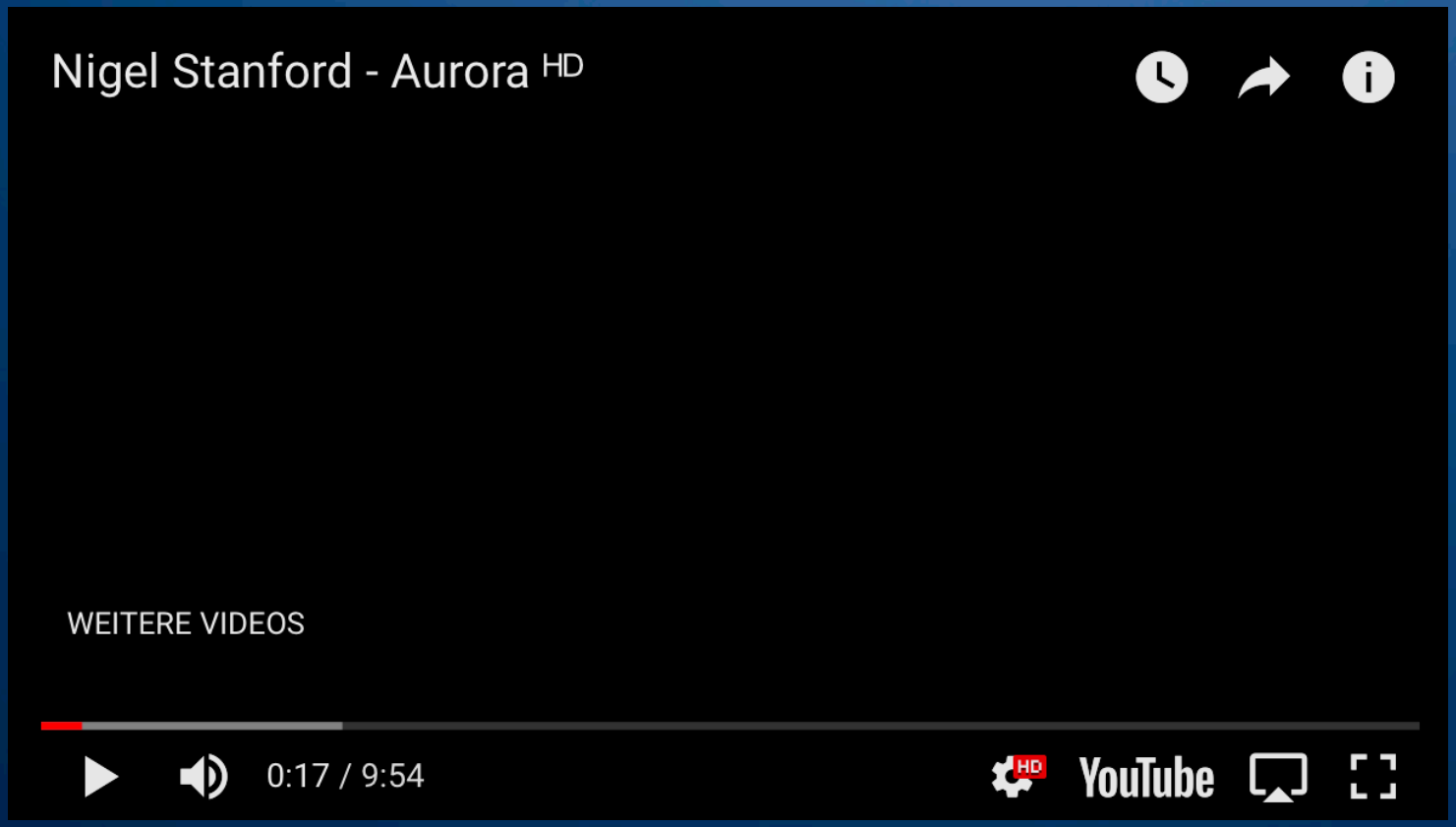
# Fortbildung Physik

Intro:

https://www.youtube.com/embed/vmXQUwXzQ8I



Ein Astronaut machte dieses Foto der *Aurora Australis* im August 2017.
https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/91000/91062/iss052e063378.jpg
In dem Moment flog die ISS über den Südindischen Ozean Richtung Große Australische Bucht und Melbourne, Südaustralien.
Auroras (Polarlichter) entstehen in der oberen Atmosphäre, wenn der Sonnenwind (ein Schauer geladener Teilchen, ausgesandt von der Sonne) mit dem schützenden Magnetfeld der Erde wechselwirkt. Geladene Teilchen werden entlang von Feldlinien Richtung Ionosphäre beschleunigt, wo sie mit verschiedenen Gasen kollidieren (besonders Sauerstoff und Stickstoff), die als Reaktion darauf Licht emittieren. Auroras erscheinen oft neongrün, purpur, gelb oder rot, je nach Gasmolekül, das angeregt wurde. Grün wird dabei durch Kollision mit Sauerstoff erzeugt.

- *Spectacular Aurora Borealis over Canada*
  This video was taken by the Expedition 53 crew on board the International Space Station. The sequence of shots was taken on September 28, 2017 from 07:38:56 to 07:55:34 GMT, on a pass from the northern Pacific Ocean, just south of Alaska, to the Gulf of Mexico, south of Florida. The north-facing camera catches the Aurora Borealis over Canada as the ISS travels from northwestern United States southeast. Large cities like Chicago, Nashville, and Atlanta stand out as the ISS flies southeast toward Florida.

Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center
https://eol.jsc.nasa.gov/BeyondThePhotography/CrewEarthObservationsVideos/videos/aurBorealis_ISS_20170928/aurBorealis_ISS_20170928.mp4

Zentralabitur 2018/2019

Fach Physik

Prüfungsthema

# Teilchen im elektromagnetischen Feld

Elemente und Aspekte des Unterrichts in der Sek.II

Detlef Kaack, LiF13, B 52-24

# Verbindliche Inhalte des Rahmenplans 2009

**Feldkonzept**

- Gravitation (A-Heft I)
- Elektrische Felder (A-Heft III)
- Magnetische Felder (A-Heft III)

**Wellenkonzept**

- Harmonische Schwingungen
- Mechanische Wellen (A-Heft II)
- Elektromagnetische Wellen (A-Heft II)

**Teilchenkonzept**

- Atommodelle
- Struktur der Materie

**Quantenkonzept** *(Anteile in Wellen enthalten,* (A-Heft II)*)*

- Quantelung
- Stochastisches Verhalten
- Unbestimmtheit
- Komplementarität

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft 2018)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(erhöhter Anforderungsbereich gelb)*

1. *den Influenzbegriff erläutern und anwenden,*
2. *das Coulombsche Gesetz erläutern und anwenden,*
3. das elektrische Feld eines Plattenkondensators beschreiben,
4. das Magnetfeld eines Stabmagneten und eines Hufeisenmagneten sowie eines stromdurchflossenen Leiters bzw. einer Spule beschreiben,
5. *den Begriff der magnetischen Flussdichte erläutern,*
6. die Voraussetzungen für das Auftreten von Lorentz-Kräften benennen,
7. die Drei-Finger-Regel erläutern und anwenden,
8. die Lorentz-Kraft für einfache Szenarien berechnen,
9. *den Hall-Effekt erklären und Hall-Spannungen bestimmen,*
10. das elektrische und das magnetische Feld vergleichen,
11. nicht-relativistische Bewegung von Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern beschreiben und Bahnkurven für homogene Felder berechnen, *auch wenn Teilchen nicht senkrecht zu den Feldlinien in die Felder eintreten.*

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(beide Anforderungsbereiche)*

- ***den Influenzbegriff erläutern und anwenden,***
- *weiter...*

Hierzu gehört der Begriff des elektrischen Felds, allgemein das Konzept „Feld“, das sich auch im Gravitationsfeld und im Magnetfeld wiederfindet.

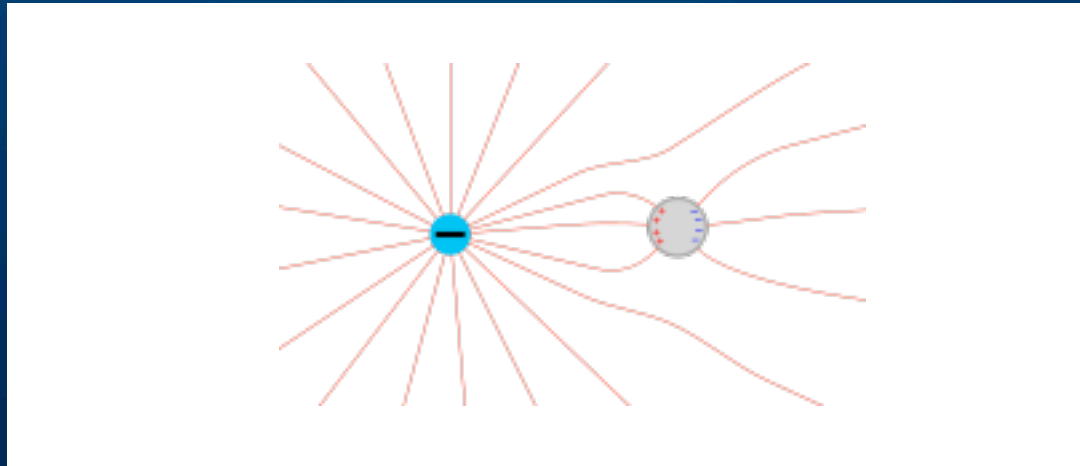
<u>Influenz:</u> Ladungsverschiebung auf el. Leitern. Hierzu gehört auch die Erde.

<u>Polarisation:</u> Dipolbildung in Nichtleitern.

Versuche:

Trennen zweier im el. Feld getrennten Elektroskope mit Kugeln.

*weiter...*



# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(beide Anforderungsbereiche)*

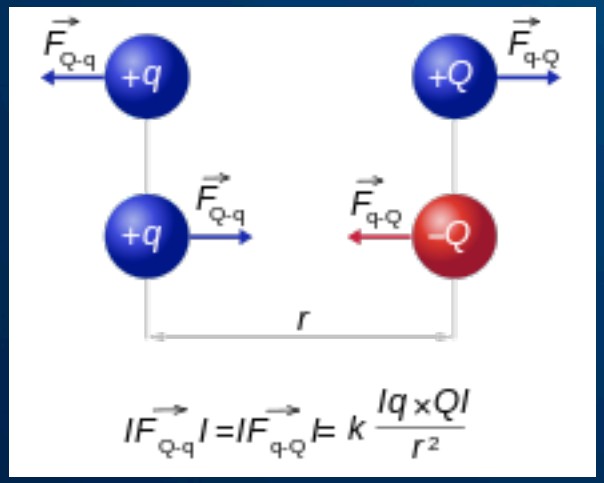
- ***das Coulombsche Gesetz erläutern und anwenden,***
- *weiter...*

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Eine Messung ist möglich, jedoch nicht erforderlich.

Hierbei kann die Proportionalität F zu $1/r^2$ gezeigt werden.

