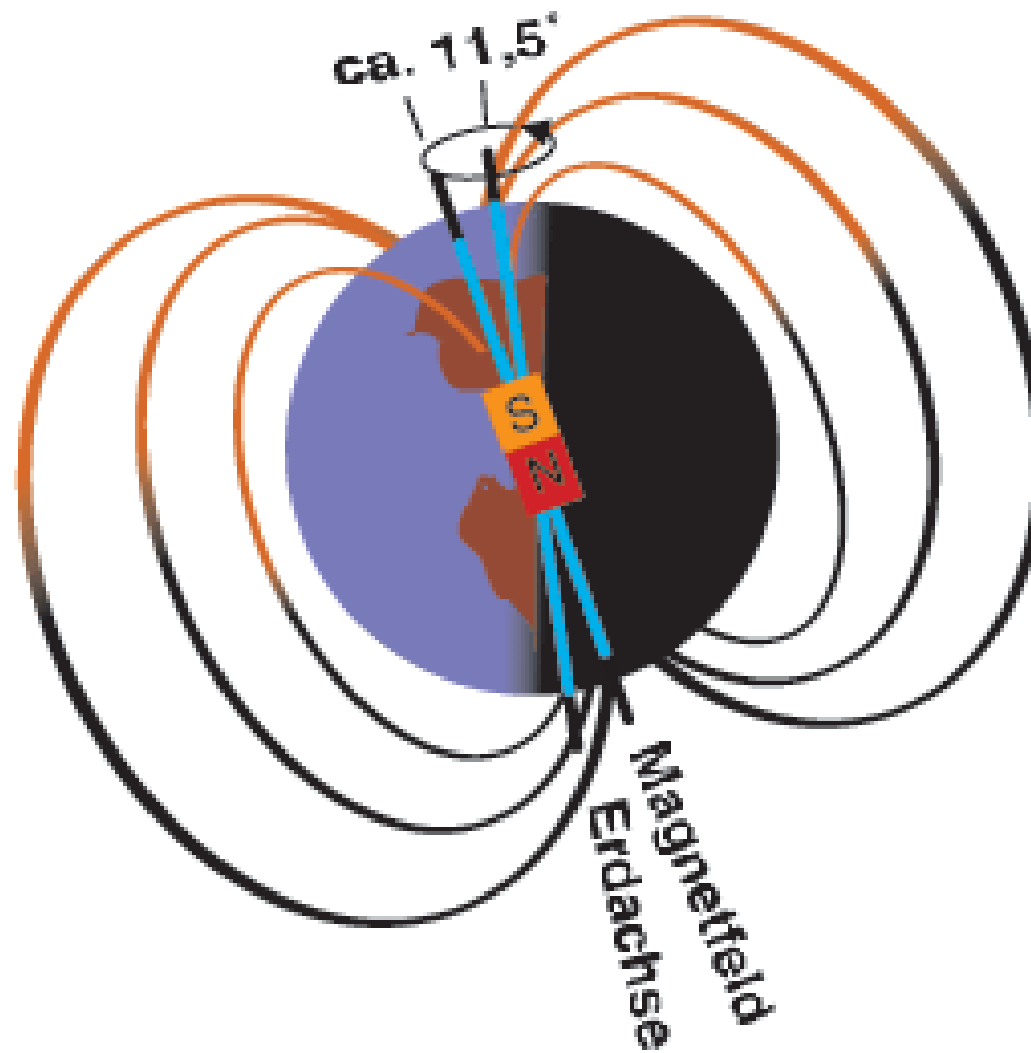
Magnetfeld ?



Eisenfeilspäne

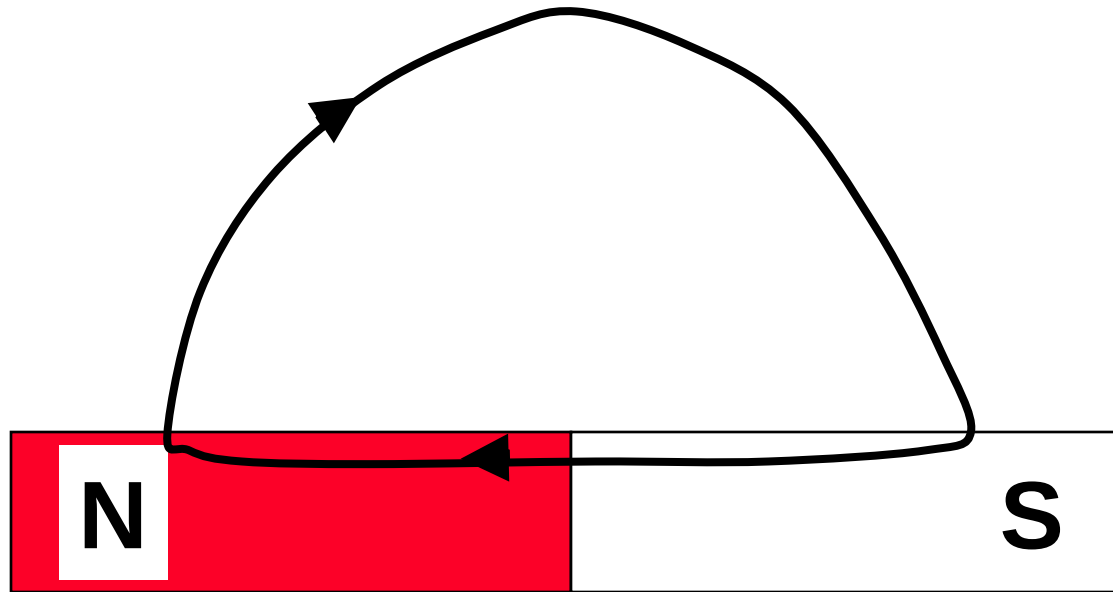
Quelle: Grimsehl, „Lehrbuch der Physik“, Band II, S. 80

Mit Eisenfeilspänen sichtbar gemachte magnetische Feldlinien



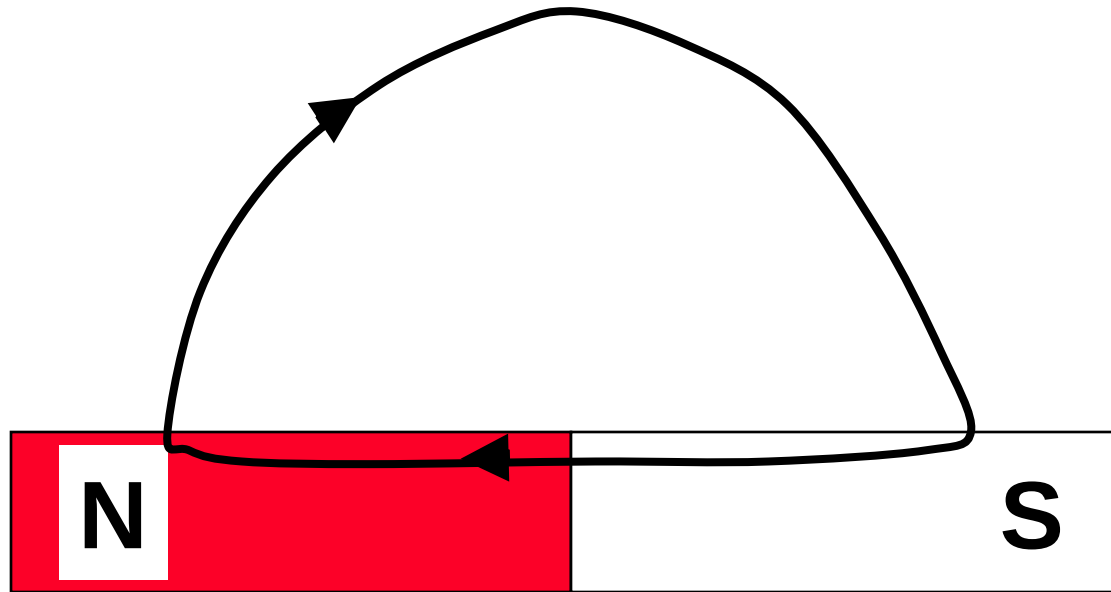
Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Erdmagnetfeld>

Das Erdmagnetfeld



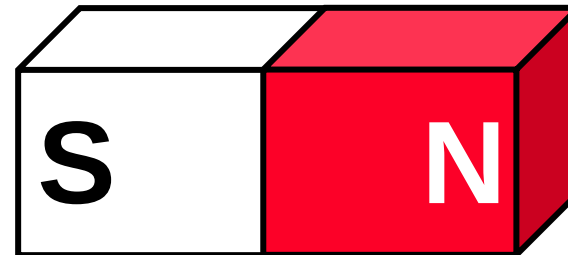
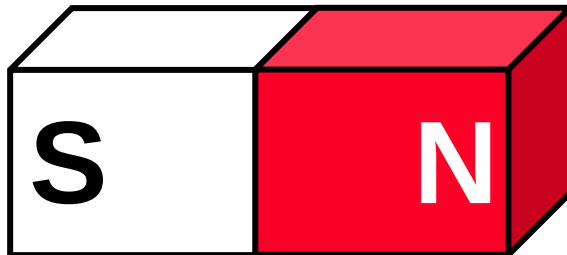
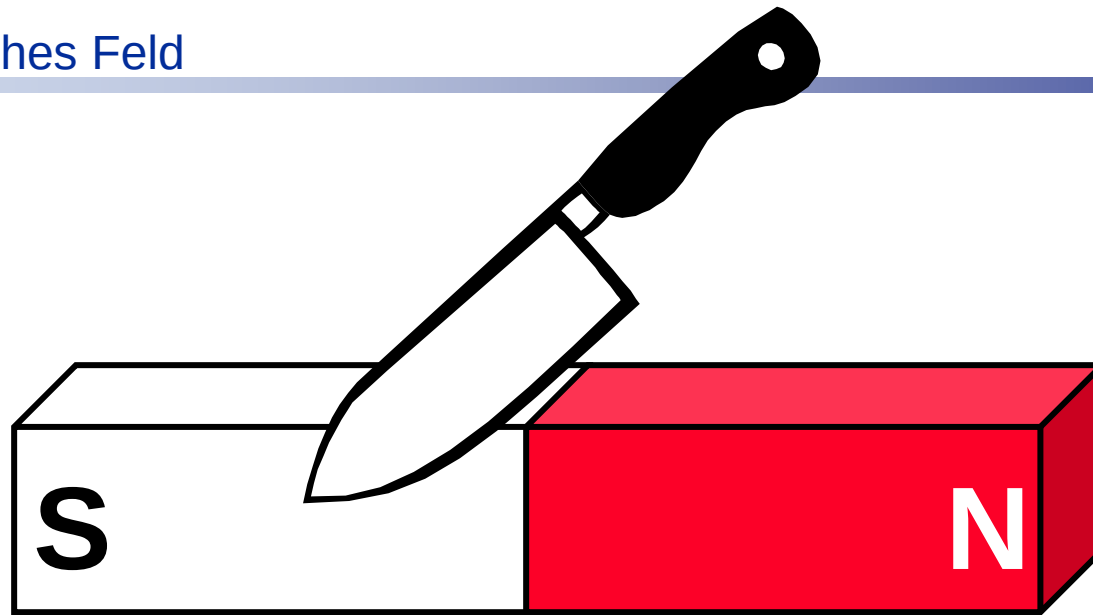
Magnetische Feldlinien sind immer geschlossen.
Sie gehen nicht von einem Pol aus.
(Elektrische Feldlinien beginnen und enden bei
Ladungen.)

