

4. und 5. September 2014  
Melden Sie sich jetzt an!



Spannende Uni-Vorlesungen und Veranstaltungen für Neugierige im besten Alter

„Was wiegt die Welt?“ // „Wie entsteht ein Regenbogen?“ // „Haben Alkohol, Kaffee und Co. einen Nutzen?“

Alle Veranstaltungen sind kostenlos

Programm und Anmeldung unter:  
[www.wuppertal-live.de/forschertage](http://www.wuppertal-live.de/forschertage)  
[www.transfer.uni-wuppertal.de](http://www.transfer.uni-wuppertal.de)

Ü-55-Forschertage  
4. und 5. September 2014  
Bergische Universität Wuppertal  
Campus Griffenberg

Mathematik und  
Naturwissenschaften  
Fachbereich C



Die Ü-55-Forschertage an der Bergischen Universität Wuppertal werden unterstützt von:

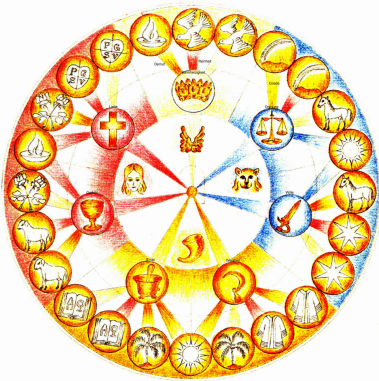


# Kraftfelder

... wie von unsichtbarer Hand geführt

Prof. Dr. Wolfgang Wagner

- Zentraler Begriff aus der Physik
- Häufig “mißbraucht”:
  - Star trek
  - Esoterik



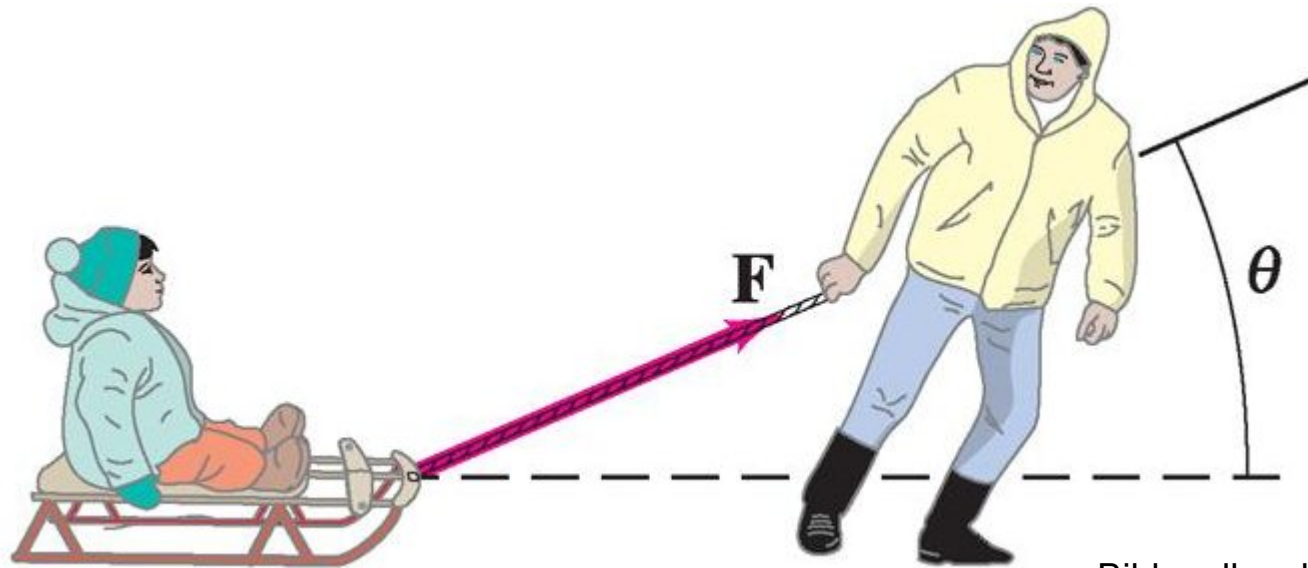
Die Veranschaulichung der Grundkräfte  
mit je zwei Figuren der ältesten Götter.