*weiter...*

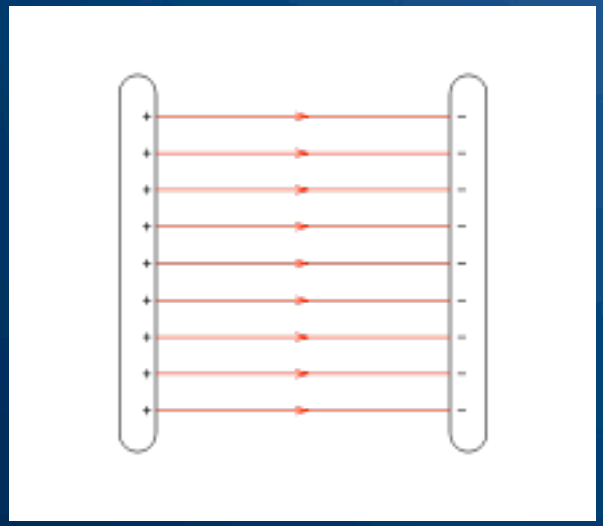


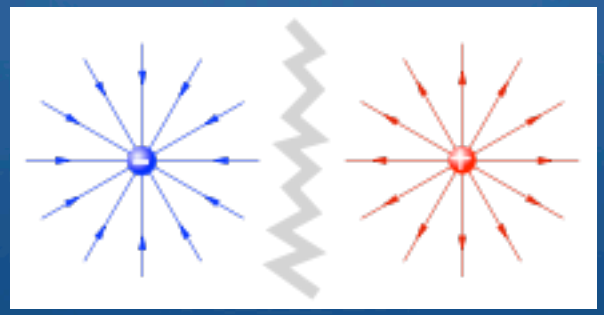

$$el.Feldkonst. \quad \varepsilon_0 = 8{,}85419 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(beide Anforderungsbereiche)*

- **das elektrische Feld eines Plattenkondensators beschreiben,**
- *weiter...*





$$E_{el}=1/2\cdot Q\cdot U \text{ mit } Q=C\cdot U \text{ folgt:}$$
$$E_{el}=1/2\cdot C\cdot U^2$$
$$\text{mit } C=\varepsilon_0\cdot\varepsilon_r\cdot A/d \text{ und } U=E\cdot d \text{ folgt:}$$
$$E_{el}=1/2\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_r\cdot A/d\cdot(E\cdot d)^2 \Rightarrow$$
$$E_{el}=1/2\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_r\cdot E^2\cdot V$$

$$E=\frac{U}{d}=\frac{q_1}{A\cdot\varepsilon_0}$$

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(beide Anforderungsbereiche)*

- **das Magnetfeld eines Stabmagneten und eines Hufeisenmagneten sowie eines stromdurchflossenen Leiters bzw. einer Spule beschreiben,**
- *weiter...*

*http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/magnetisches-feld-spule/versuche/felder-stromfuehrender-leiter*

Stoff aus 5/6 und Sek. I wird wiederholt:

- Streuen von Feldlinienbildern,
- Definition der Feldlinie,
- „Konzept“ Feld / Feldlinie,
- Begriff „Magnetpol“
- Überlagerung von Feldern / Feldlinien, Addition
- Messreihen der Flussdichte bei unterschiedlichen Abständen
- Homogenes Magnetfeld eines Hufeisenmagneten und eines Helmholtzspulenpaars kennen

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(beide Anforderungsbereiche)*

- ***den Begriff der magnetischen Flussdichte erläutern,***
- *weiter...*

- B (auch Kraftflussdichte, magnetische Feldstärke), gemessen durch eine „Stromwaage“ der Länge s: $B = F / (I \cdot s)$

- für eine lange Spule der Länge l: $H = I \cdot n / l$

- Berechnete Flussdichten kann man heute gut mit B-Sonden nachmessen.

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(beide Anforderungsbereiche)*

- **die Voraussetzungen für das Auftreten von Lorentz-Kräften benennen,**
- *weiter...*

- Bewegung von elektrischen Ladungen im Magnetfeld
- Änderung des Magnetfelds im Bereich einer elektrischen Ladung
- Differenzierung von geladenen Teilchen (Elektronen, Ionen) und formalen Ladungen („Löcher“ in Halbleitern, positive Ladungen durch Elektronenmangel in Metallen)
- Relevanz der Richtungen, Bewegung (v) senkrecht zum Magnetfeld (B),
- Andere Richtungen durch Vektorzerlegung (Winkelfunktionen) beschreiben und berechnen

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft

Die Schülerinnen und Schüler können... *(beide Anforderungsbereiche)*

- **die Drei-Finger-Regel erläutern und anwenden,**
- *weiter...*

| | | | |
|---|---|---|---|
| *U Ursache* | *Daumen* | *v* | *I* |
| *V Vermittlung* | *Zeigefinger* | *B* | *B* |
| *W Wirkung* | *Mittelfinger* | $F_L$ | $F_L$ |

*Achtung: Stromrichtung und Elektronenflussrichtung sauber differenzieren.*

*Die drei Finger sind eine Repräsentation des Vektorprodukts (Kreuzprodukts)*

*Nur als „Kür“ möglicherweise das Kreuzprodukt vektoriell mit Matrix (Mathematik-Kurs?)*

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 b_3 - a_3 b_2 \\ a_3 b_1 - a_1 b_3 \\ a_1 b_2 - a_2 b_1 \end{pmatrix}.$$

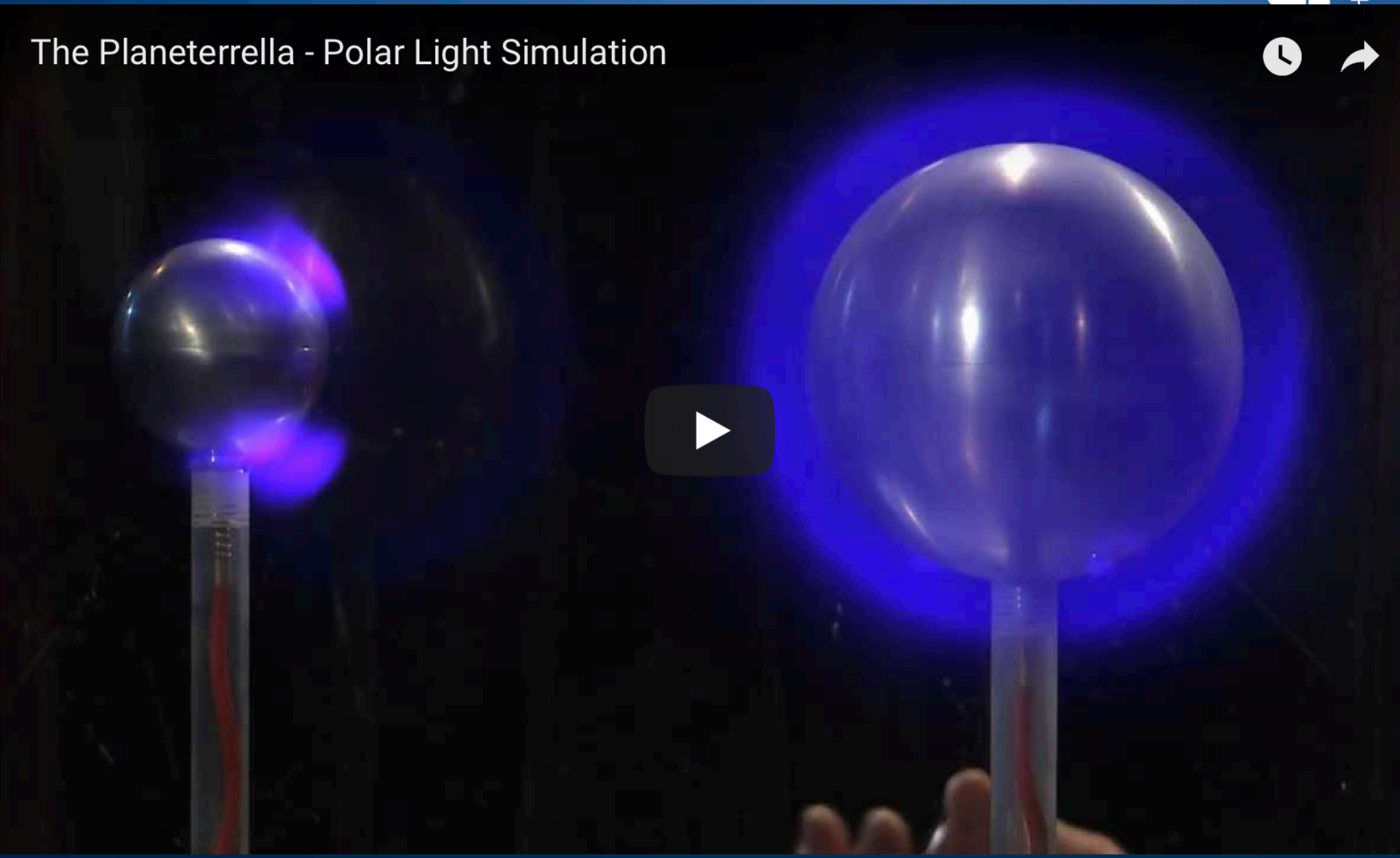
Ein Zahlenbeispiel:

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -7 \\ 8 \\ 9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 \cdot 9 - 3 \cdot 8 \\ 3 \cdot (-7) - 1 \cdot 9 \\ 1 \cdot 8 - 2 \cdot (-7) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -6 \\ -30 \\ 22 \end{pmatrix}.$$

Quelle: NASA Earth Observatory

Christian Birkeland, Norwegen

https://www.youtube.com/watch?v=m58-CfVrsN4



# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(erhöhter Anforderungsbereich gelb)*

- **die Lorentz-Kraft für einfache Szenarien berechnen,**
- *weiter...*

$$\vec{F}_{\mathrm{L}} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(erhöhter Anforderungsbereich gelb)*

- ***den Hall-Effekt erklären und Hall-Spannungen bestimmen,***
- *weiter...*

Die Definition im Metzler (Metzler/Schroedel) ist nicht unproblematisch. Im Dorn-Bader (Schroedel) ist sie besser verständlich dargestellt.

Problem: Hier stößt man leicht auf die Themen Halbleiter und Valenzband, muss sich dann also mit Elektronenmodellen in Metallen und Halbleitern befassen.

Anwendungen sind elektronische Messgeräte mit B-Sonden.