Quelle: Bergmann/Schaefer „Lehrbuch der Experimentalphysik“, Bd. II, S. 259; FBS: 6c 137 (2),7

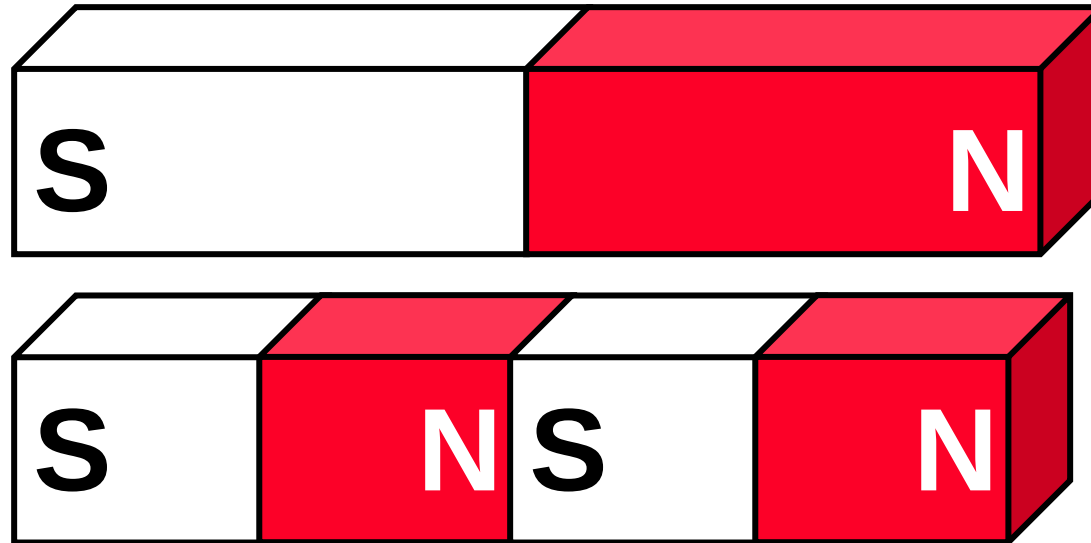


Nord- und Südpol sind keine magnetisch besonderen Gebiete – diese Angabe hat rein praktischen Sinn, um die Richtung der Feldlinien anzugeben.

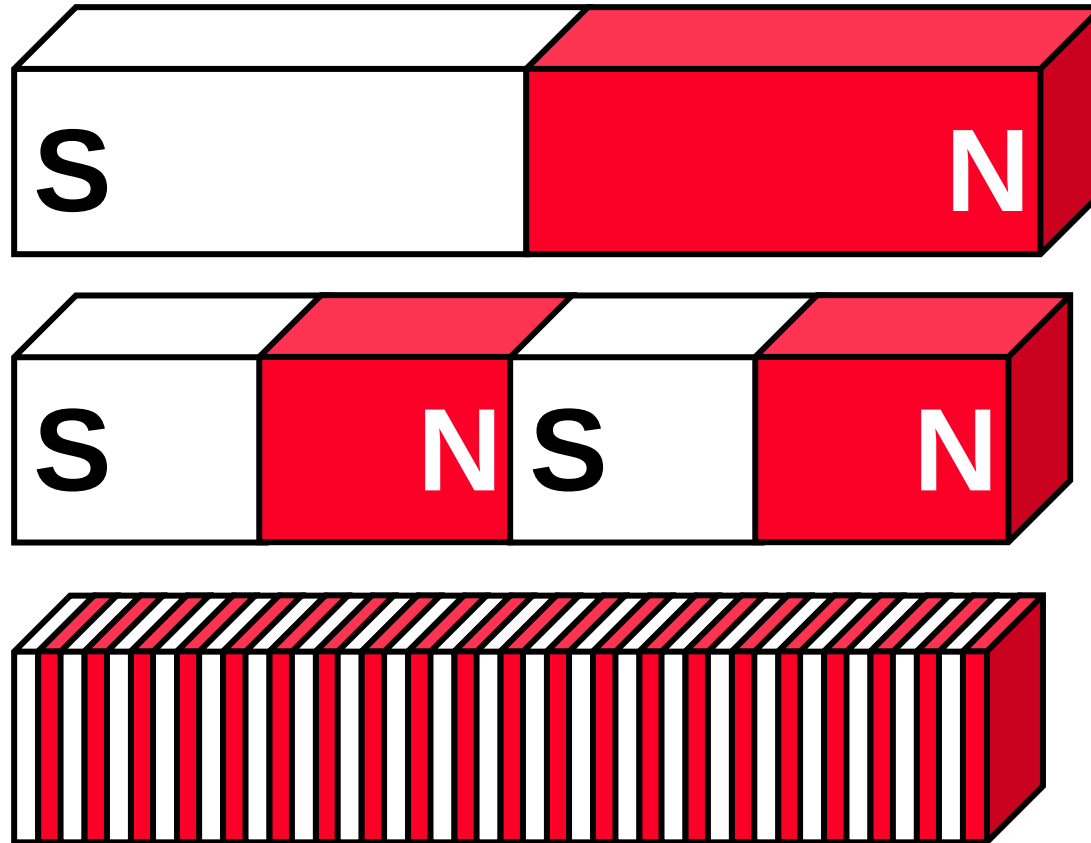
Quelle: Bergmann/Schaefer „Lehrbuch der Experimentalphysik“, Bd. II, S. 259; FBS: 6c 137 (2),7



Ein durchgeschnittener Magnet hat wieder zwei Pole!

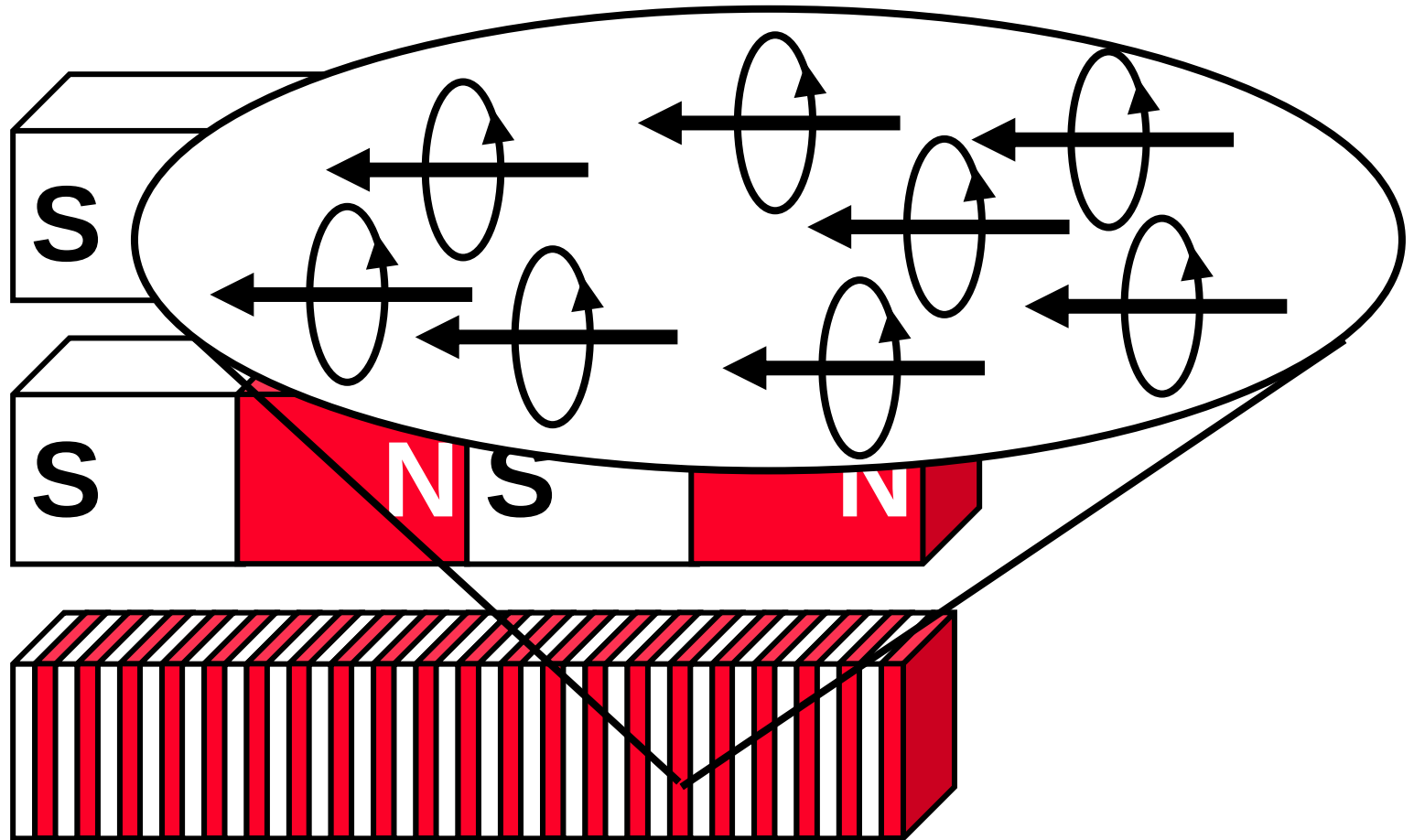


... er ist also eigentlich so aufgebaut?