Tafel 27

UR-IL S 481 / 346  
155 / 377



# Kräfte in der Klassischen Mechanik



Bildquelle: physikerboard.de

Mechanik: Kräfte werden über materielle Verbindungen übertagen

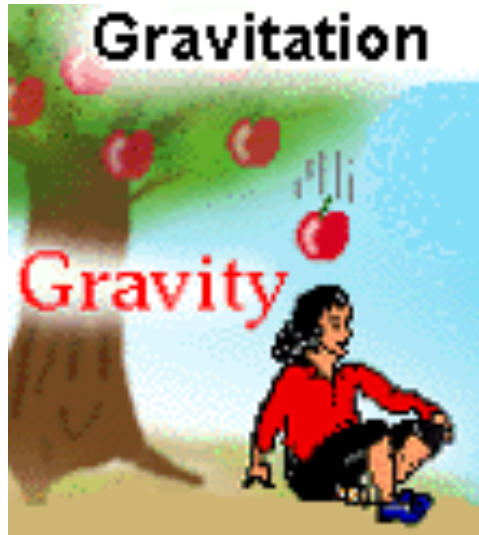
→ Seile, Getriebe, Pleulstangen, ...

Ausnahme: Schwerkraft (Gravitationskraft)

# Gravitation

Die Gravitation ...

...prägt das Leben auf der Erde.



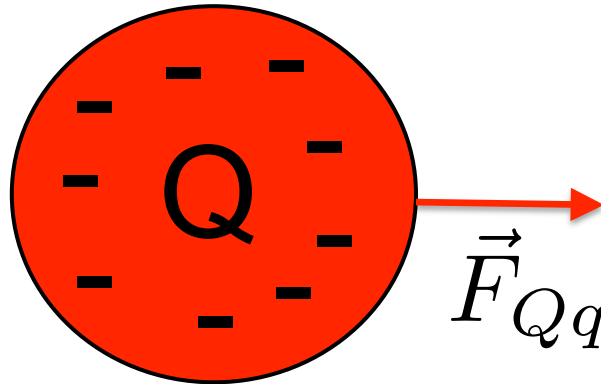
... beherrscht das Universum.



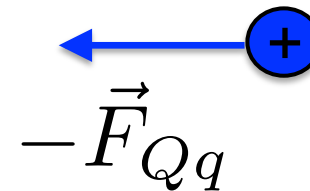
- Im Labor (Hörsaal) nicht einfach zugänglich.
- Gravitation ist “schwach”.

# Elektrostatische Kräfte

negative Ladung:  $Q < 0$



positive Ladung:  $q > 0$



## Das Coulombsche Kraftgesetz

$$\vec{F}_{Qq} = G_c \cdot \frac{Q \cdot q}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$

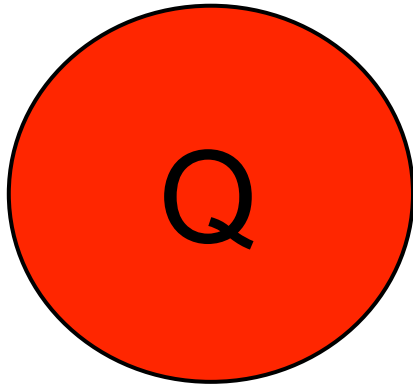
Ladungen verschiedenen Vorzeichens ziehen sich an.

Ladungen gleichen Vorzeichens stoßen sich ab.

# Das elektrische Feld

Grundsätzlich könnte man alle elektrostatischen Probleme mit dem Coulomb-Gesetz behandeln.