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(erhöhter Anforderungsbereich gelb)*

- **das elektrische und das magnetische Feld vergleichen,**
- *weiter...*

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

Die Schülerinnen und Schüler können... *(erhöhter Anforderungsbereich gelb)*

- **nicht-relativistische Bewegung von Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern beschreiben und Bahnkurven für homogene Felder berechnen, *auch wenn Teilchen nicht senkrecht zu den Feldlinien in die Felder eintreten.***
- *weiter...*

*Dieses ist der detaillierteste Punkt, der die meisten Experimente erfordert und für den die meisten Kompetenzen erwartet werden müssen.*

*Themen:*

- *Ungestörte Überlagerung von Bewegungen / Parallelen zum waagerechten und schrägen Wurf, Bewegung in zwei und drei Dimensionen*
- *Parabelgleichung / Mathematik*
- *Vektoraddition*
- Kreisbewegung / Umlaufbahn (hier Parallele zum Thema Gravitation)

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

*Themen:*

- *Ungestörte Überlagerung von Bewegungen / Parallelen zum waagerechten und schrägen Wurf, Bewegung in zwei und drei Dimensionen*
- *Parabelgleichung / Mathematik*
- *Vektoraddition*
- Kreisbewegung / Umlaufbahn (hier Parallele zum Thema Gravitation)

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

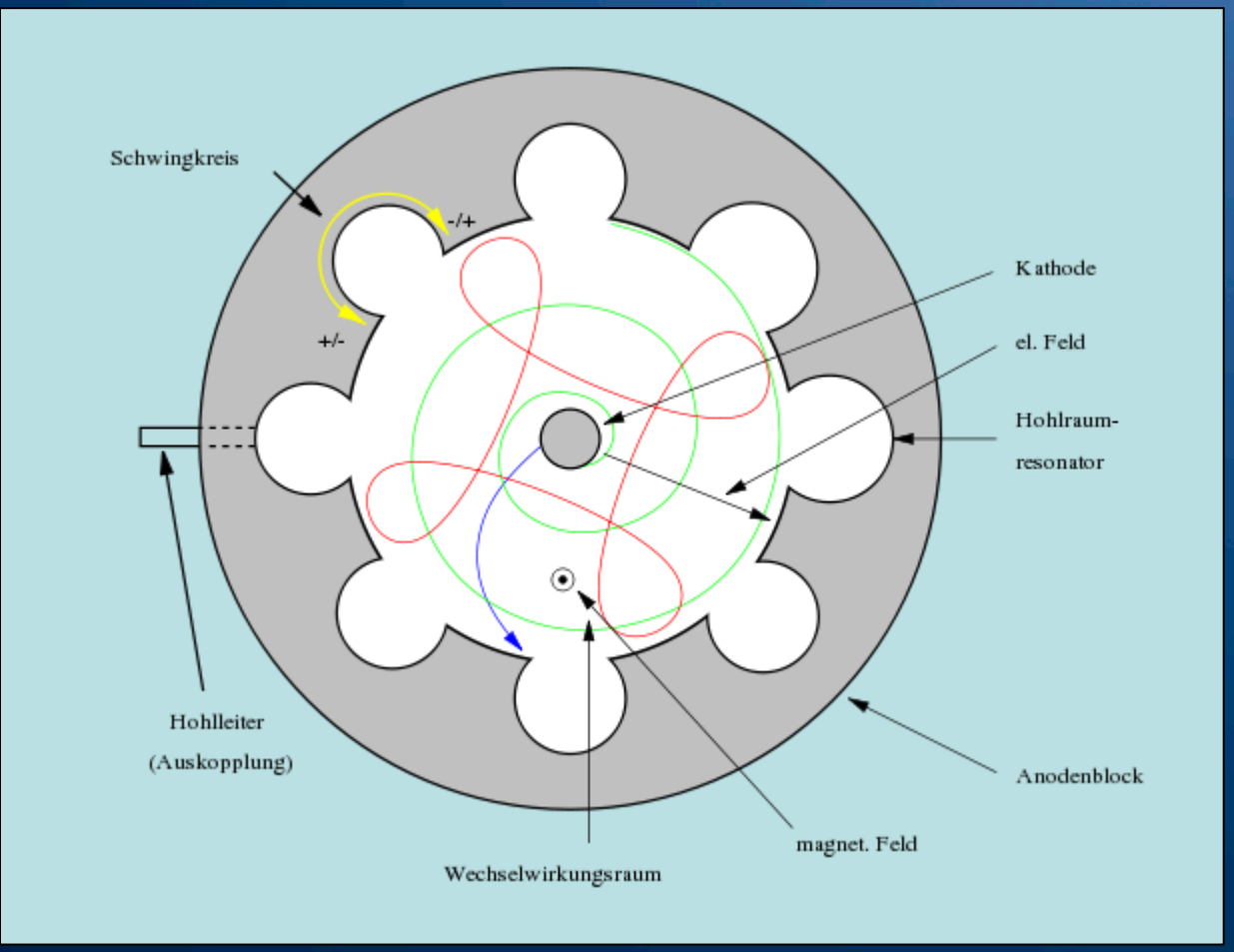
*Beispiele und Anwendungen:*

- *Magnetische Flasche, Van-Allen-Gürtel, Polarlicht*
- *Sonneneruptionen: Flares*
- *Linac (elektrische Felder)*
- *Massenspektrograph (Kombination beider Felder) – der Klassiker*
- *Cyclotron (Kombination beider Felder)*
- *Synchrotron, Kurvenmagneten*
- *Wiggler, Undulator, FEL (magnetische Felder)*
- *Mikrowellenofen (elektrisches Feld, Energieumwandlung)*
- *Magnetron, Massenspektrometer (beide Felder)*
- *Protonentherapie, siehe folgende Seiten*

Von heb@Wikimedia Commons (mail) - Eigenes Werk, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1860088

# Teilchen im elektromagnetischen Feld (A-Heft)

*Mikrowelle*




Das **Klystron** ist eine Elektronenröhre, die die Laufzeit der Elektronen zur Erzeugung oder Verstärkung von Hochfrequenzsignalen ausnutzt (Laufzeitröhre). Im Klystron erfährt ein im Vakuum erzeugter und durch Hochspannung beschleunigter Elektronenstrom durch ein hochfrequentes elektrisches Wechselfeld eine Geschwindigkeitsmodulation. Er durchläuft dazu einen mit einem Hochfrequenz-Signal gespeisten Hohlraumresonator. Nach einer gewissen Laufzeit bewirkt die Geschwindigkeitsmodulation eine Dichtemodulation. Der modulierte Elektronenstrom kann durch einen oder mehrere weitere Hohlraumresonatoren (Mehrkammerklystron) geführt werden, und am letzten Resonator kann ein Teil seiner Energie als Hochfrequenzenergie entnommen werden.

LI: Detlef Kaack, Quelle: Auszüge aus Wikipedia

Von heb@Wikimedia Commons (mail) - Eigenes Werk, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1860088

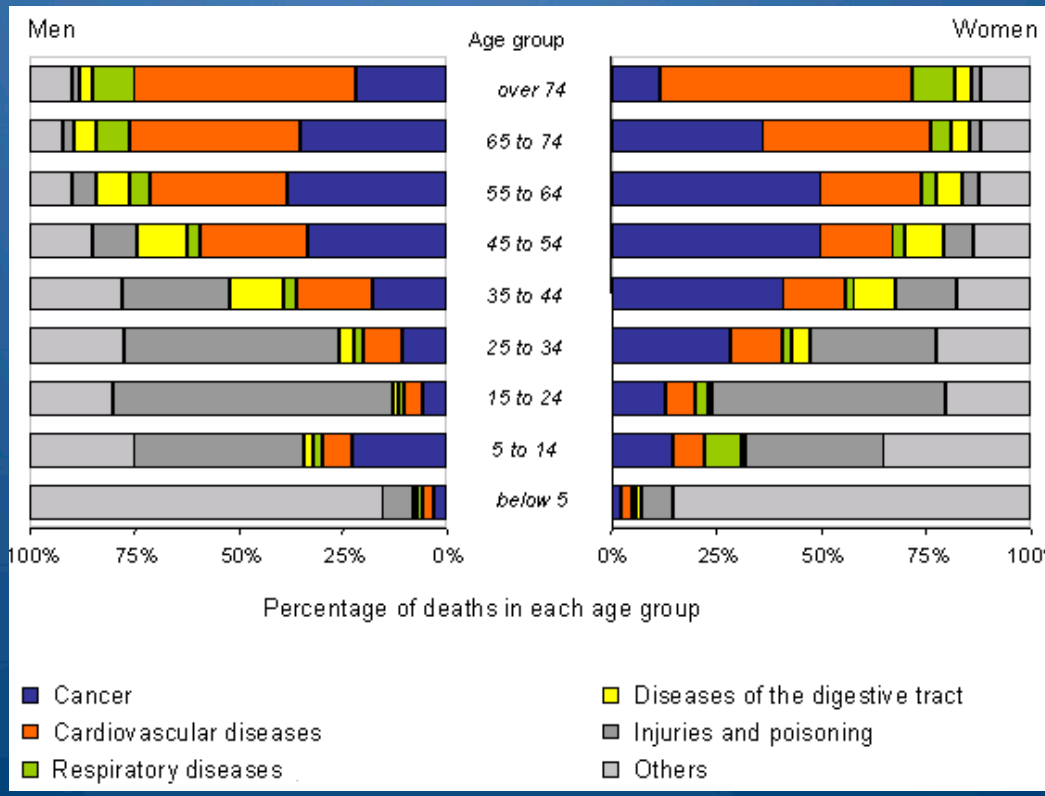
# Teilchen im elektromagnetischen Feld

*Beispiele und Anwendungen:*

- *Magnetische Flasche, Van-Allen-Gürtel, Polarlicht*
- *Sonneneruptionen: Flares*
- *Linac (elektrische Felder)*
- *Massenspektrograph (Kombination beider Felder) – der Klassiker*
- *Cyclotron (Kombination beider Felder)*
- *Synchrotron, Kurvenmagneten*
- *Wiggler, Undulator, FEL https://de.wikipedia.org/wiki/Undulator*
- *Magnetron, Mikrowellenofen (elektrisches Feld, Energieumwandlung)*
- *Massenspektrometer (beide Felder)*
- *Protonentherapie, siehe folgende Seiten*

Aktuell erleidet etwa jeder Dritte im Laufe seines Lebens eine Krebserkrankung. Bei Rückdämmung von Kreislauferkrankungen und damit pro Jahr um deutlich mehr als einen Monat steigender Lebenserwartung nimmt die Krebshäufigkeit zu: Krebs wird Kreislauferkrankungen in voraussehbarer Zeit als häufigste Todesursache ablösen.