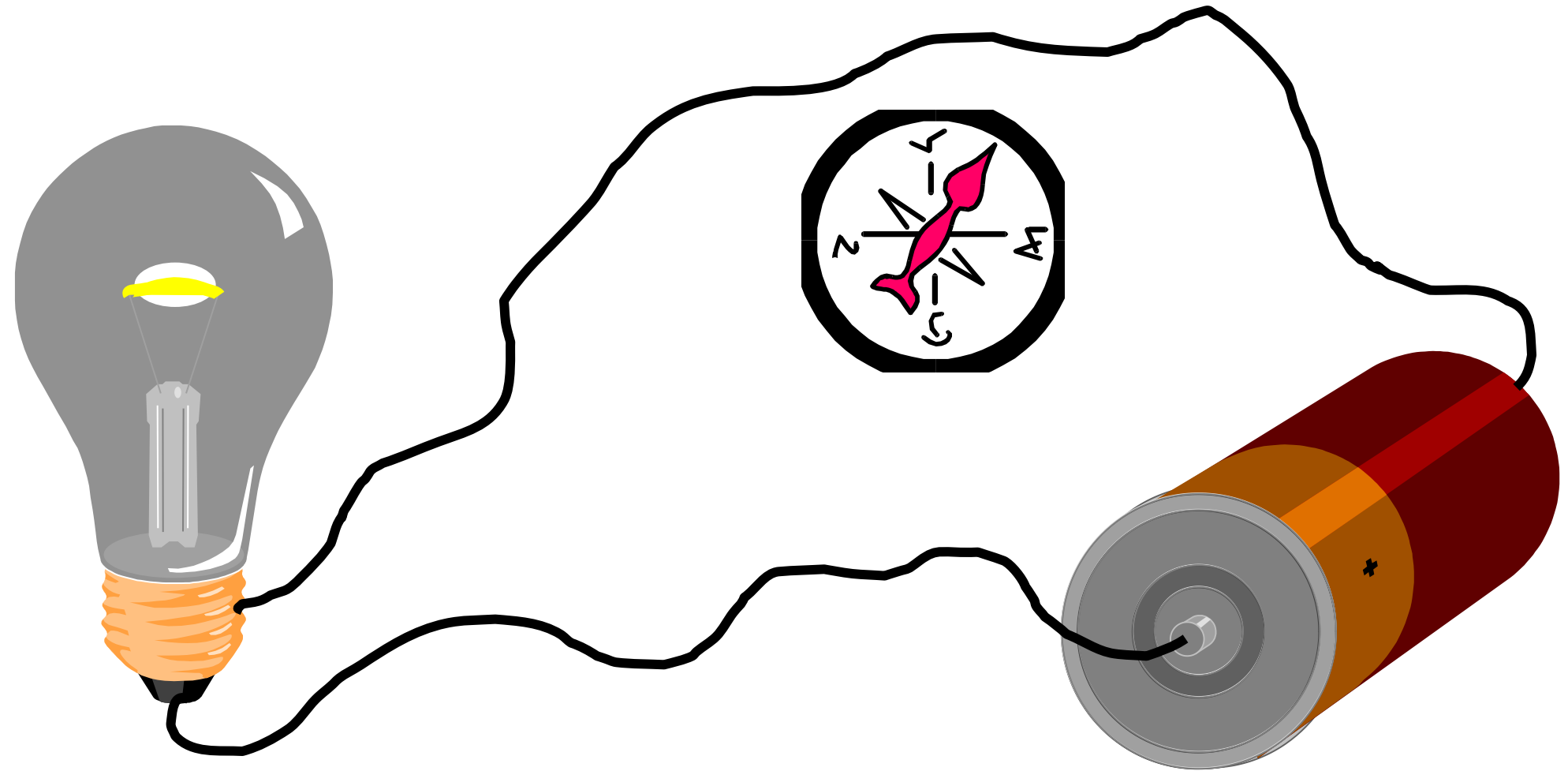


magnetische Monopole

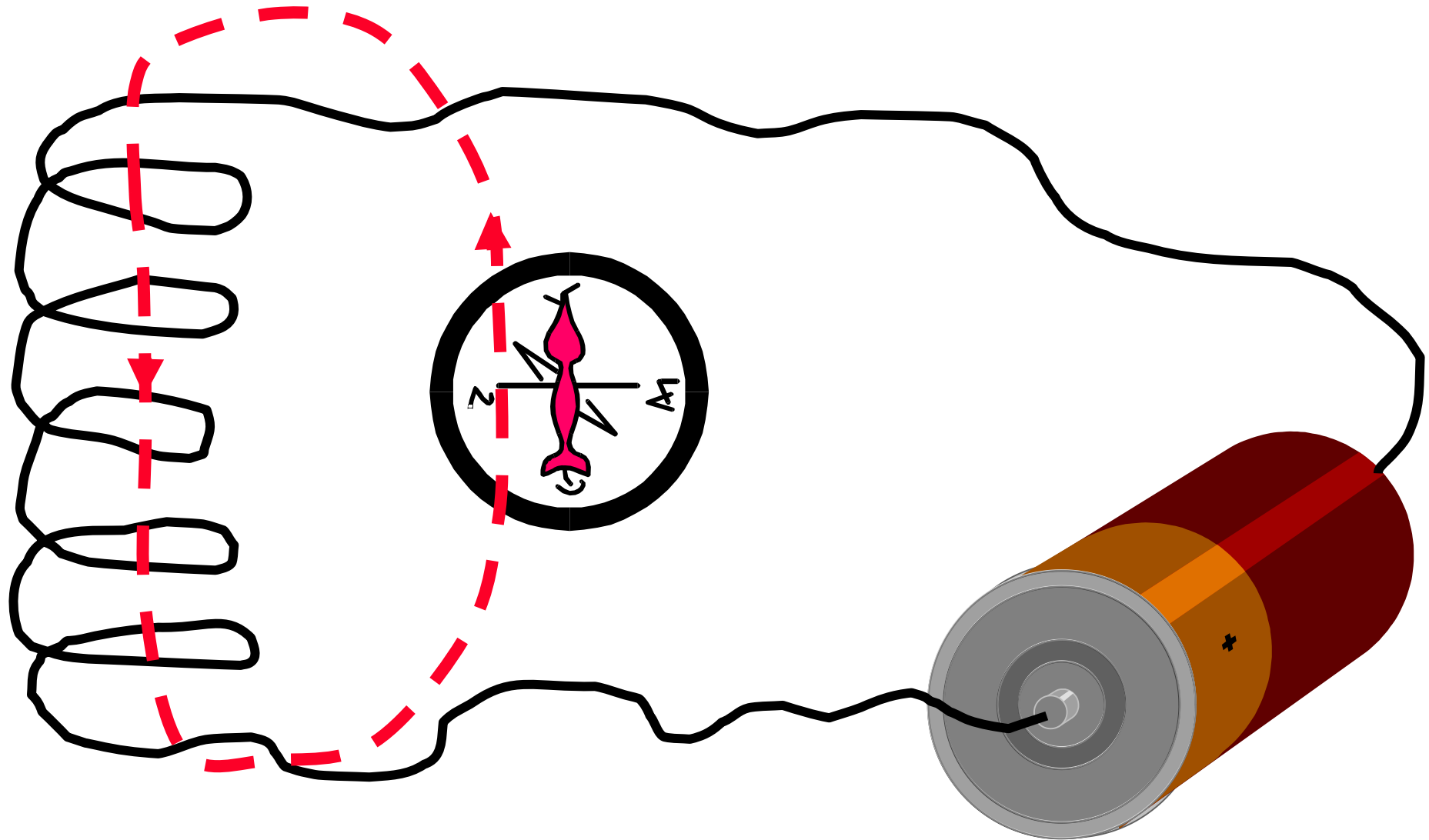
... oder so?



Magnetisches Material besteht also aus kleinen Elementarmagneten!

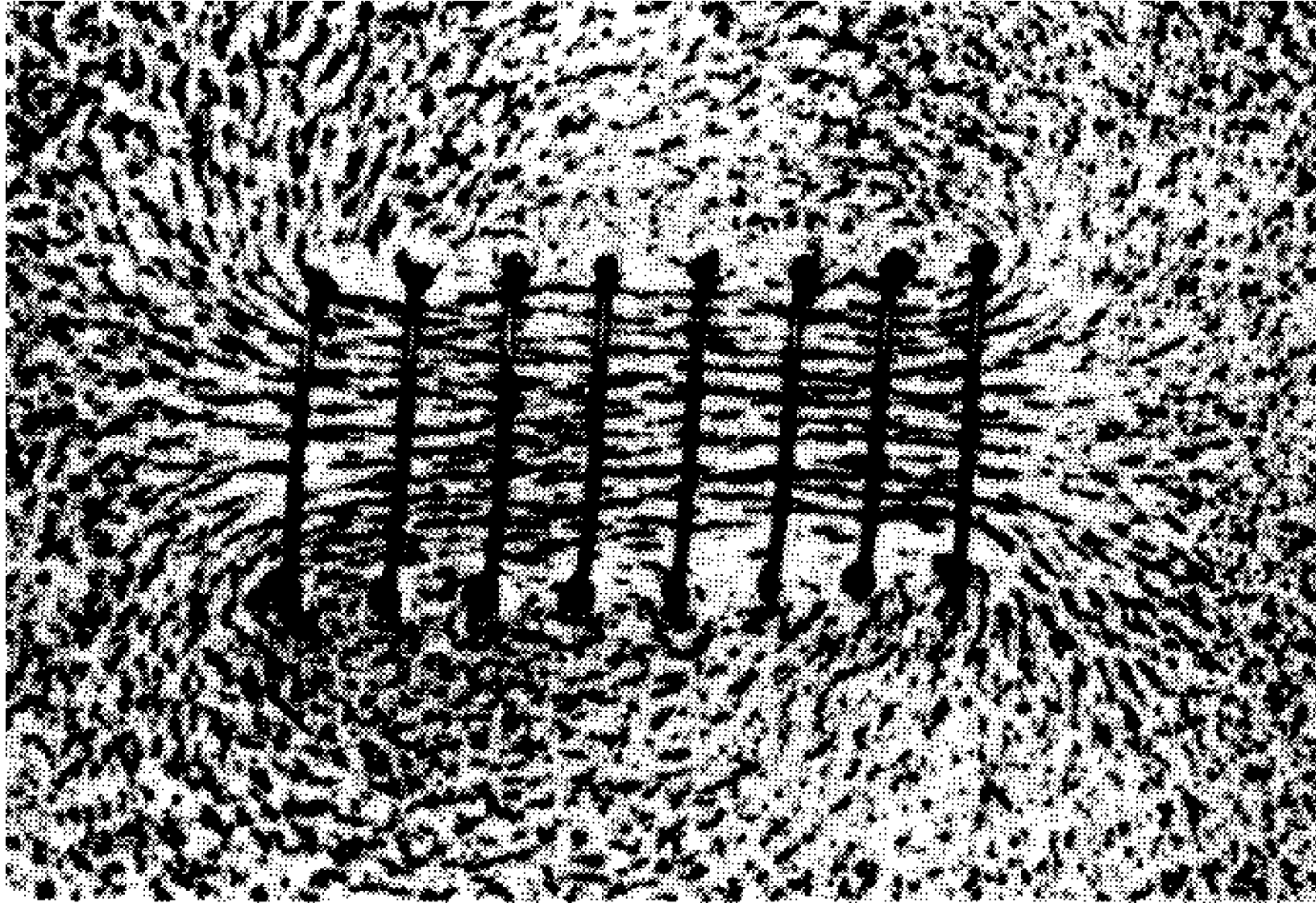


Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Draht



geschlossene Feldlinien !

Magnetfeld einer Spule



Quelle: Bergmann/Schaefer „Lehrbuch der Experimentalphysik“, Bd. II, S. 259; FBS: 6c 137 (2),7

Mit Eisenfeilspänen sichtbar gemachtes Magnetfeld einer Spule

Das magnetische Feld

... hat etwas mit dem Stromfluss zu tun

allgemeiner:

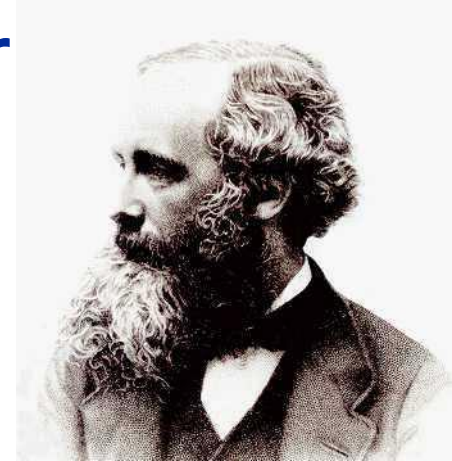
... hat etwas mit bewegter elektrischer Ladung zu tun

noch allgemeiner:

... hat etwas mit veränderlichen elektrischen Feldern zu tun

Elektromagnetische Wellen

- veränderliche elektrische Felder erzeugen magnetische Felder
- veränderliche magnetische Felder erzeugen elektrische Felder
- Wechselstrom durch einen Draht -> wechselnde Felder um den Draht herum



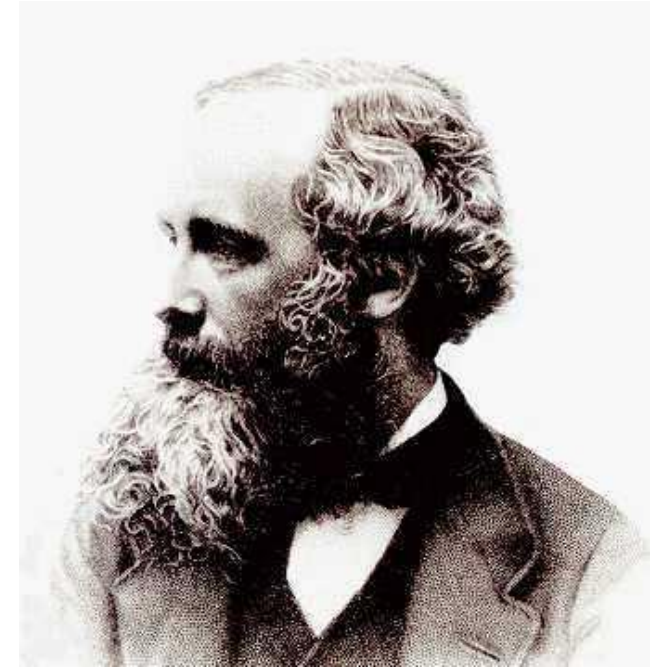
Maxwell'sche
Gleichungen

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot} \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