Aber häufig: asymmetrische Situation



große ortsfeste, statische Ladung



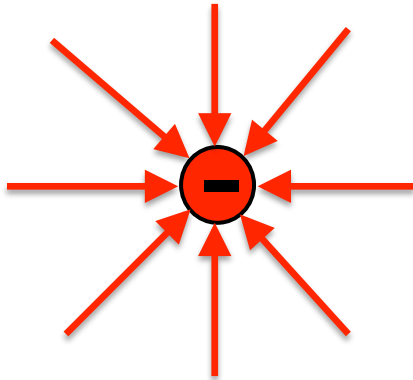
kleine Probeladung

Physikalische Beschreibung wird durch Einführung des Feldbegriffs vereinfacht:

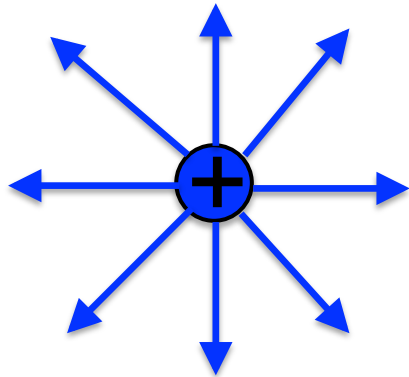
$$\vec{E}_Q(\vec{r}) := \frac{\vec{F}_{Qq}}{q} = G_c \cdot \frac{Q}{r^2} \cdot \vec{e}_r$$