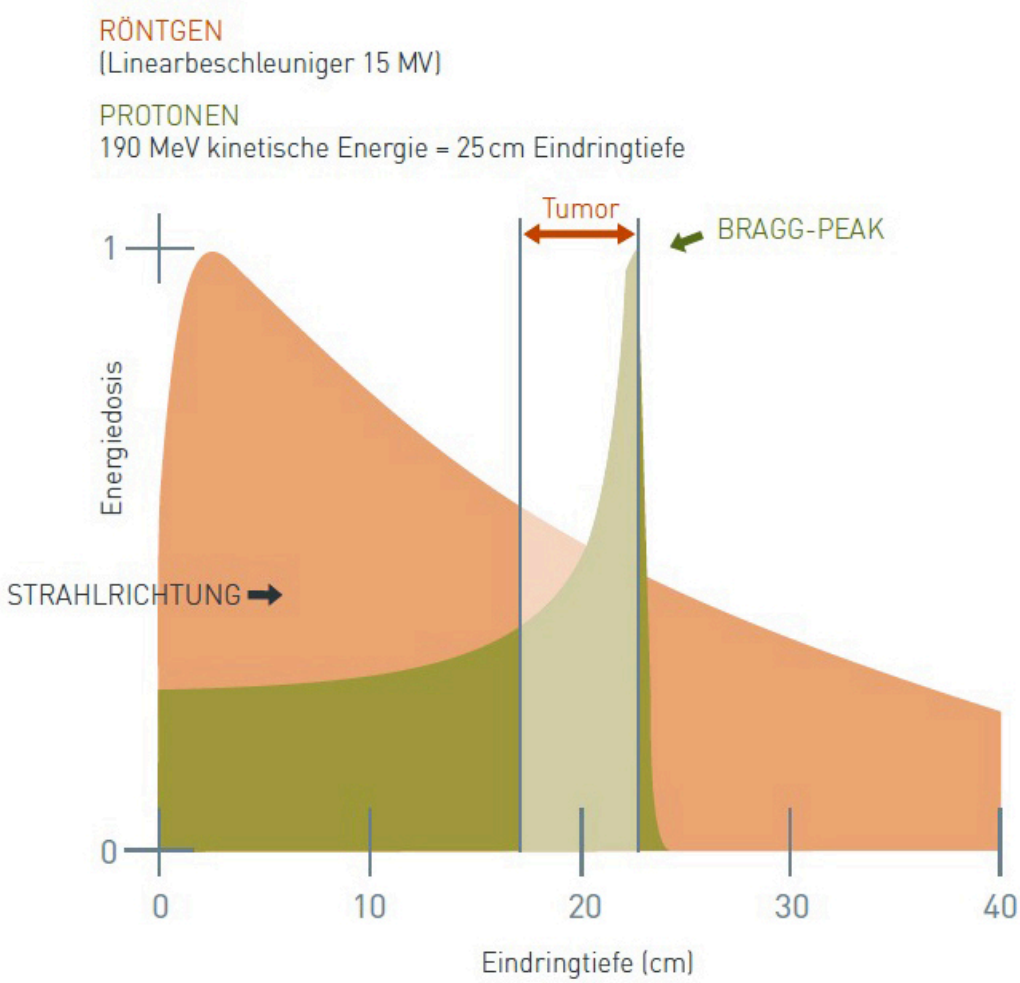
1999 erkrankten ca. 500.000 Menschen in der Bundesrepublik jährlich neu an Krebs (Abbildung 1).
Rund die Hälfte der bösartigen Erkrankungen wird operativ behandelt, ca. 40 % (in den USA 50 %) werden bestrahlt. Hiervon 27 % in Form einer alleinigen Radiotherapie, 13 % im Rahmen von Kombinationsbehandlungen mit Chemotherapie. Die Bestrahlungen oder Operationen von Tumoren zählen zu den lokalen Verfahren. Chemo- und Immunotherapie hingegen sind systemische Therapieverfahren, die den ganzen Körper erfassen. Chemo- und Immunotherapie werden in der Form einer Alleinbehandlung nur bei etwa 10 % aller Krebspatienten eingesetzt.




*Quelle der Texte und Bilder zur Protonentherapie:*
*RPTC München*
*http://www.rptc.de/de/protonentherapie*

LI: Vorname Name

Röntgen- und Protonenstrahlen haben gemeinsam, dass sie sich in der **Richtung** sehr genau zielen lassen. Ihr wesentlicher Unterschied besteht darin, dass bei Protonen – anders als bei Röntgen – auch die **Reichweite** präzise kontrollierbar ist. Das liegt an den grundsätzlich verschiedenen physikalischen Eigenschaften von elektromagnetischen Wellen (Röntgen) und beschleunigten Kernteilchen (Protonen).

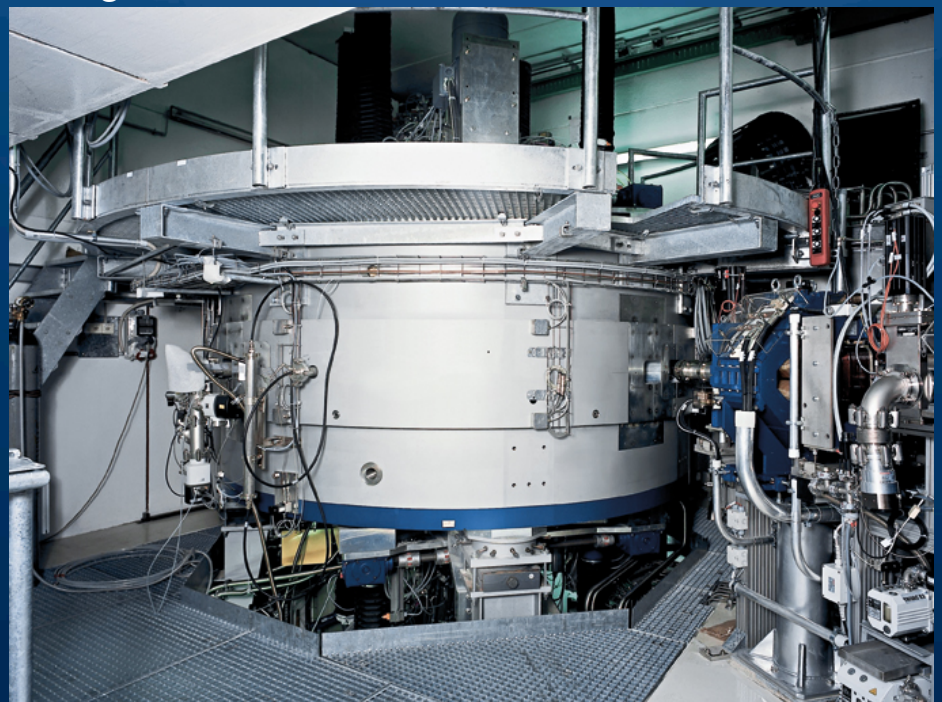



Ortsdosisverlauf beim Eindringen von Protonen in den Körper. Die im Vergleich zu Röntgen deutliche Wirkungszunahme am Ende der Protonenbahn (Bragg-Peak) begründet die erheblichen Vorteile der Protonen bei der Behandlung tief liegender Tumoren.

**Beschleunigung der Protonen**

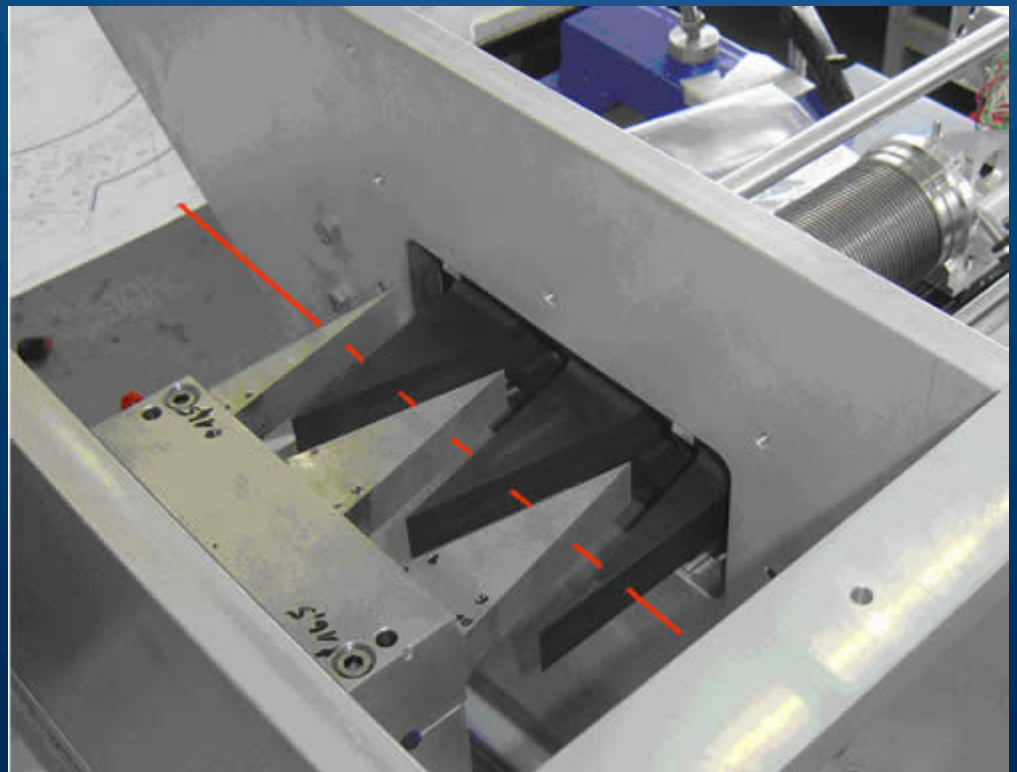
Frei bewegliche Protonen gibt es in größerer Zahl nur im Weltraum. Auf der Erde müssen sie zunächst aus Wasserstoffgas gewonnen werden. Dazu dient ein Gerät, das auf elektrischem Weg die negativ geladenen Elektronen der Wasserstoffatome abtrennt. Was übrig bleibt, sind die positiv geladenen Protonen. Dieser Vorgang spielt sich in einem winzigen Maßstab ab: Die für eine komplette Therapie benötigte Menge an Wasserstoffgas ist wesentlich kleiner als die Gasmenge einer einzigen Champagnerperle.

Im Teilchenbeschleuniger – dem sogenannten **Zyklotron** – werden die Protonen dann mit starken elektromagnetischen Feldern in einer spiralförmigen Bahn auf 60 % der Lichtgeschwindigkeit (180.000 km in der Sekunde) beschleunigt. Die schnellste Spiralbahn, am Rand des Zyklotrons, wird durch ein elektrisches Feld nach außen abgelenkt und fliegt dadurch in gerader Linie aus dem Gerät heraus.