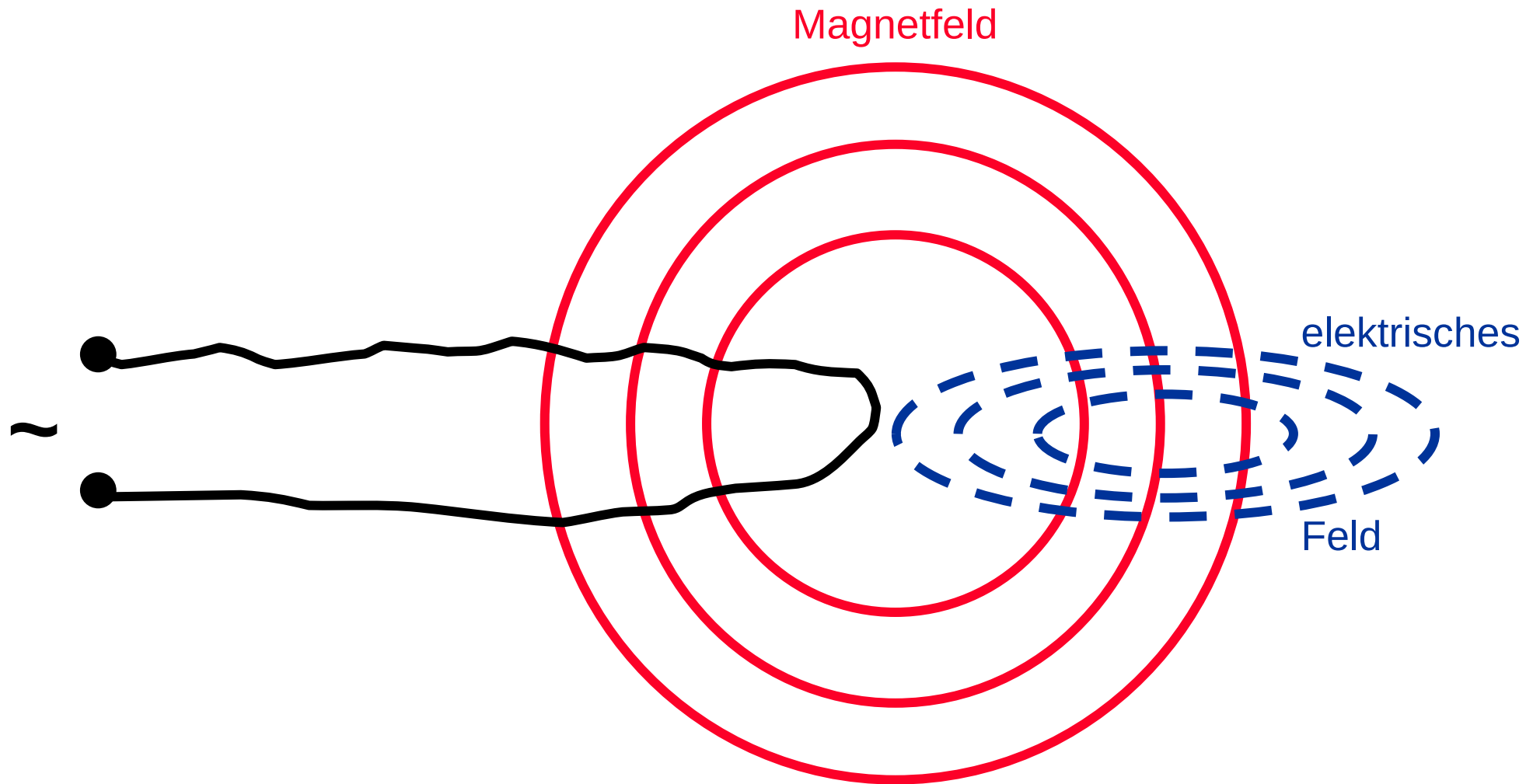
$$\operatorname{div} \vec{B} = 0$$



Maxwell'sche
Gleichungen

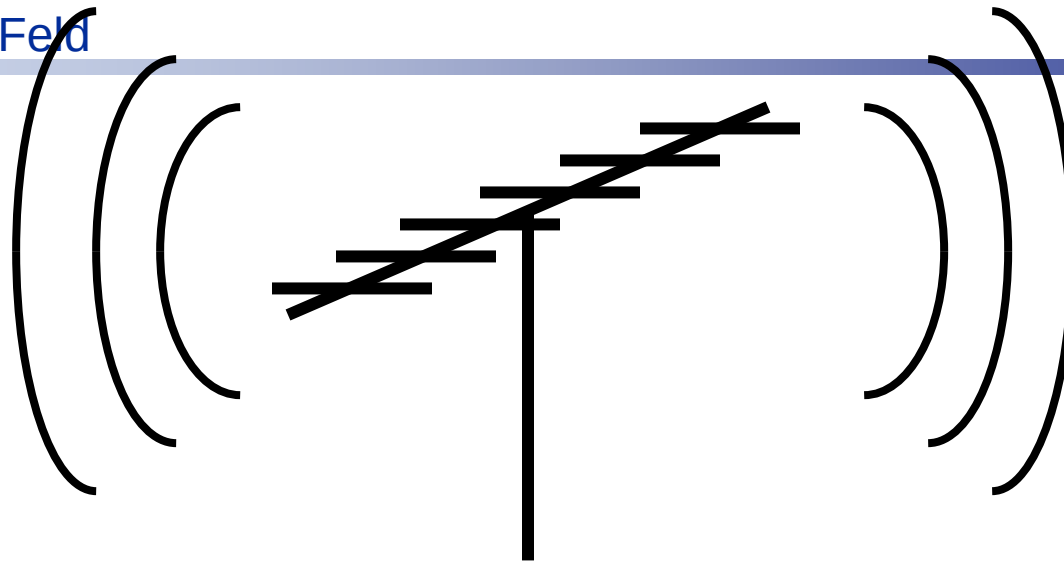
Quelle: <http://www.physik.uni-kassel.de/exp2/vorlesungen/Exp-Ph-II/Maxwellgleichungen.pdf>

Veränderliche Felder



Quelle: Bergmann/Schaefer „Lehrbuch der Experimentalphysik“, Bd. II, S. 317; FBS: 6c 137 (2),7