Q = felderzeugende Ladung

# Das elektrische Feld



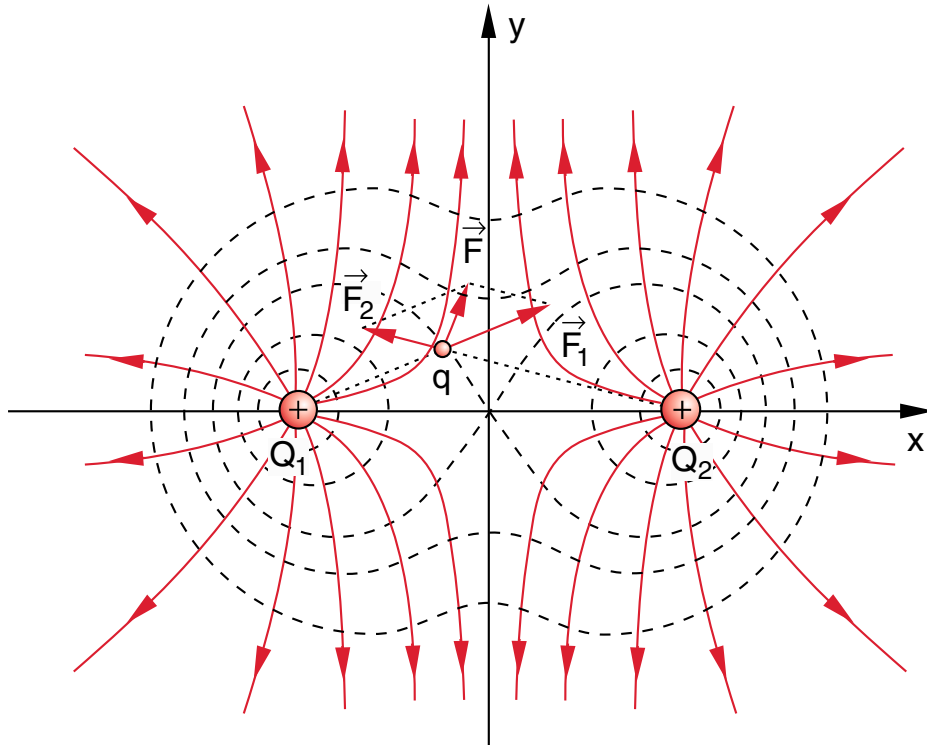
Feldlinien



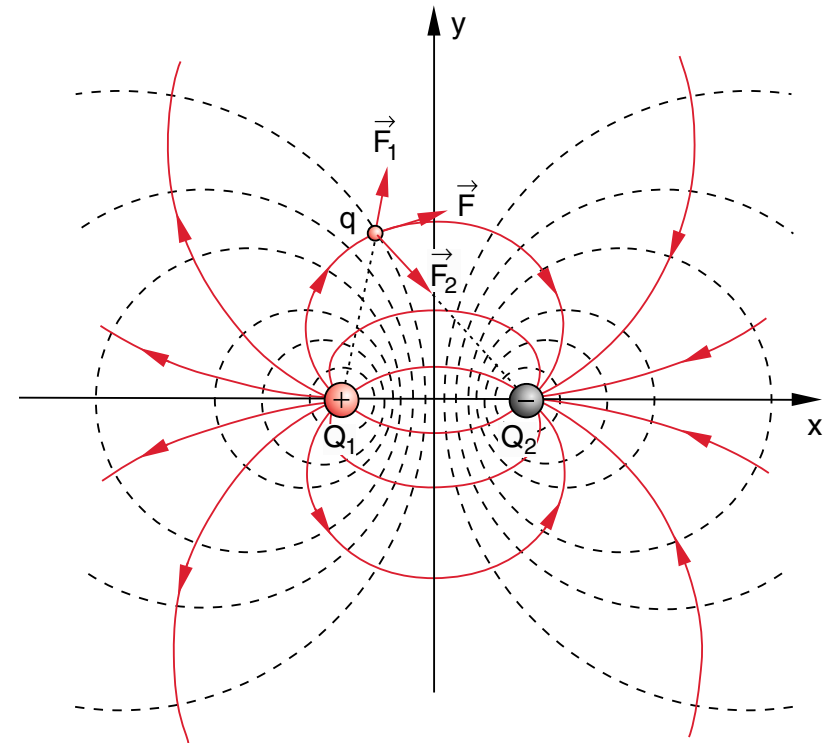
- **Methode** um Kraft zu veranschaulichen, die die felderzeugende Ladung  $Q$  auf die Probeladung ausübt.
  - Man sagt  $Q$  **erzeugt ein Kraftfeld**.
  - Punktladung erzeugt Zentralkraftfeld.
  - **Feldlinien**: Zeichne Feldvektoren an jedem Ort ein und verbinde sie.
  - Feldlinien verlaufen von positiven hin zu negativen Ladungen. Die Ladungen bilden die Enden der Feldlinien bzw. die **Quellen** oder **Senken** des elektrischen Feldes.
  - Das Feld **verändert den leeren Raum**, der nun nicht mehr „leer“ ist, sondern vom Feld erfüllt.
  - Dem Raum wird eine Energiedichte zugeschrieben.
- ➔ Experiment: Bandgenerator und Metallkugel