**Strahlaufbereitung – Steuern der Eindringtiefe**

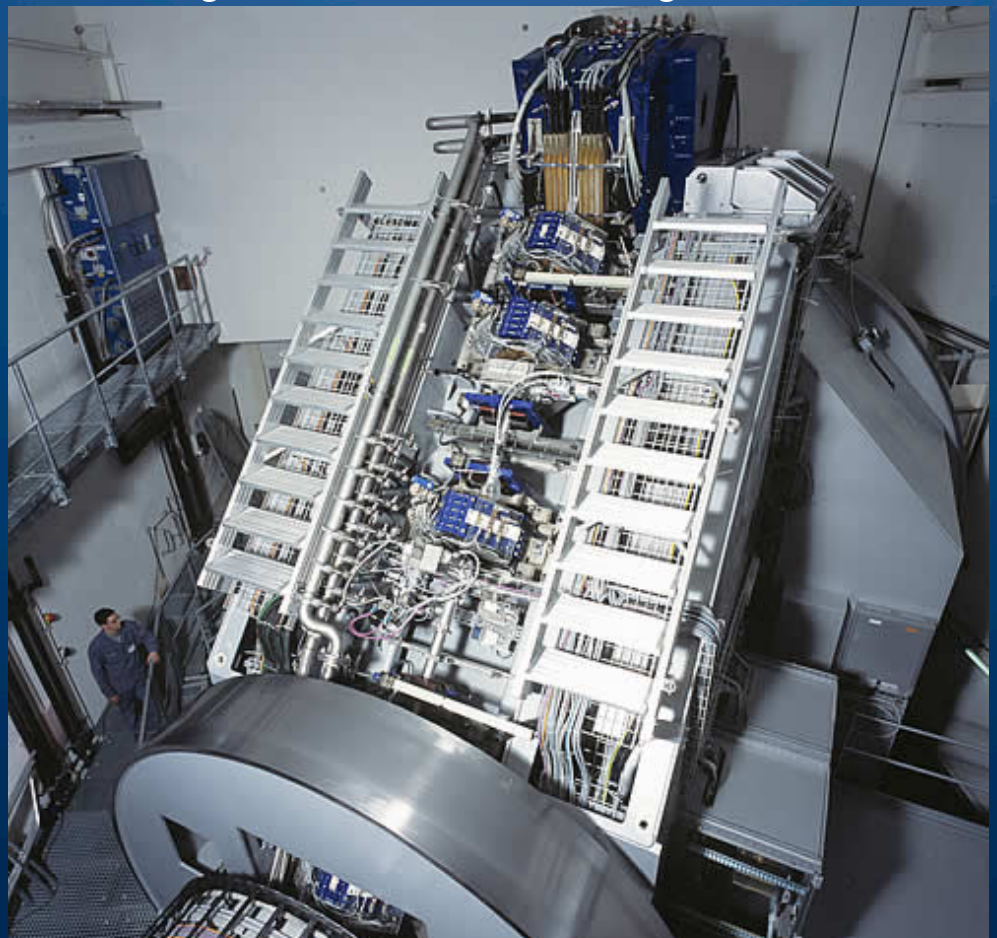
Bei 180.000 km/s dringen Protonen etwa 38 cm tief in den Körper ein. Liegt das Bestrahlungsziel, also der Tumor, näher an der Oberfläche, müssen sie gebremst werden. Das geschieht unmittelbar nach dem Verlassen des Zyklotrons im sogenannten Energy Selection System (**ESS**), das Keilkörper aus Kohlenstoff in den Strahlengang schiebt und damit exakt die gewünschte Geschwindigkeit erzielt.



**Strahlführung und Zielvorrichtung**

Der solchermaßen abgebremste Strahl wird nun durch ein Vakuumrohr zum Therapieplatz, der sogenannten **Gantry**, geführt. Dabei legt er bis zu 92 Meter zurück, auf denen er mithilfe magnetischer Linsen fortwährend fokussiert wird – sonst würden die Protonen auseinander fliegen. Bei der Gantry handelt es sich um eine 150 Tonnen schwere, um die Horizontalachse 360° drehbare tonnenförmige Stahlkonstruktion von elf Metern Durchmesser, die starke Magnete zur genauen Ausrichtung des Protonenstrahls enthält. Innerhalb dieses Hohlkörpers wird der Patient auf einer Konturmatratze, die einer Liege aus Kohlefaser aufliegt, fixiert.

Die Biegemagneten der Gantry lenken den emittierten Strahl senkrecht auf die Drehachse der Gantry. Dreht man nun die Konstruktion, so trifft der Strahl mit einer Genauigkeit von besser als 0,5 mm immer in dasselbe sogenannte „Isozentrum" – von jeder gewünschten Seite her. Das ist – zusammen mit der ebenfalls präzise einstellbaren Patientenliege – der Schlüssel, um Tumoren immer aus der medizinisch optimalen Richtung zu bestrahlen.



# Nozzle

**Nozzle**

Die **Nozzle** ist der an den Patienten herantretende Endteil der Strahlführung. Er ist nahe dem Patienten montiert, um den Strahl möglichst lange streufrei im Vakuum transportieren zu können. Hinter der Nozzle untergebracht ist das Herzstück des im RPTC angewendeten Präzisions Scanning Verfahrens. Es besteht im Wesentlichen aus den beiden letzten kleinen Biegemagnetpaaren, die den Strahl in zwei Dimensionen ablenken, einmal weg von der Gantryachse und einmal parallel zur Gantryachse, und damit zwei der drei Dimensionen der Präzisionszielgebung mit dem Scanning-System stellen. Die dritte Dimension wird, wie erläutert, durch Veränderung der Eindringtiefe durch Steuerung der Strahlenergie abgetastet. Dieses Verfahren stellt die modernste Form der Protonentherapie dar. Mit ihm können in einer Sitzung mehrere Tumoren ohne Zeitverlust aus mehreren Richtungen bestrahlt werden, sofern die Bestrahlungsfelder nicht deutlich unter 20 mm Durchmesser aufweisen.

Zur Behandlung sehr kleiner Tumoren kann die Nozzle mit Miniaturschablonen ausgerüstet werden, die den Strahl genau auf Kleintumoren zum Beispiel im Gehirn anpassen. Die Nozzle enthält auch Strahldetektoren, die nochmals die Strahlstärke, die Strahlenergie und damit Eindringtiefe, und die X- und Y-Dimensionen der Ablenkung kontrollieren und unabhängig von der restlichen Steuerung auf Übereinstimmung mit den gewünschten Daten beim Patienten prüfen. Schließlich tritt der Strahl durch ein das Vakuum abschottendes Fenster aus Kapton-Kunststoff ins Freie.

# Material

1. Oberstufen-Set Niedersachsen, Leybold MEE 585510
   **Schüler-Experimentierkasten Magnetismus - Elektrik – Elektronik**
2. 2 Elektroskope, Stäbe, Felle und Tücher
3. Bandgenerator mit Zubehör
4. Fadenstrahlrohr mit Helmholtzspulenpaare nebst Versorgungsgeräte, 2 Supermagnete
5. großer Plattenkondensator mit statischem Voltmeter und Hochspannungsnetzgerät 25 kV
6. Overheadprojektormodelle elektrisches Feld mit Bärlappsamen o.ä.
7. Overheadprojektormodelle Magnetfelder: Spule, Magnetnadelplatte mit Loch
8. Magnetfeldmodell 3D für Stabmagnet (Eisenspäne in Öl), Stabmagnet
9. Leiterschaukel aufgebaut, Hufeisenmagnet, Messverstärker Strom mit Anzeigegerät
10. Hallsonde(n) mit Messgerät(en)
11. Elektronenstrahlablenkröhre in Halterung mit Betriebsgeräten
12. Gerät zum waagerechten Wurf?
13. B-Sonden elektronischer Messwerterfassungssysteme

# Experimente 1

Stationen

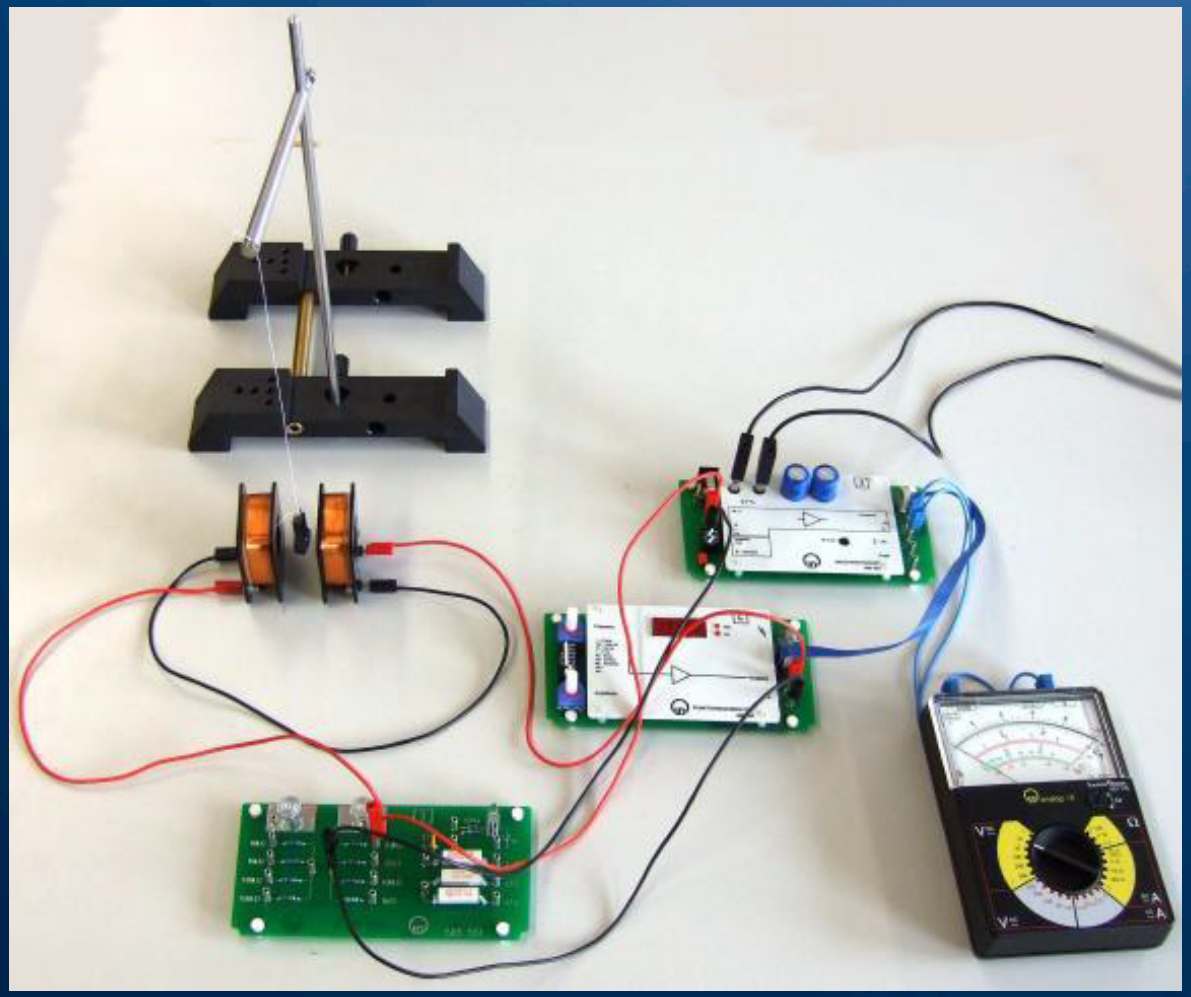
1. Oberstufen-Set Niedersachsen, Leybold MEE 585510
2. Elektrisches Feld: Leitender Tennisball im Plattenkondensator (Unikurs WiSe Versuch 6 Teil 5)
3. Influenz: Ladungstrennung im homogenen Feld eines Plattenkondensators
4. Influenz: Nichtleitender Tennisball im Plattenkondensator (U > 1 kV)
5. Ladung im elektrischen Feld: Röhre (Triode)
6. Influenz am Elektroskop
7. Das elektrische Feld im feuchten Papier (analog Unikurs SoSe Versuch 10 Teil 2, nur mit zusätzlicher Messelektrode und Voltmeter)
8. Vermessung des Felds mit der Flammensonde
   Sensor: Glasrohr mit Drahtwolle und Platindraht, an Gas angeschlossen, statisches Voltmeter, Hochspannung an Kondensatorplatten oder Kugelelektroden im Raum.
9. Fadenstrahlrohr: Kreisbahn, Spiralbahn, magnetische Flasche (siehe auch Metzler „Kräfte im magnetischen Feld“.
10. Elektronenablenkröhre: Überlagerung von Bewegungen, Parabelbahn, Kreisbahn
11. Hallsonde