Elektromagnetische Wellen

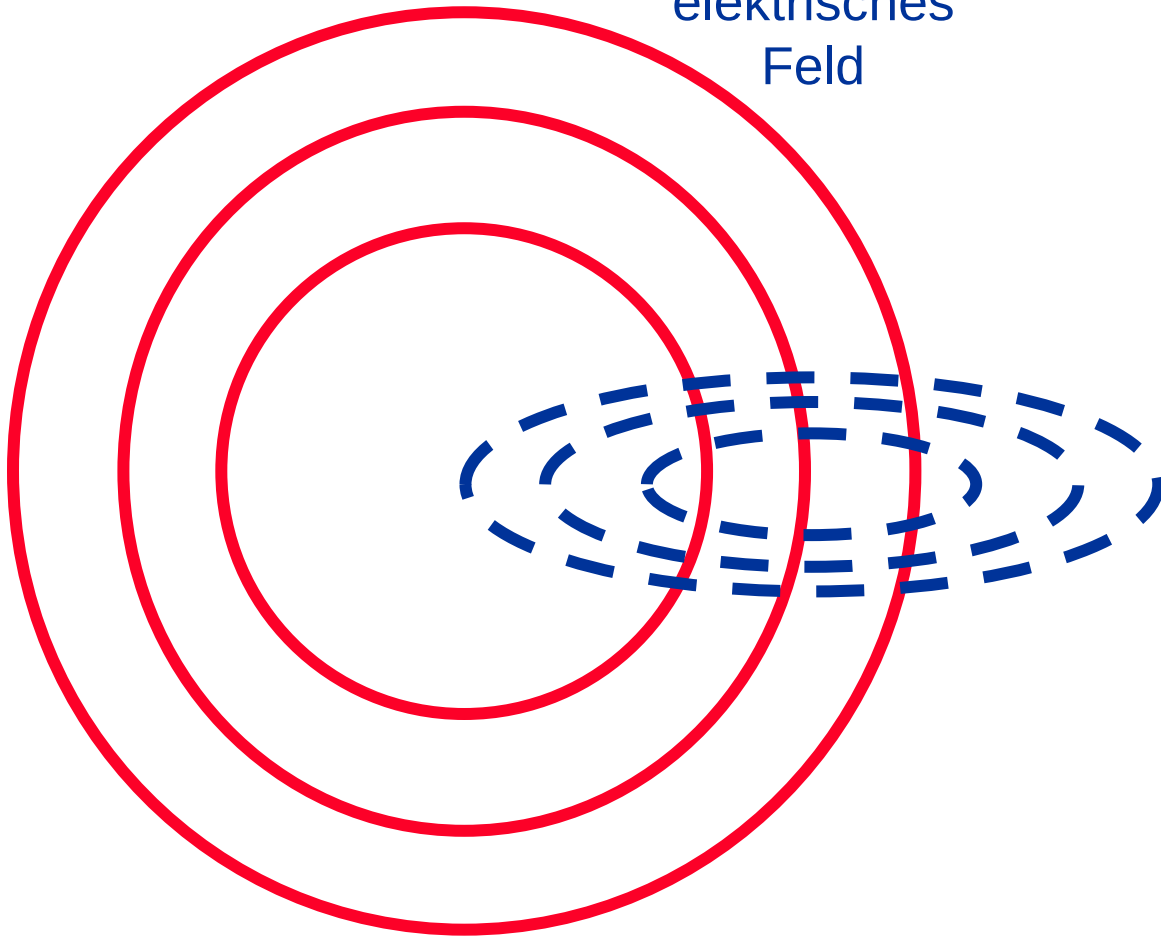


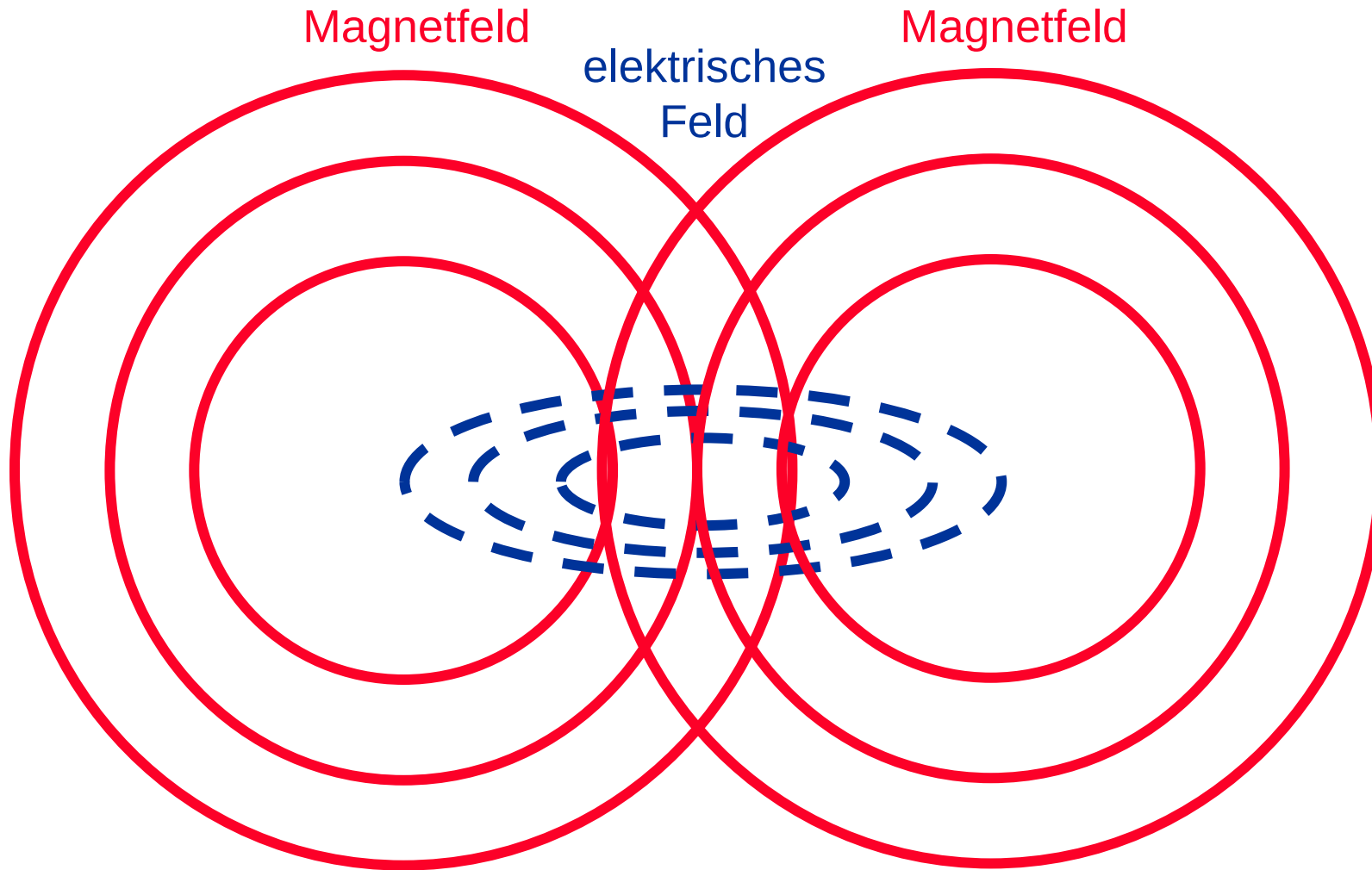
bestimmte Form des Drahtes
= „Antenne“

-> Ausbreitung elektromagnetischer
Wellen im Raum

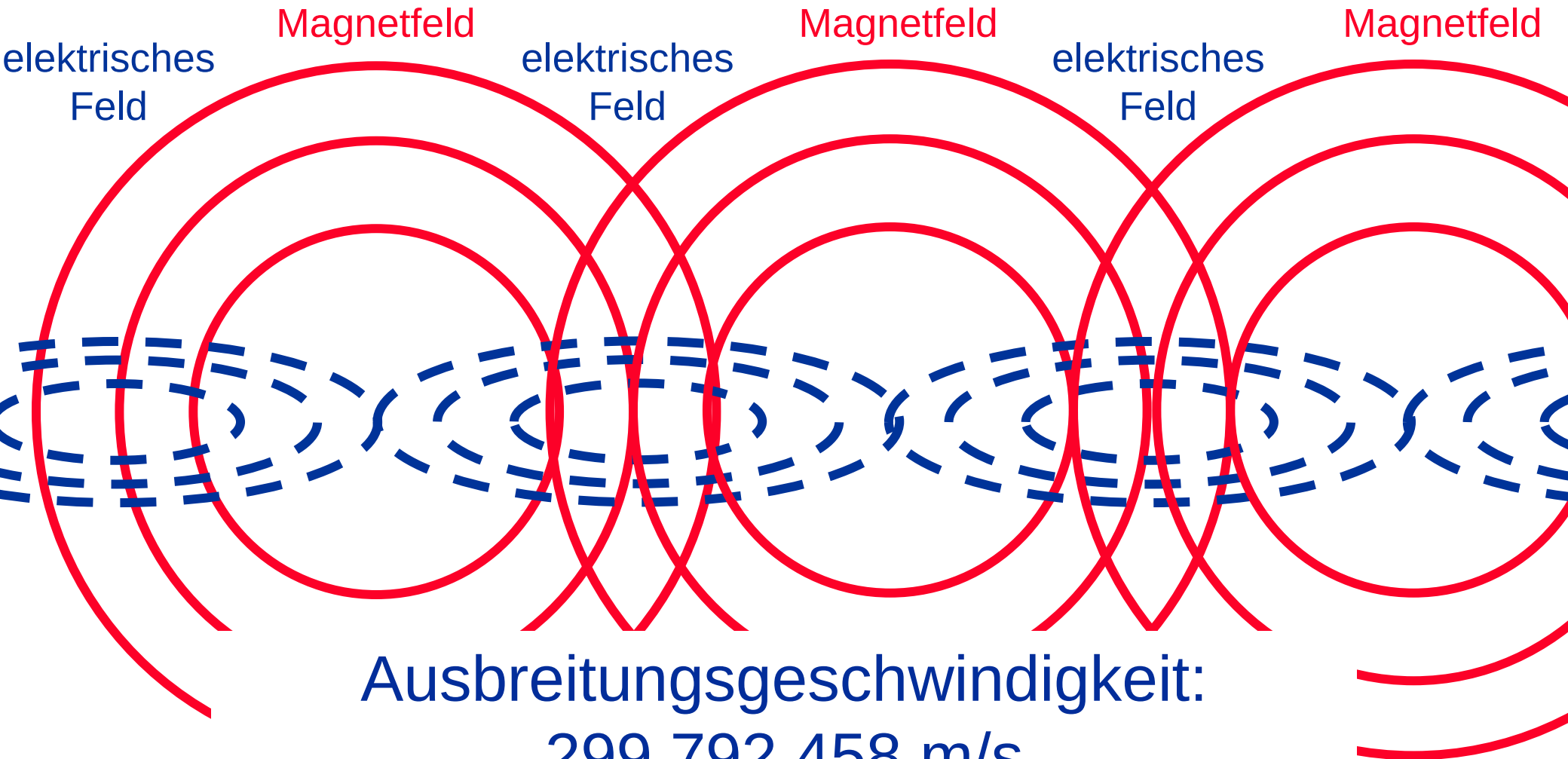
Magnetfeld

elektrisches
Feld





keine Scheibe, sondern Torus !



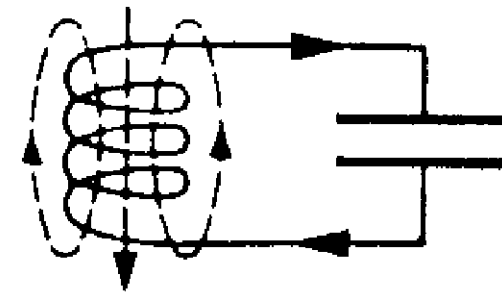
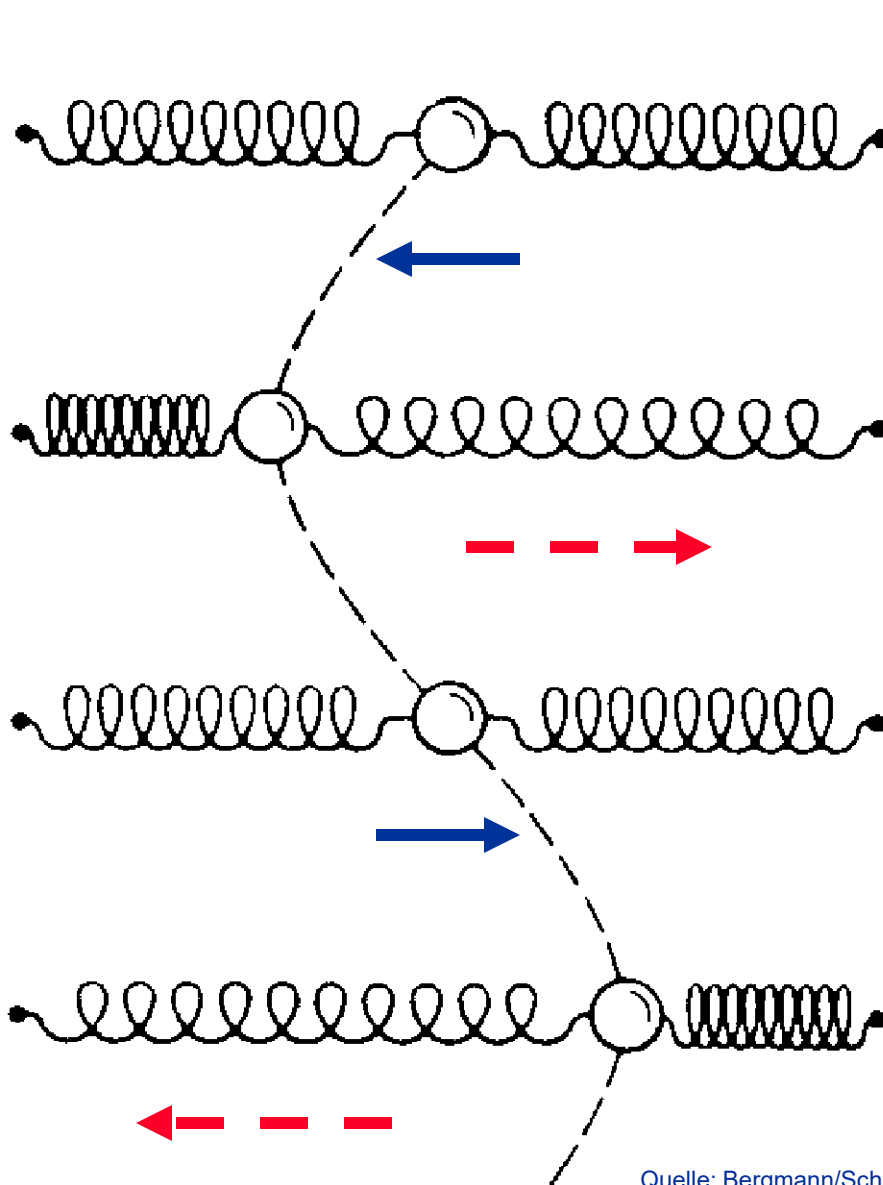
Ausbreitungsgeschwindigkeit:
299 792 458 m/s
= „Vakuum-Lichtgeschwindigkeit“

alle
Energie als
kinetische
Energie

alle
Energie als
potentielle
Energie

alle
Energie als
kinetische
Energie

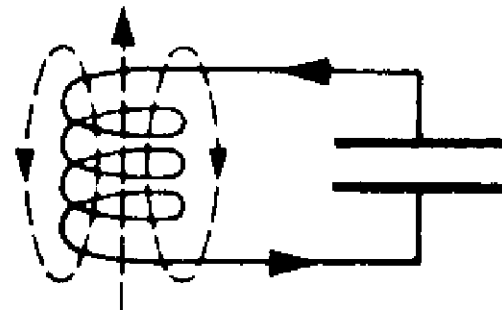
alle
Energie als
potentielle
Energie



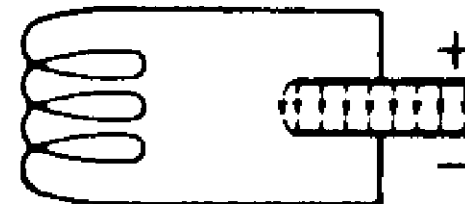
alle
Energie im
Magnetfeld



alle
Energie im
elektr. Feld



alle
Energie im
Magnetfeld



alle
Energie im
elektr. Feld

Quelle: Bergmann/Schaefer „Lehrbuch der Experimentalphysik“, Bd. II, S. 424; FBS: 6c 137 (2),7