# Elektrische Feldlinien eines Dipols

gleiches Ladungsvorzeichen

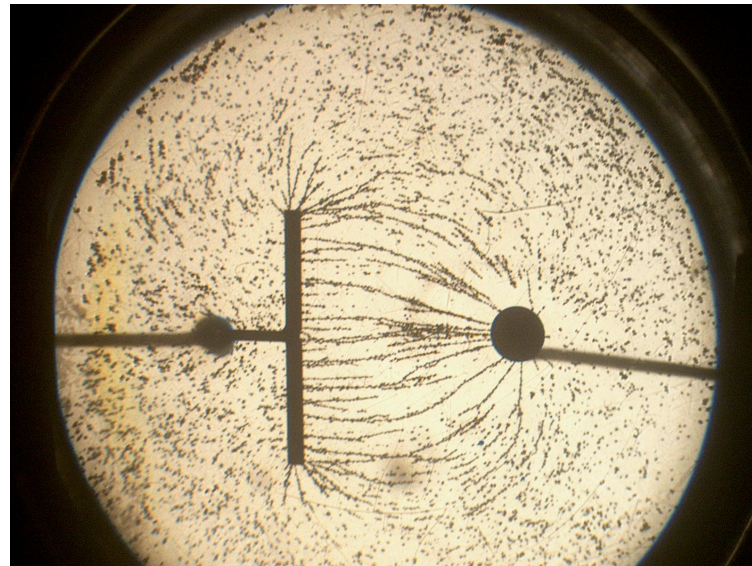
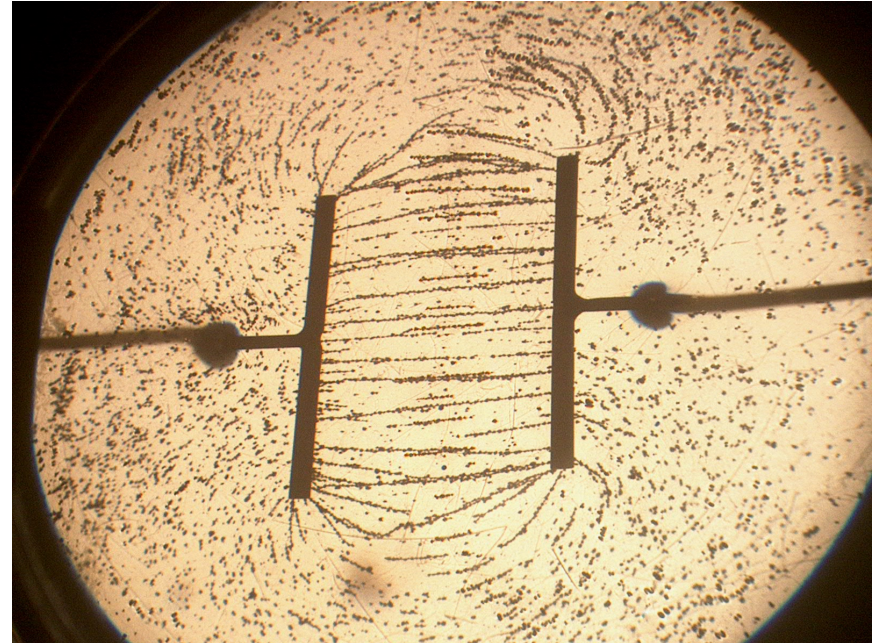
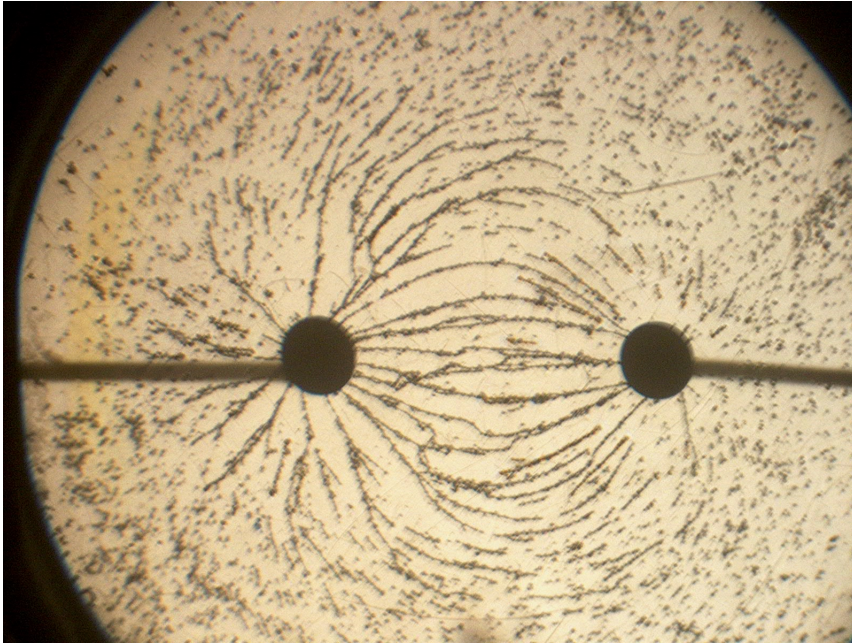