# MME

# **Magnetismus, Elektrik, Elektronik**

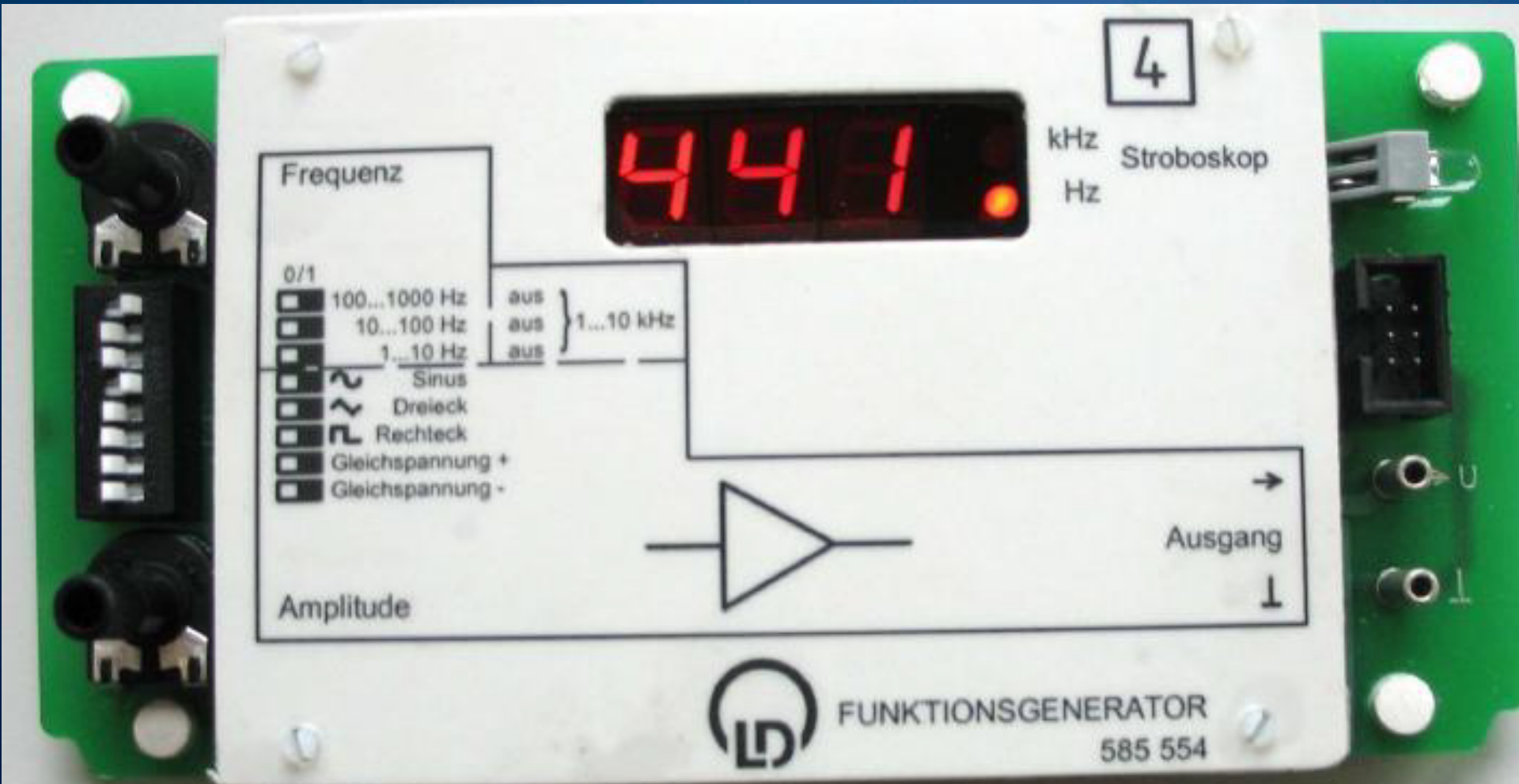
Entwickelt für das praktische Zentralabitur Niedersachsen

Leybold 585 510 (€ 598,-)