Energieumwandlung

„Welle“ –
„da schwingt etwas“ (Wasser, Seil)

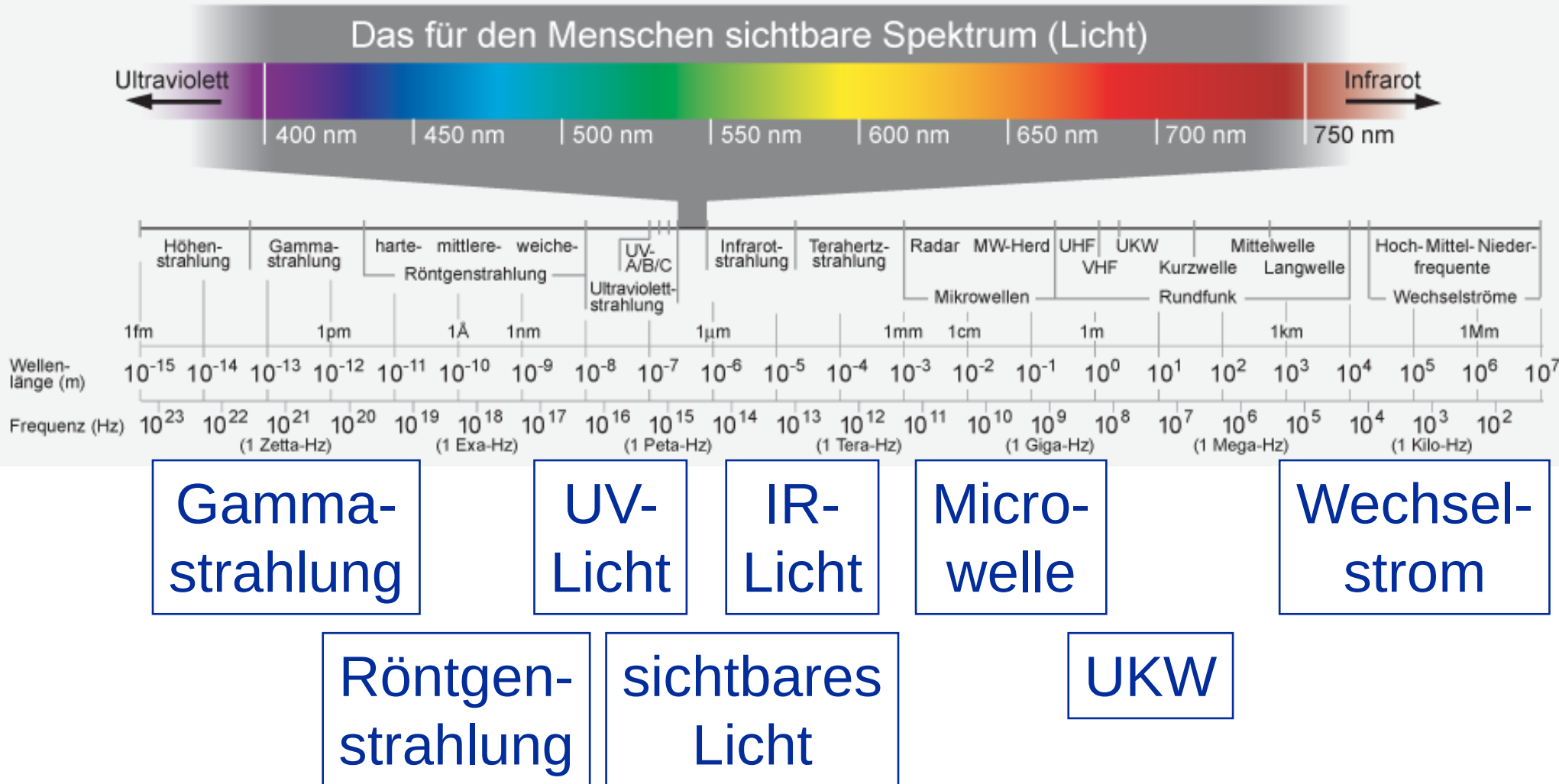
- - -

Was schwingt bei einer elektromagnetischen Welle ???

(auch im absoluten Vakuum !!)



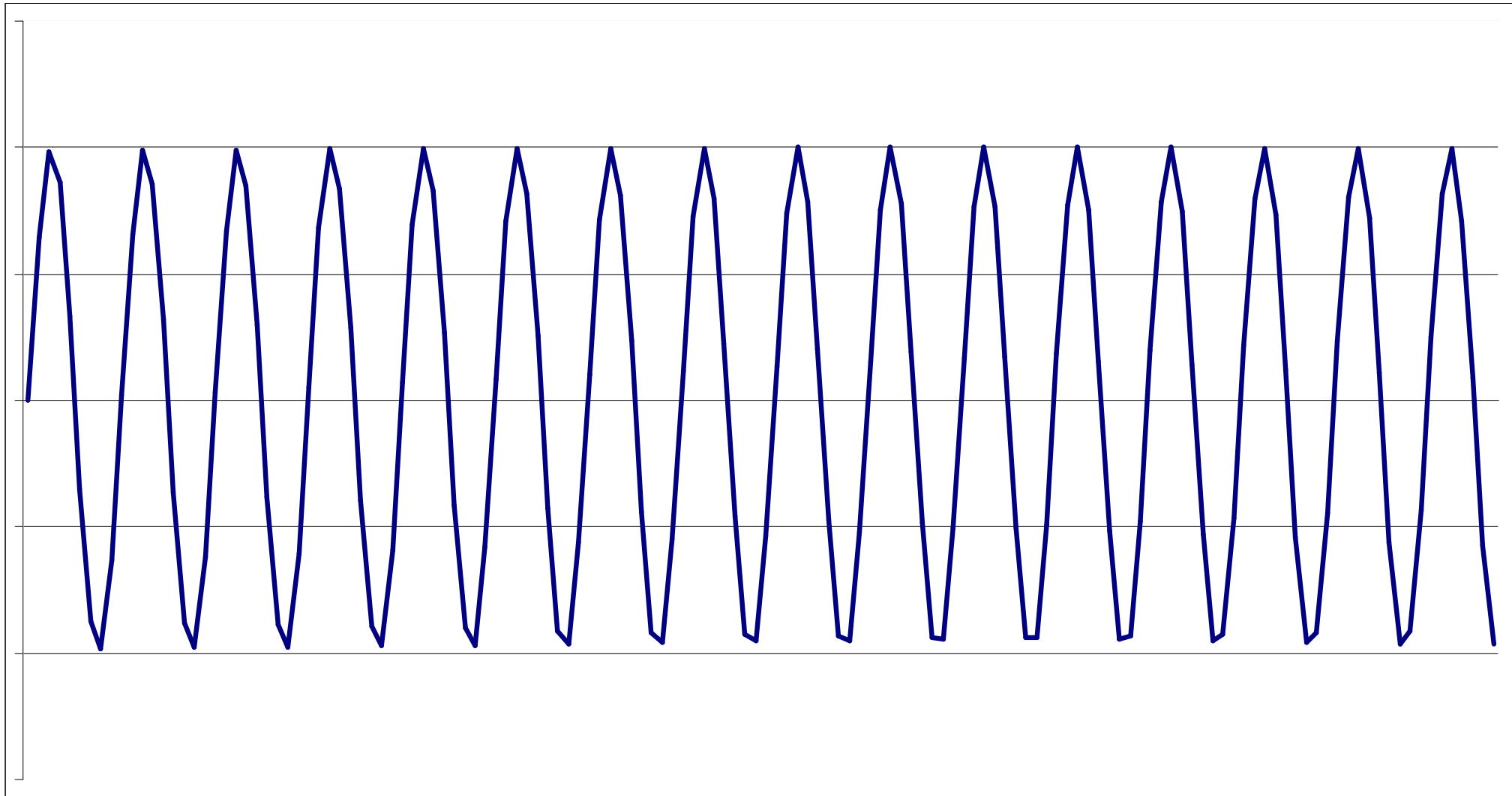
Was schwingt denn da ?



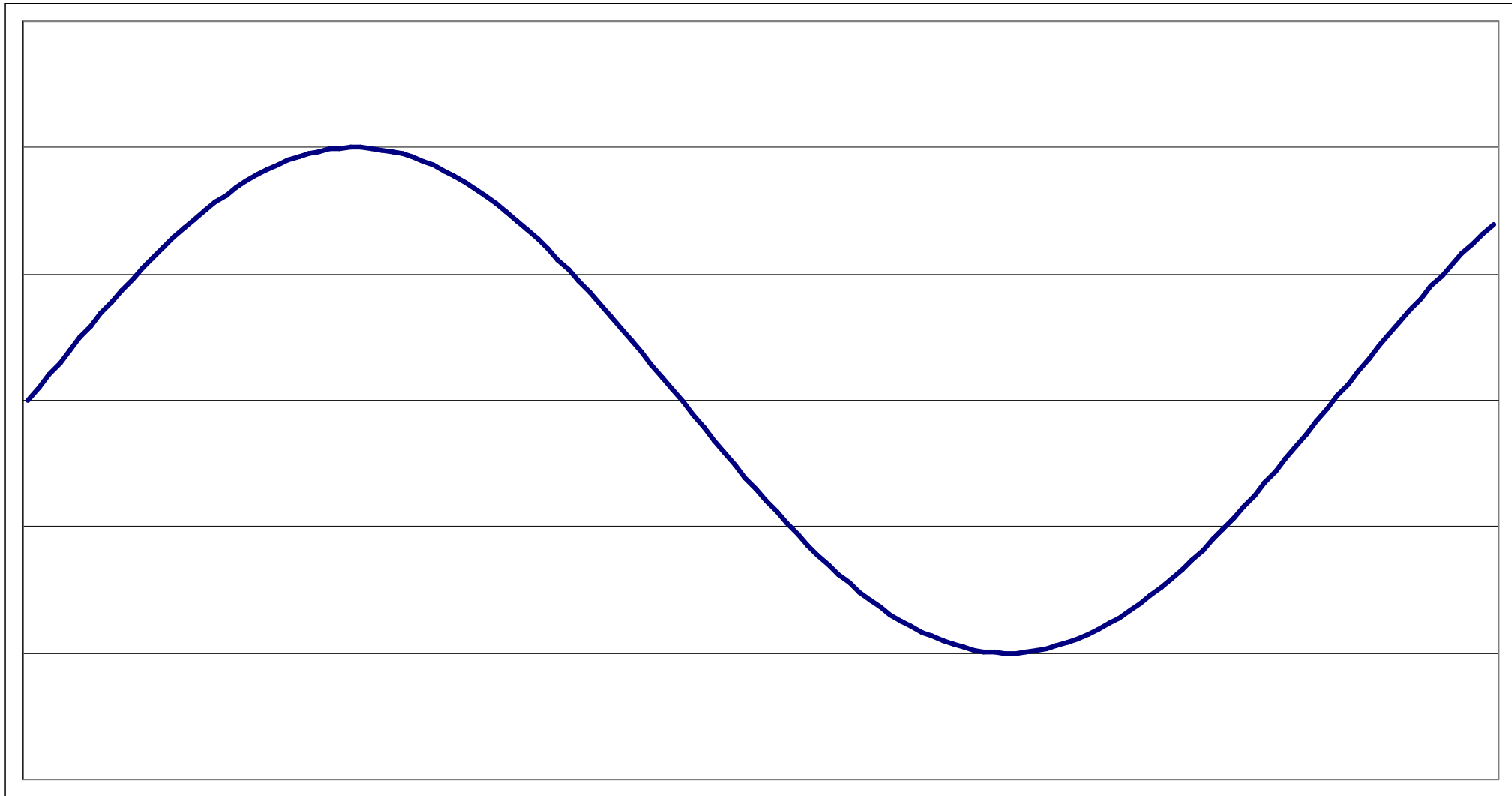
je höher die Frequenz, um so höher die Energie der Strahlung