entgegengesetztes Ladungsvorzeichen



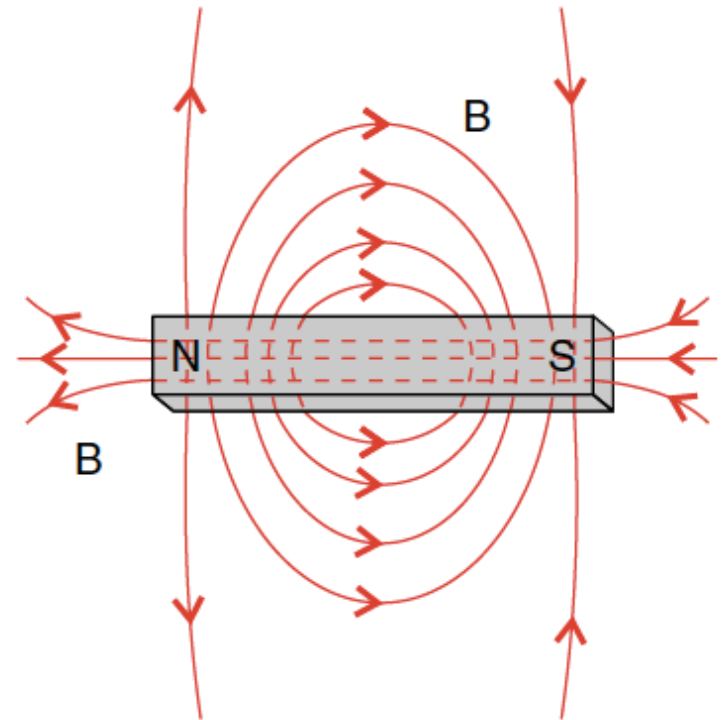


# Experiment: Elektrische Feldlinien

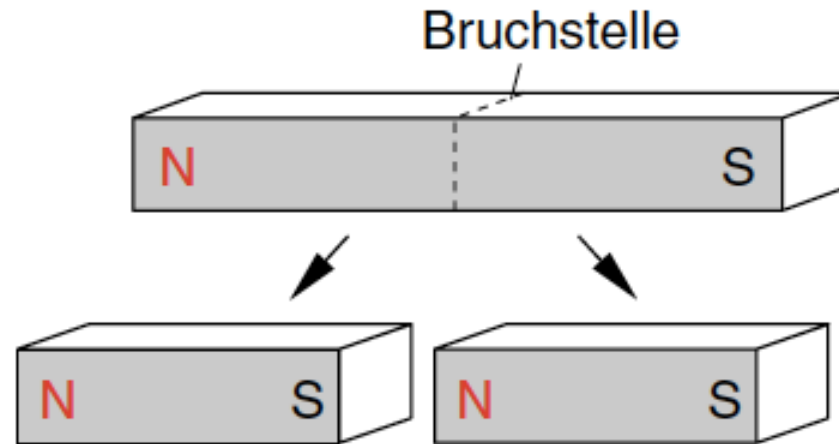


# Magnetismus

- Permanentmagnete:  
magnetische Gesteine seit Altertum,  
China bekannt
- Magnetit =  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$
- Eisen lässt sich magnetisieren
- Magnetnadel hat Pole: N, S
- Gleichnamige Pole stoßen sich ab,  
ungleichnamige ziehen sich an.



# Untrennbarkeit der Magnetpole

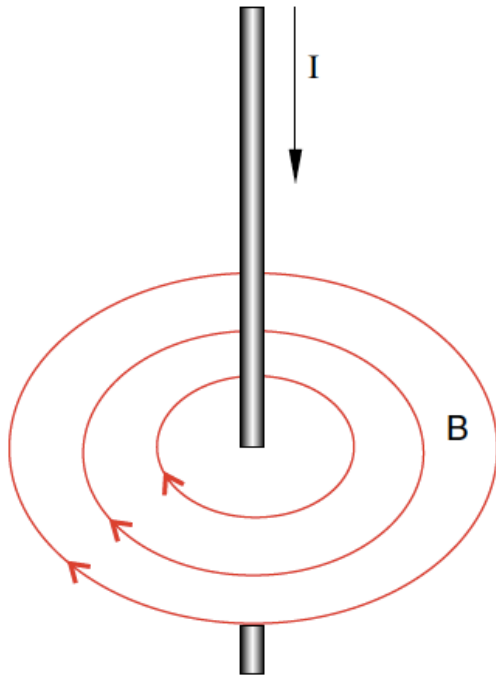


- Es existieren keine magnetischen Monopole.
  - Grundsätzlich sind mag. Monopole in der Quantenelektrodynamik (QED) nicht ausgeschlossen, aber es wurden bisher keine gefunden.
- **Magnetpole sind keine magnetischen Ladungen.**

# Magnetfelder stationärer Ströme

Oersted 1820:

Magnetismus tritt immer dann auf, wenn elektrischer Strom fließt.