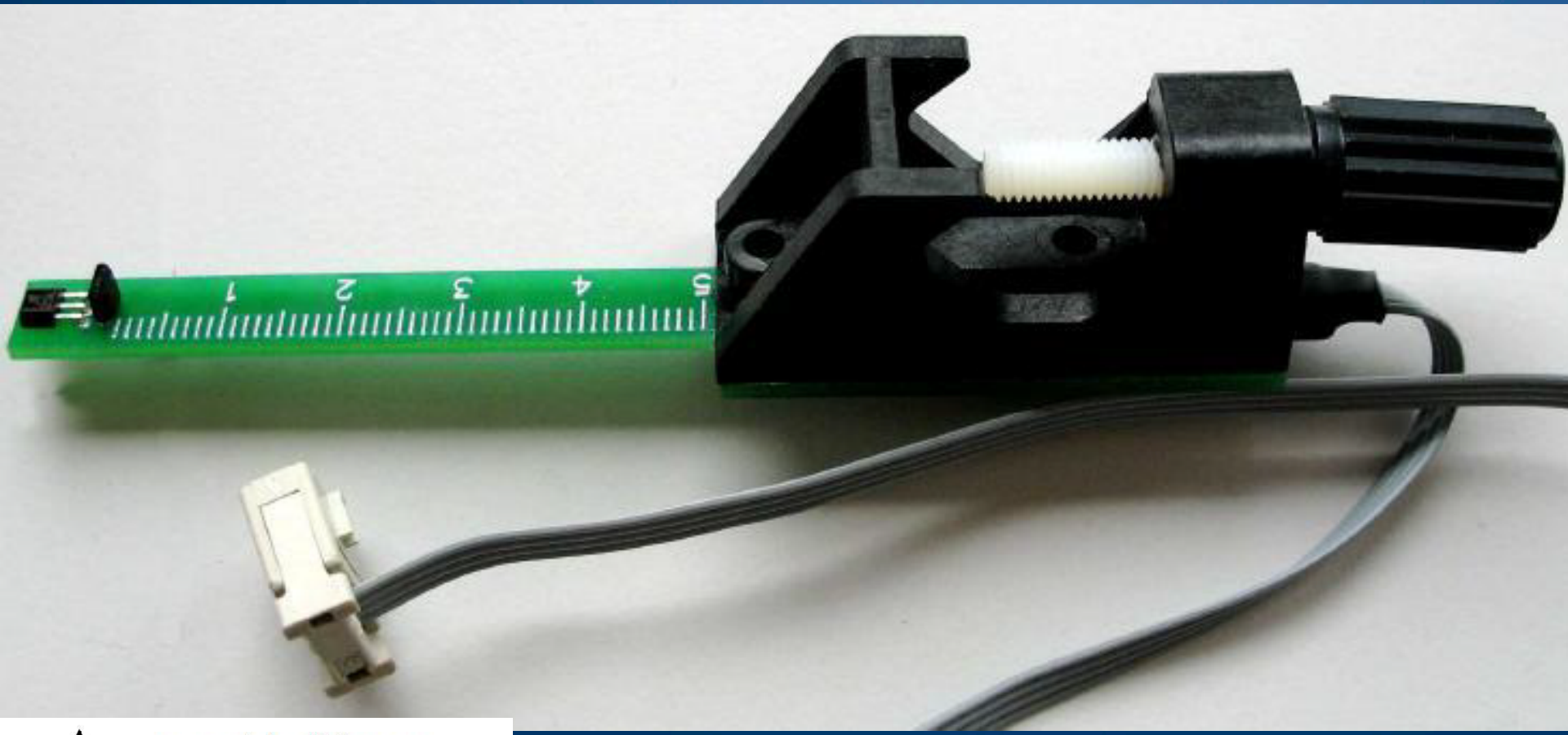


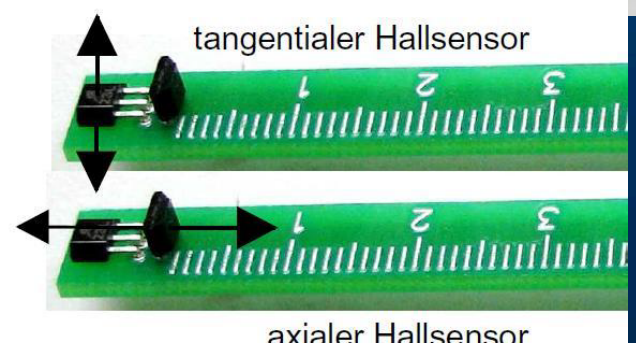
# MME Messverstärker

# MME Funktionsgenerator

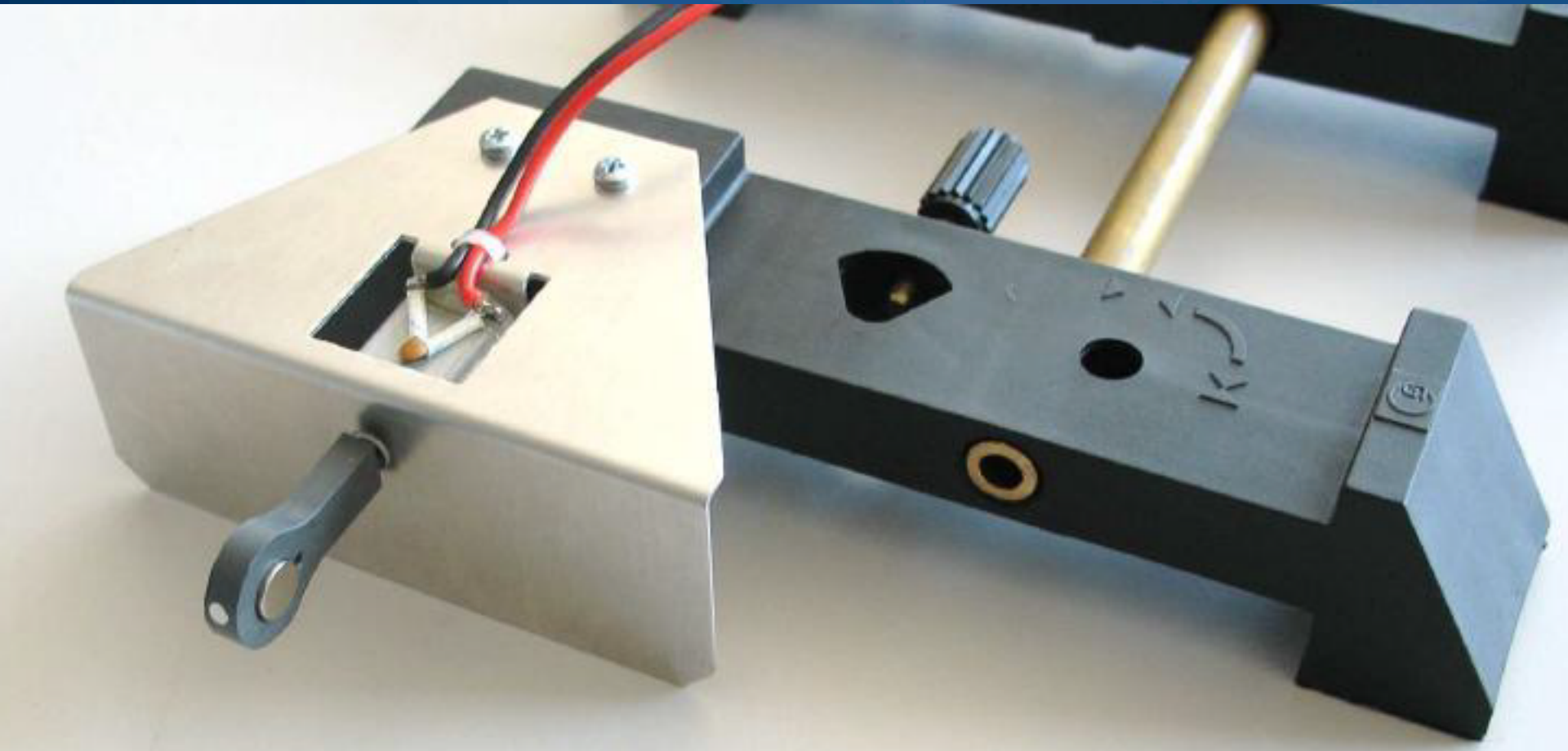


# MME Hallsonde

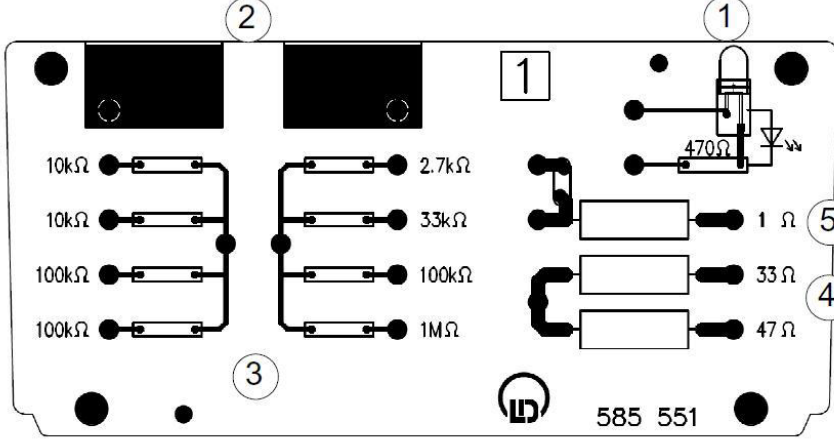


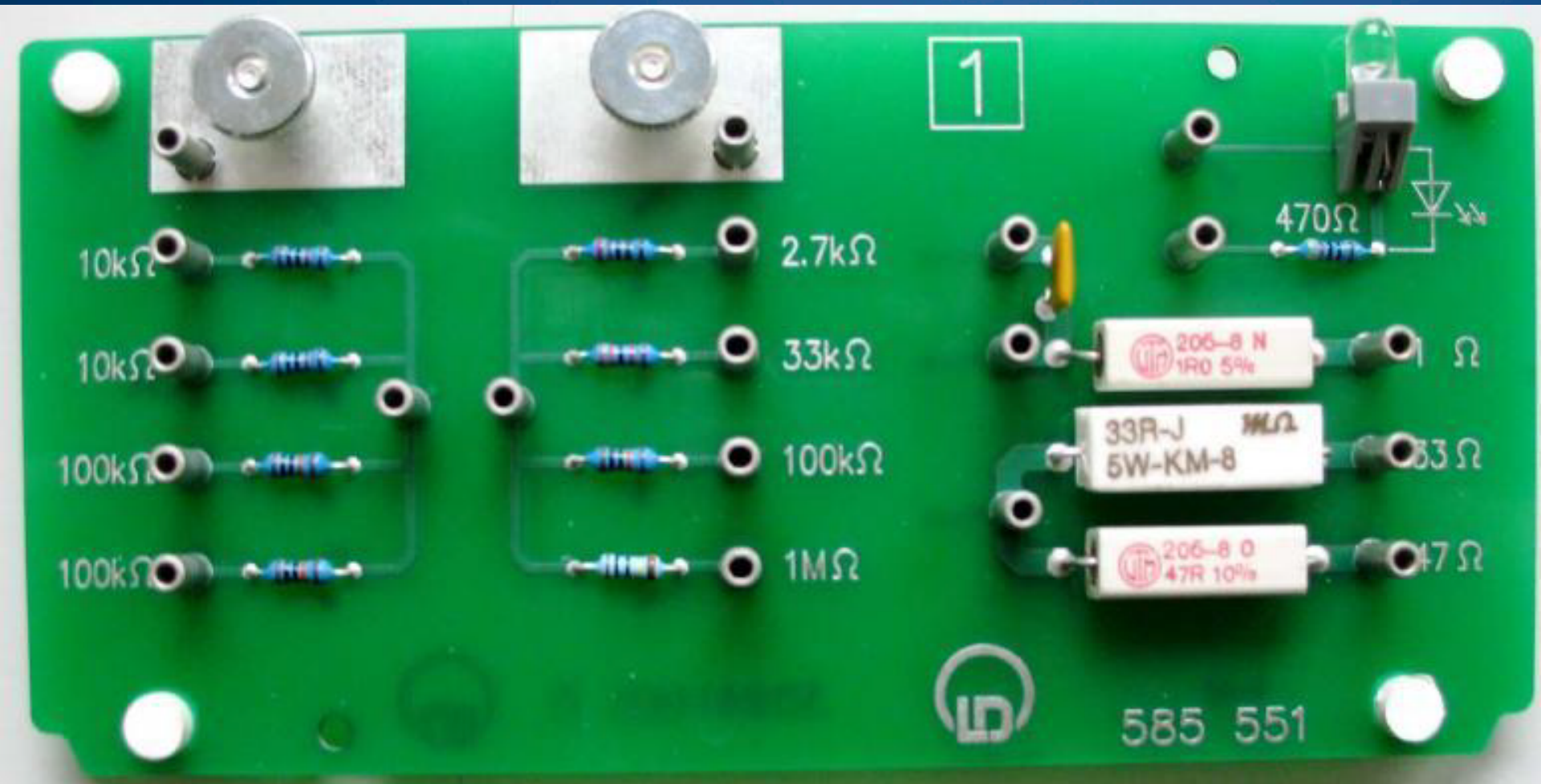


# MME Motor mit Magnet

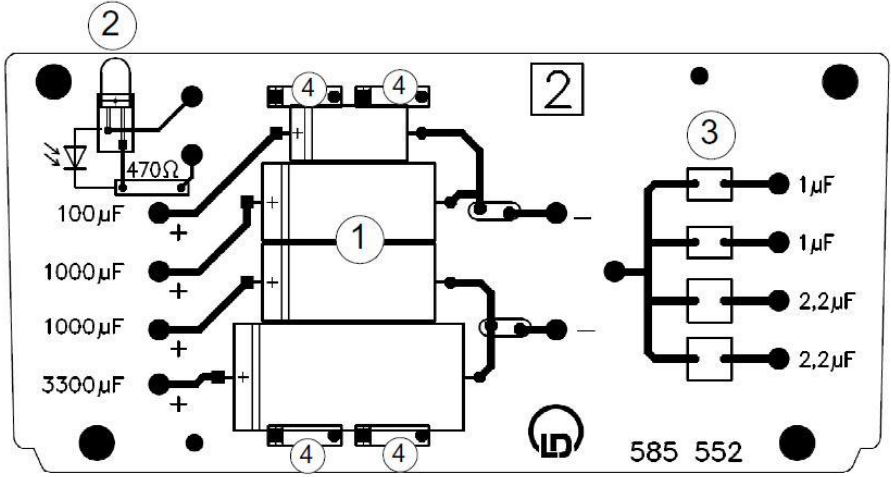


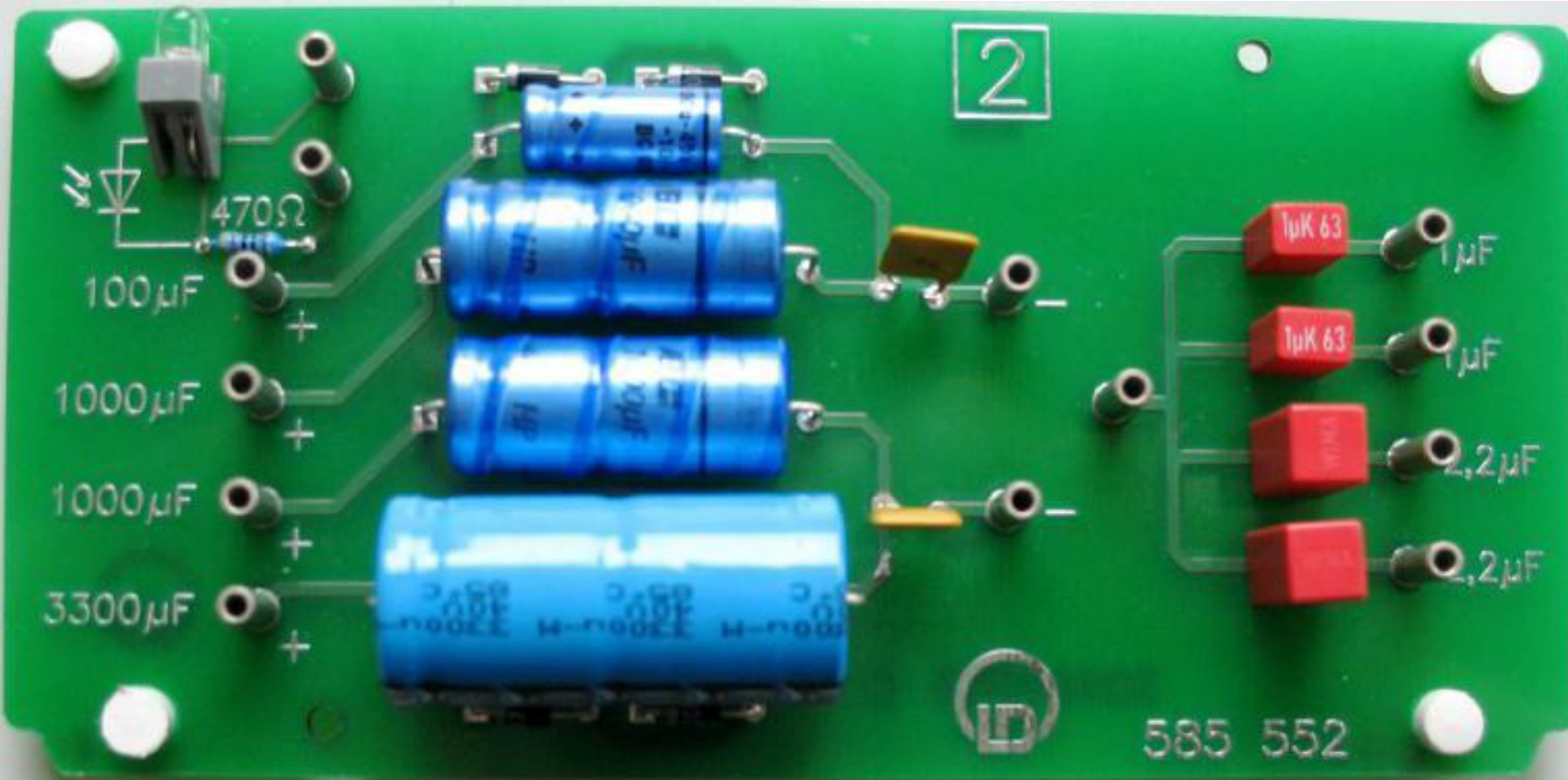
# MME Experimentierboard Widerstände



# MME Experimentierboard Kondensatoren



- MEE Magnetismus, Elektrik, Elektronik
  - Experimente und jeweils weitere Elemente (Link)
    - MEE1 Plattenkondensator: Kapazität in Abhänigkeit vom Abstand
    - MEE2 Entladen eines Kondensators
    - MEE3 Induktionsspannung
    - MEE4 Magnetfeld einer Spule
    - MEE5 Magnetische Flussdichte des Erdmagnetfeldes
    - MEE6 Lorentzkraft auf eine Leiterschleife im Magnetfeld
    - MEE7 Transformator bei Belastung
    - MEE8 Grenzfrequenz bei RC-Schaltungen (Hoch- und Tiefpass)
    - MEE9 Resonanzfrequenz im Serien-Schwingkreis
    - MEE10 Fotodiode im Betrieb als Fotoelement (Solarzelle)

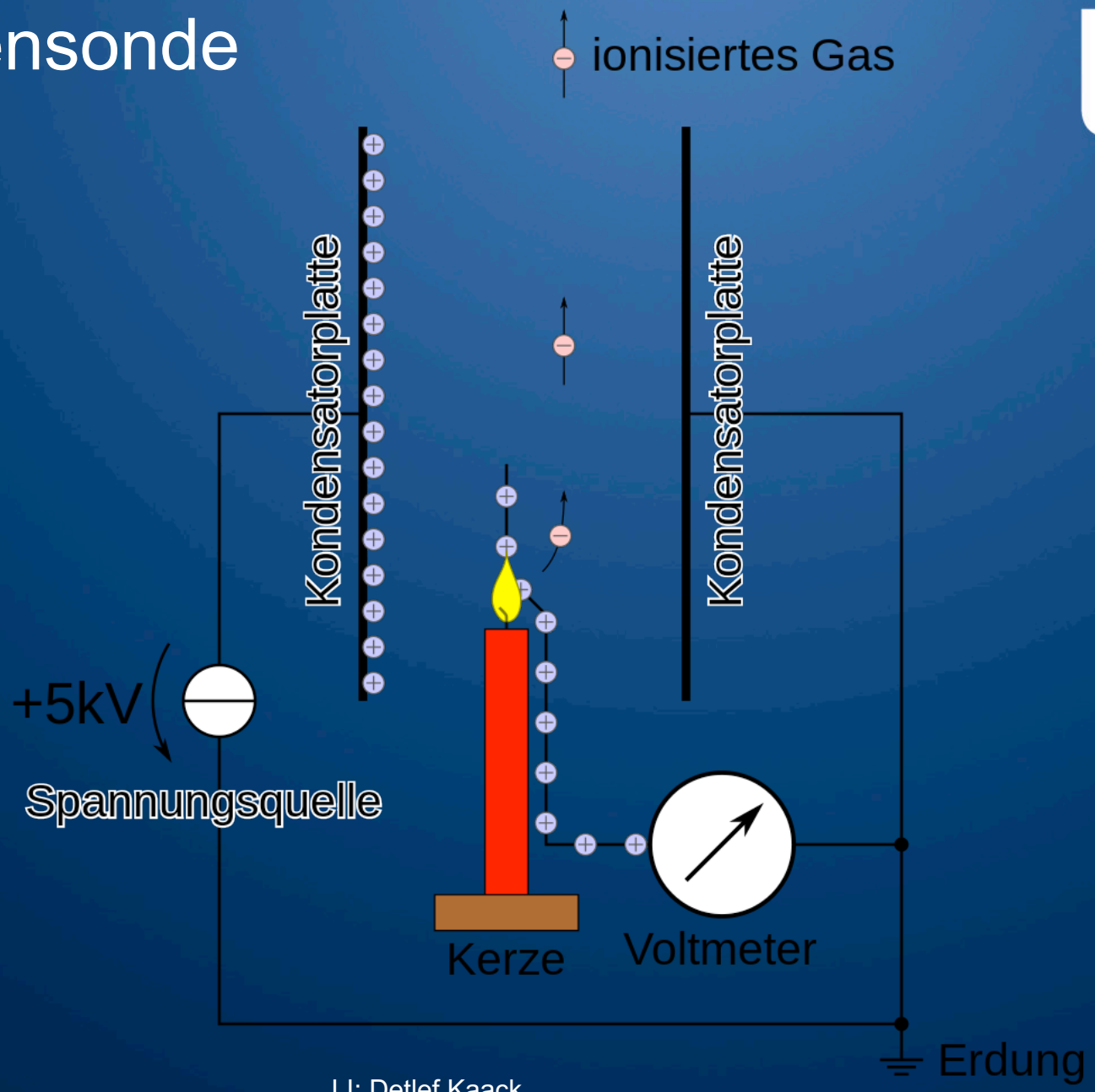