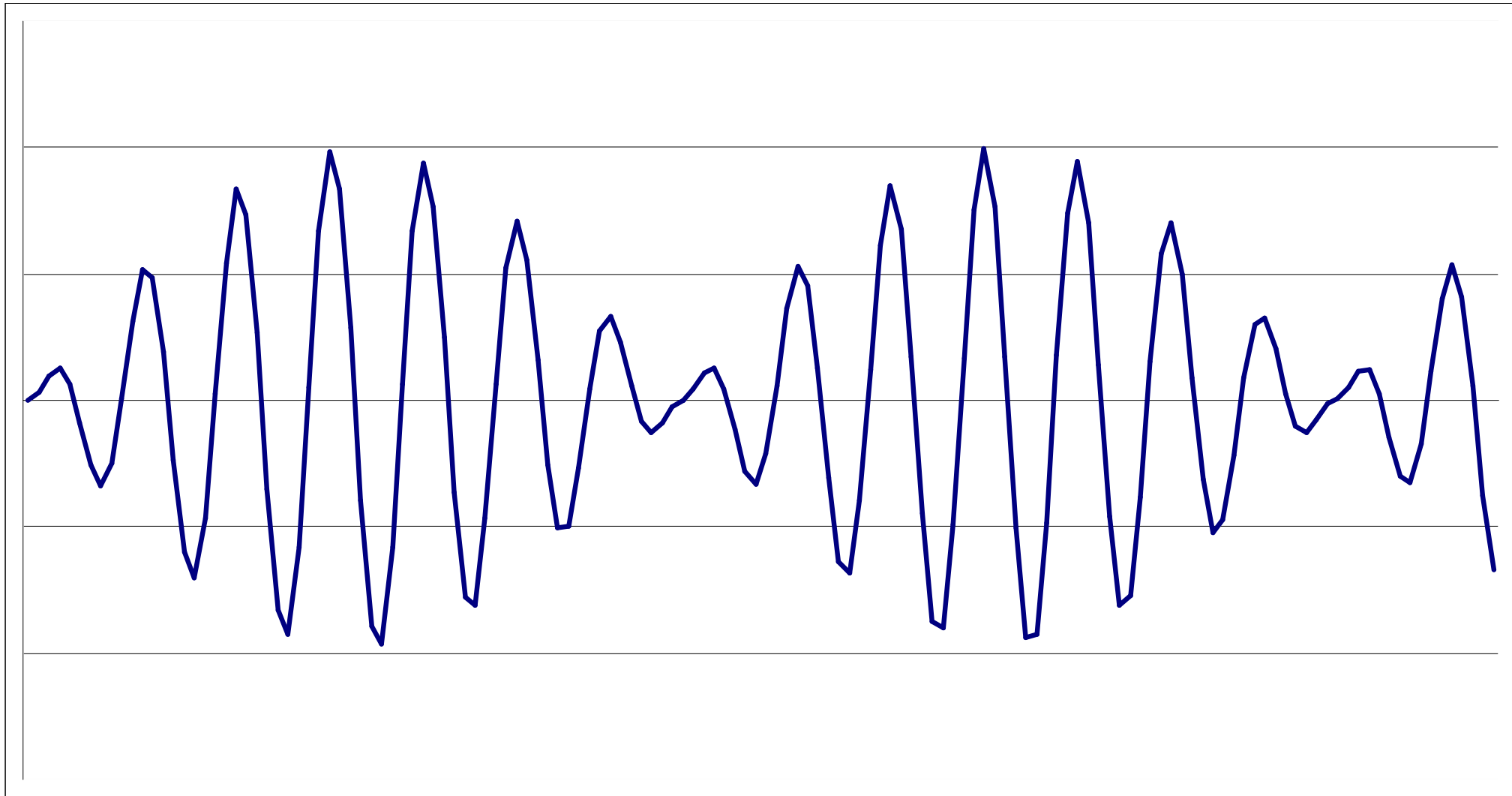
Quelle: http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Spektrum_v8.png