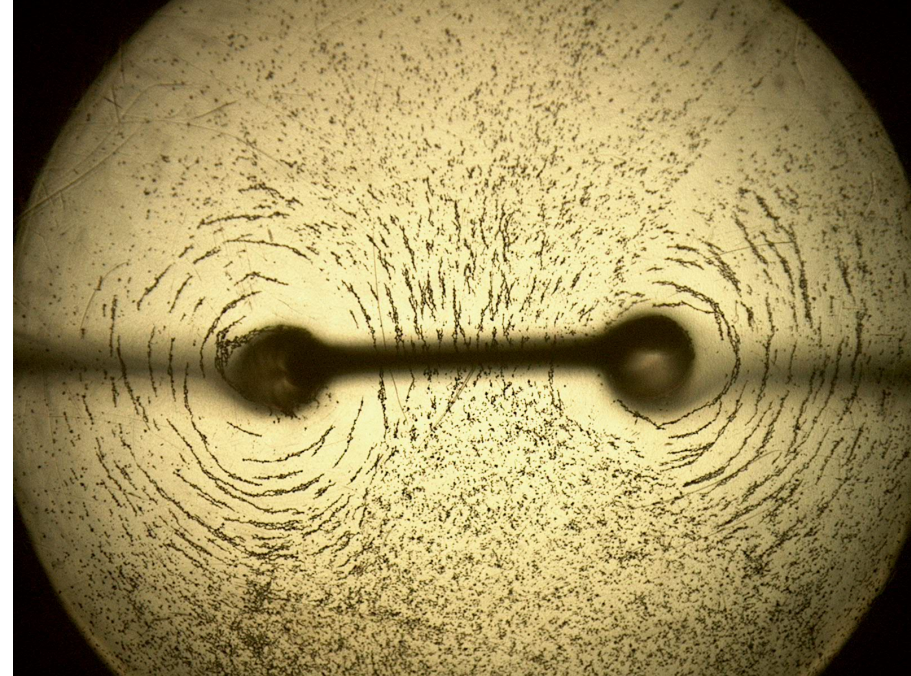
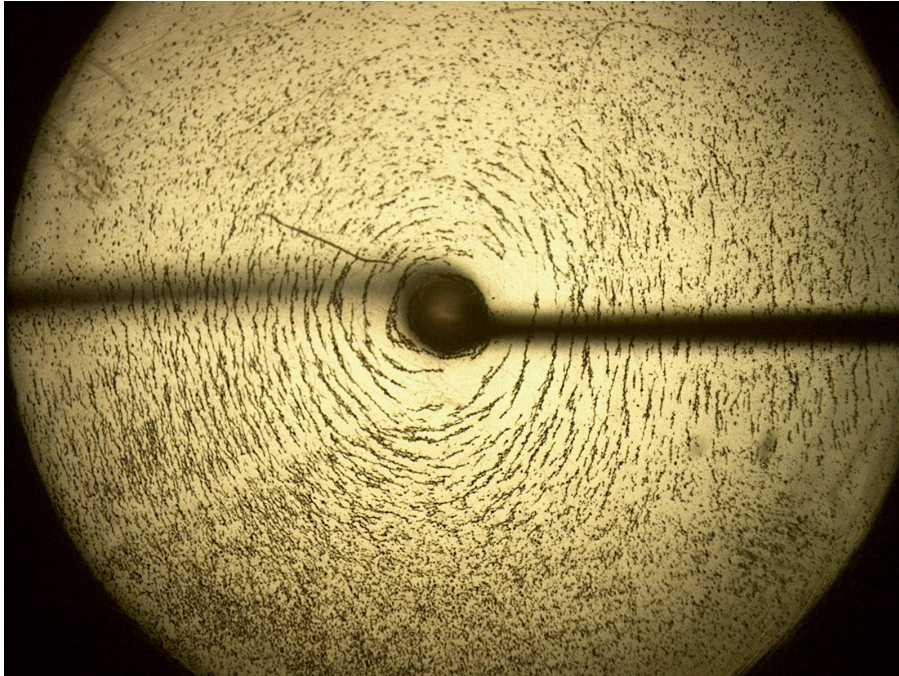
- Magnetische Feldlinien sind immer geschlossen, auch bei Permanentmagneten.
- Richtungskonvention: Rechte-Hand-Regel in Bezug auf Stromrichtung