# Links

1. Diverse Versuche zum el. Feld, Leifi Physik:
   http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/ladungen-felder-oberstufe/lb

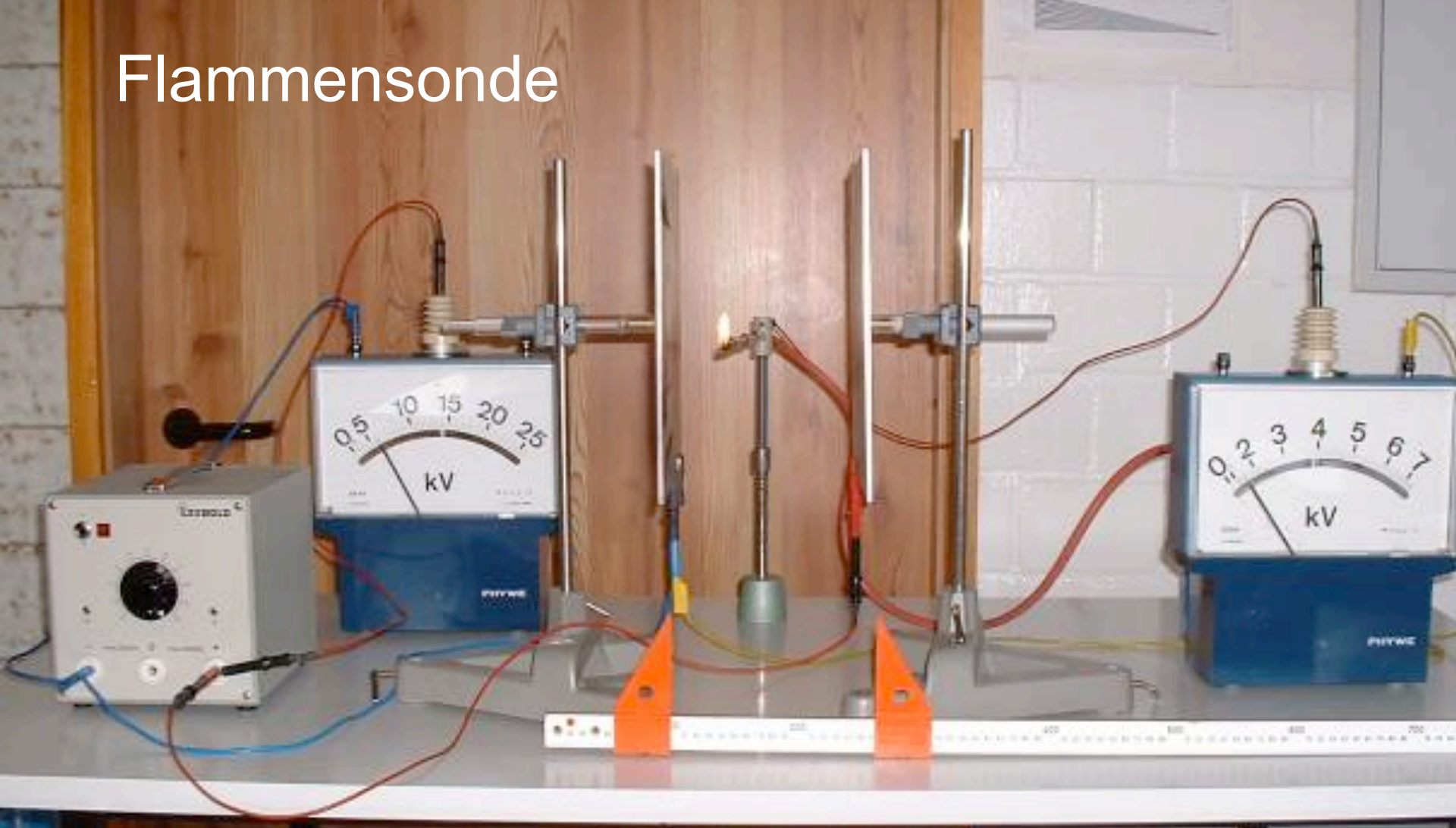
2. Leitende Papiere
   www.physik-shop.de
3.

# Flammensonde

*Quelle: Wikipedia*



# Flammensonde




*Quelle: http://www.fosbos-marktheidenfeld.de/faecher/physik/ph12/elektrostatik12/Homogenes_Feld/Potenzial_hom_E-Feld1-Jens.jpg*

LI: Detlef Kaack

# Programmierung der Teilchenbahnen

- **Netlogo**, (mit Java 6 auf Win, MaxOSX, Unix)
  (Ein Beispielprogramm ist in Arbeit.)
  https://ccl.northwestern.edu/netlogo/

- **Python,** Programmiersprache (Win, MacOS, Unix, Raspian auf Raspberry Pie),
  Downloadquellen, Anleitungen und Sonderdateien unter:
  (Ein Beispielprogramm ist in Arbeit.)
  www.schul-physik.de/python.html

- Weitere Programmierumgebungen siehe:
  www.schul-physik.de/Software.html#sprachen

- Es ist ab 9/2015 eine Handreichung der BSB in Arbeit.

# Links

- Diverse Dateien zum Thema:
  www.schul-physik.de/Downloads.html
- Aurora
  https://www.youtube.com/watch?v=vmXQUwXzQ8I
-