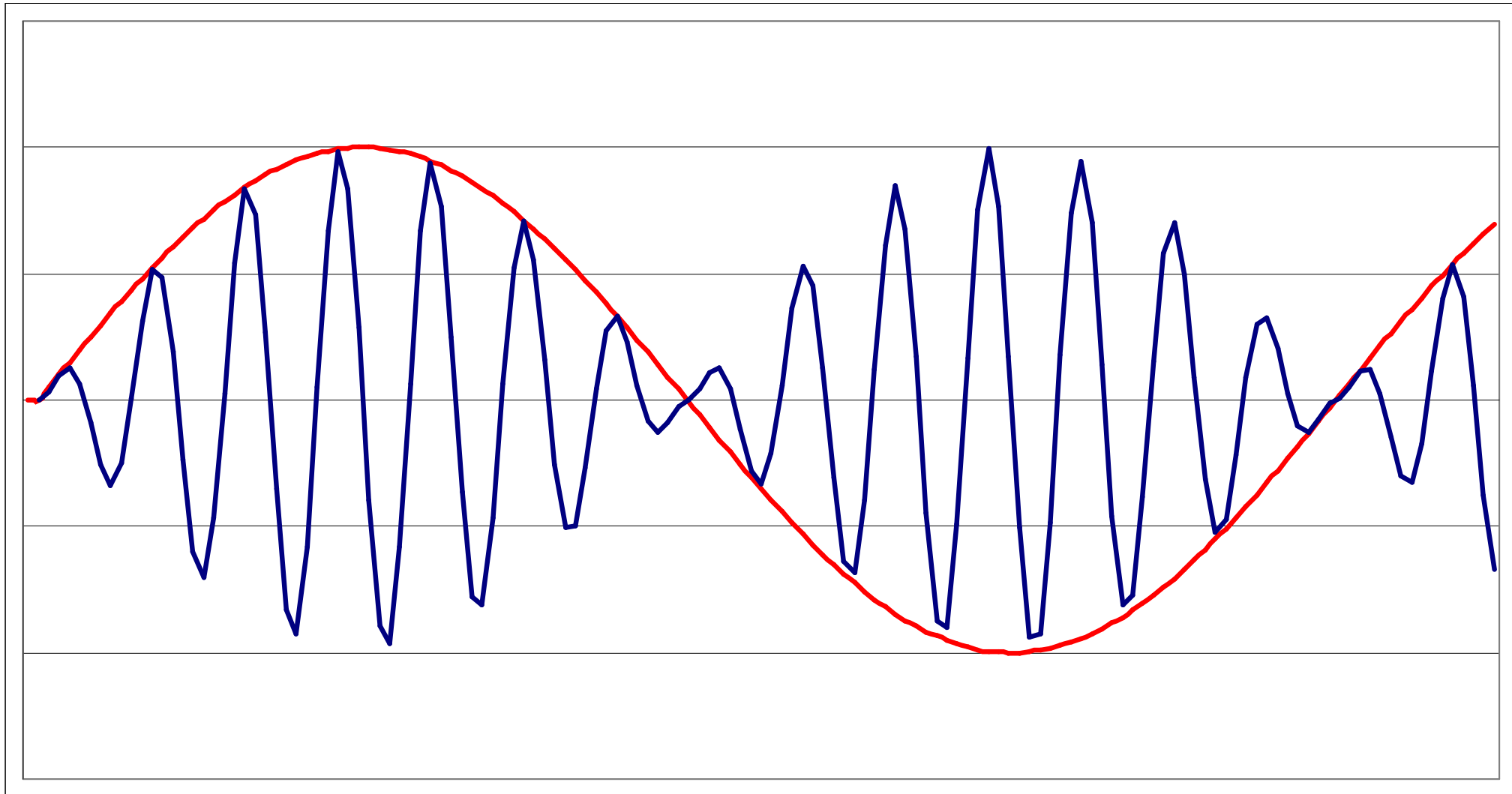
Übermittlung von Informationen



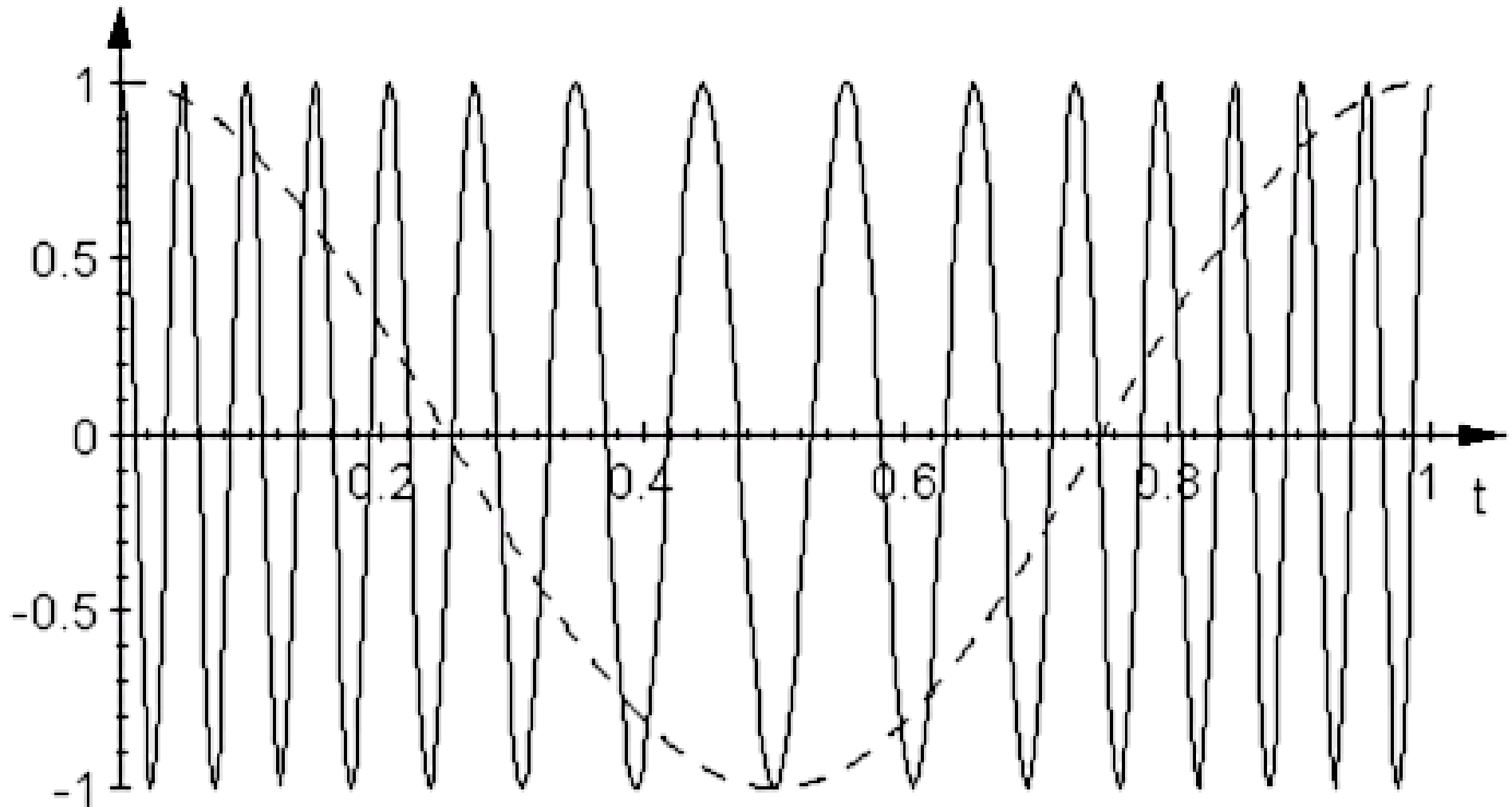
Trägerfrequenz







Demodulation beim Empfänger der Information

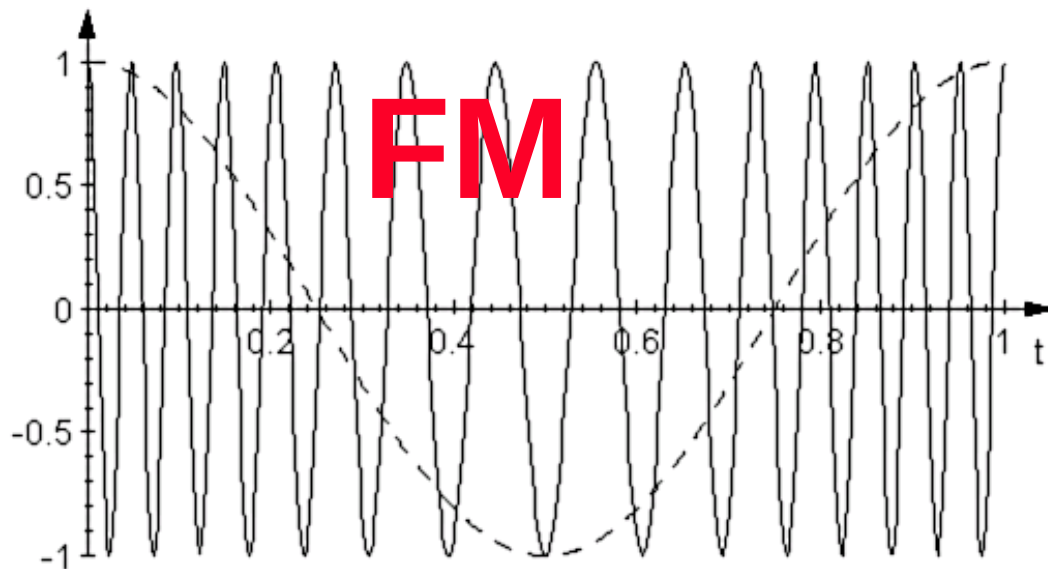


Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Frequenzmodulation>

Frequenzmodulation („FM“ = UKW im Radio)



Veränderung
der **Lautstärke**
bei konstanter
Tonhöhe



Veränderung
der **Tonhöhe**
bei konstanter
Lautstärke

Gefahren

Elektromagnetische Wellen üben
Kraftwirkungen auf elektrisch
geladene Objekte aus !

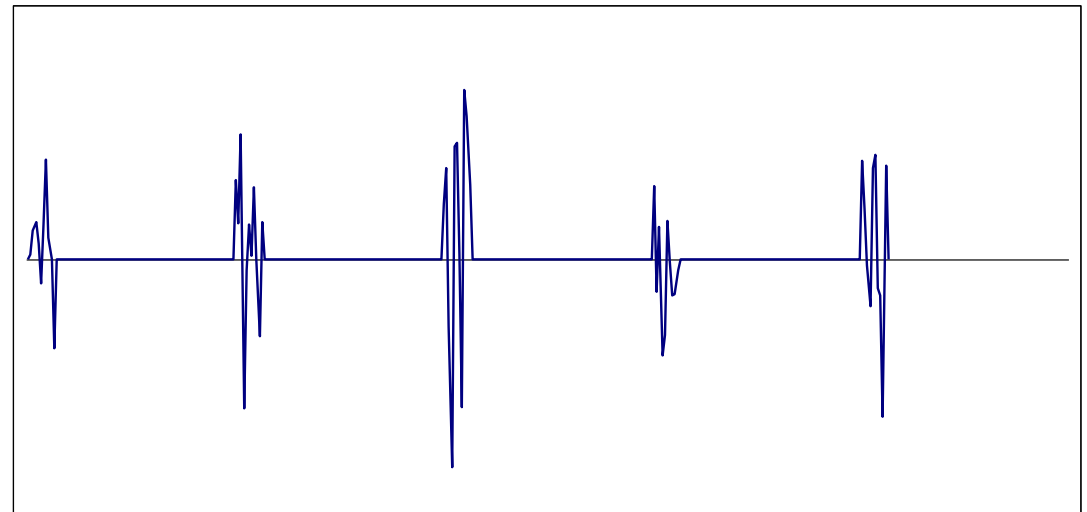
Auch im menschlichen Körper !

1. Ionisierende Wirkung der Strahlung
2. Gewebeerwärmung durch Strahlungsabsorption
3. Intrazelluläre Prozesse durch Strahlungsabsorption oder elektrische Felder
4. Veränderung von Seh- und Linsenzellen des Auges durch Strahlungsabsorption
5. Beeinflussung des Hormonsystems durch Strahlungsabsorption
6. Direkte Beeinflussung der biologischen Ströme (Nervensystem, Gehirn) durch Wechselfelder
7. Beeinflussung des Herz- Kreislaufsystems
8. eventuelle psychologische Wirkungen

Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Elektrosmog>
siehe auch www.mobilfunk-oldenburg.de

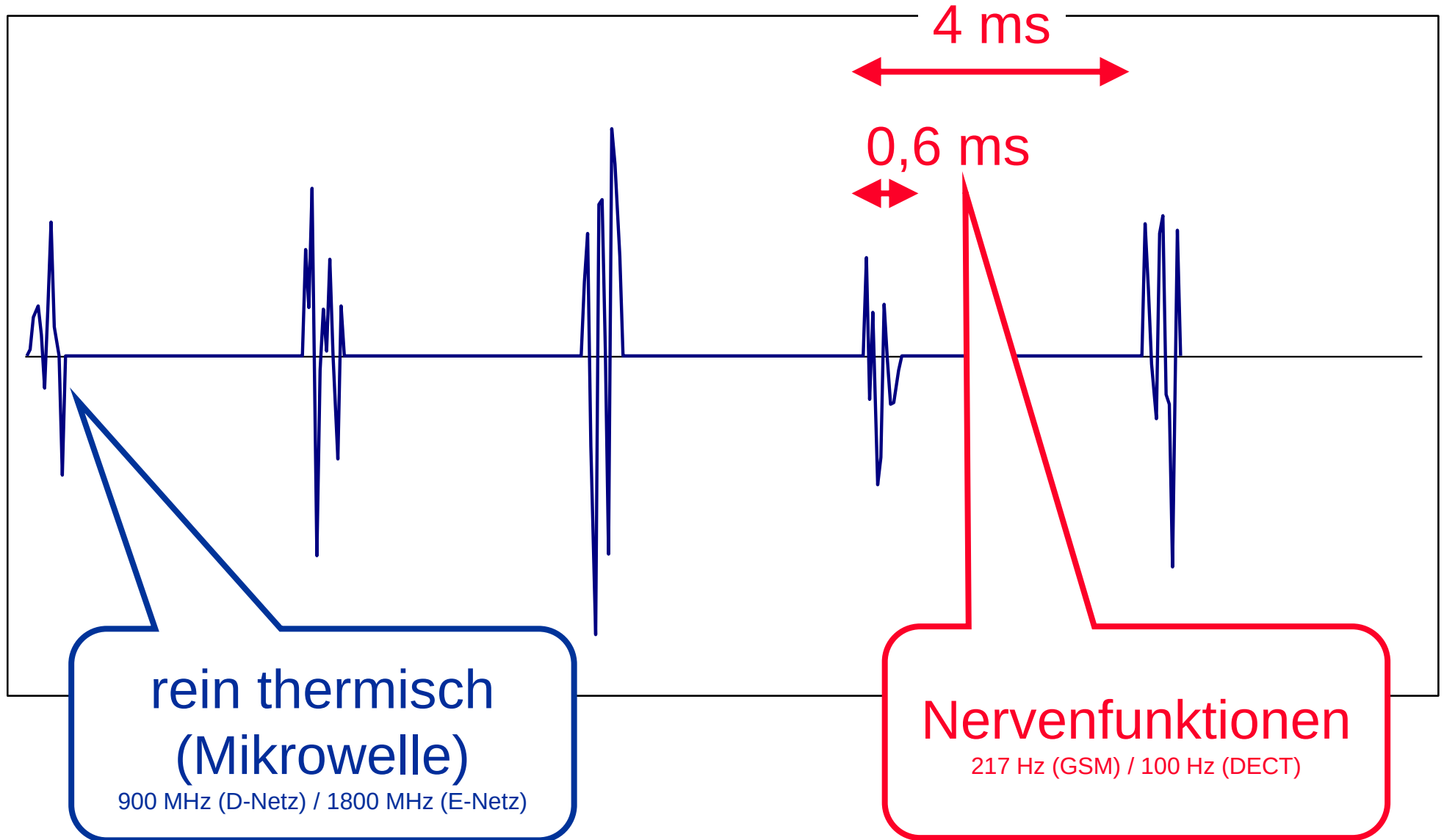
„Damit über eine GSM-Basisstation mehrere Benutzer gleichzeitig Gespräche führen können, wird ein Verfahren angewendet, bei dem sich bis zu acht Benutzer den gleichen Frequenzkanal teilen.“
Dazu „wird ... die Welle (Trägerfrequenz) jede Sekunde 217 mal unterbrochen, so dass man 217 ca. 4 Millisekunden-lange Abschnitte hat. Von jedem dieser Abschnitte sendet das Telefon nur 0,577 Millisekunden, ein Achtel der Zeit. Die restlichen $\frac{7}{8}$ der Zeit sendet das Handy nichts.“

UMTS: ungepulst, geringere Sendeleistung als GSM, neue Funkzelle beginnt mit geringster Sendeleistung



Quelle: Ökotest 3/2007, S. 44

gepulste Handystrahlung



Wirkung auf den Menschen



- **Kinder und Jugendliche** sollten möglichst wenig mit dem Handy telefonieren.
- Telefonate **in der Tiefgarage oder im Aufzug** vermeiden. Denn je besser Handy abgeschirmt ist, umso stärker erhöht es seine Sendeleistung.
- Handy **nicht permanent am Körper** tragen.
- Im Auto eine **Freisprecheinrichtung** mit Außenantenne benutzen.
- Handy **in Verkehrsmitteln** ausschalten. Hohe Geschwindigkeiten sorgen dafür, dass sich das Handy ständig bei der nächstgelegenen Basisstation anmeldet. Andauerndes Senden ist die Folge.
- An **ruhigen Orten** telefonieren. Wenn das Handy die Hintergrundgeräusche von Bahnhof oder Kneipe mitsenden muss, erhöht es seine Sendeleistung.
- Beim Kauf eines neuen Handys auf den **SAR-Wert** achten. (SAR = „Spezifische Absorptionsrate“ $\ll 2 \text{ W/kg}$)

Quelle: Ökotest 3/2007, S. 48

BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields



For brain tumors, people who have used a cell phone for 10 years or longer have a **20% increase in risk** (when the **cell phone** is used on both sides of the head). For people who have used a cell phone for 10 years or longer predominantly on one side of the head, there is a **200% increased risk** of a brain tumor. This information relies on the combined results of many brain tumor/cell phone studies taken together (a meta-analysis of studies).

Quelle: http://www.bioinitiative.org/report/docs/section_1.pdf

BioInitiative Report: A Rationale for a Biologically-based Public Exposure Standard for Electromagnetic Fields



The risk of brain tumor (high-grade malignant glioma) from cordless phone use is **220% higher** (both sides of the head). The risk from use of a **cordless phone** is **470% higher** when used mostly on only one side of the head.

Quelle: http://www.bioinitiative.org/report/docs/section_1.pdf