**Abb. 3.5.** Magnetfeldlinien um einen geraden stromdurchflossenen Draht



Hans Christian Oersted  
1777 - 1851

# Experiment: Magnetische Feldlinien

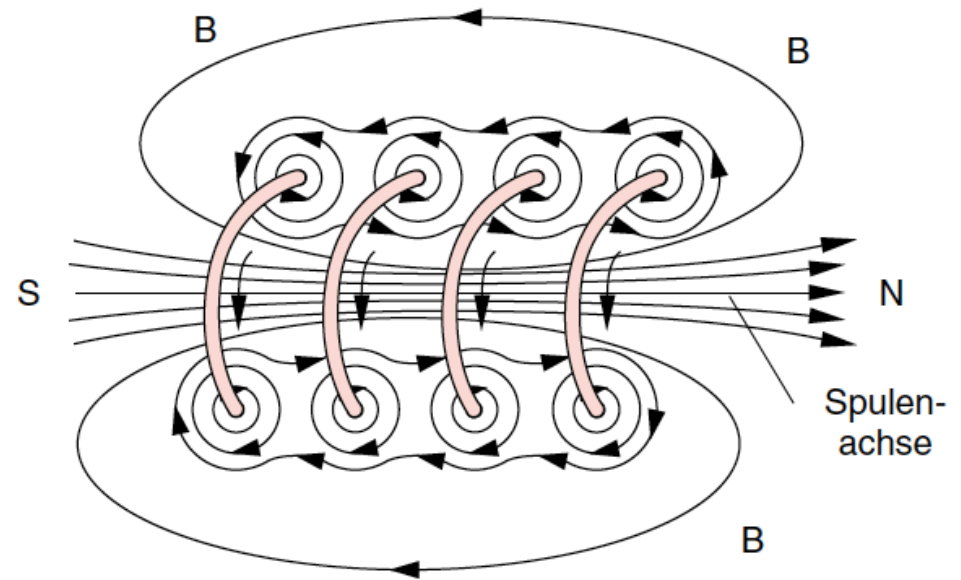
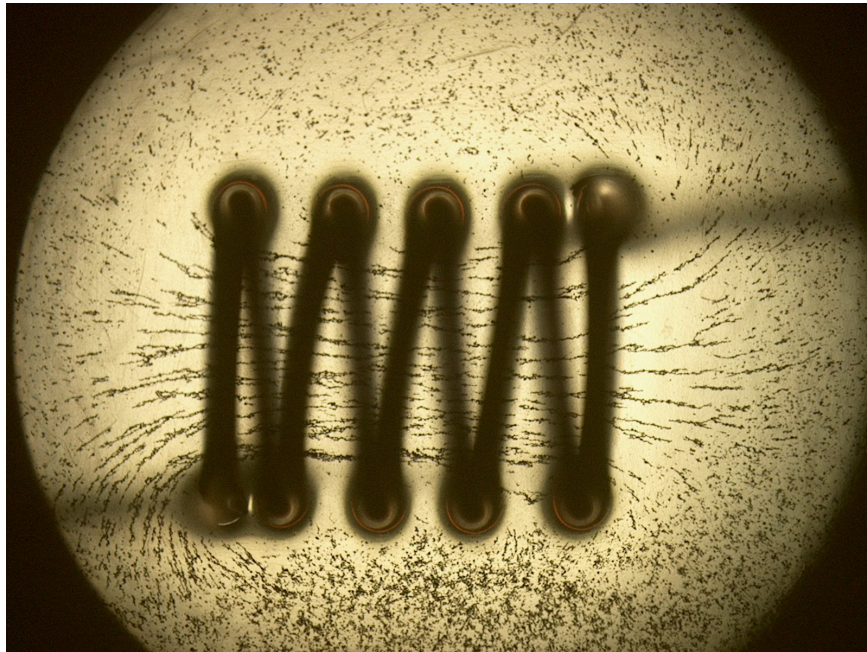


- Magnetisches Feld:  $\vec{B}$  = magnetische Feldstärke

Einheit = V s / m<sup>2</sup> = Tesla = T

- Keine magnetische Ladungen = magnetische Feldlinien sind geschlossen, d.h. haben keinen Anfang und kein Ende.
- Magnetfeld ergibt sich aus der korrekten, relativistischen der Coulombkraft.

# Experiment: Magnetfeld einer Spule



**Abb. 3.6.** Magnetfeld einer stromdurchflossenen langen Zylinderspule

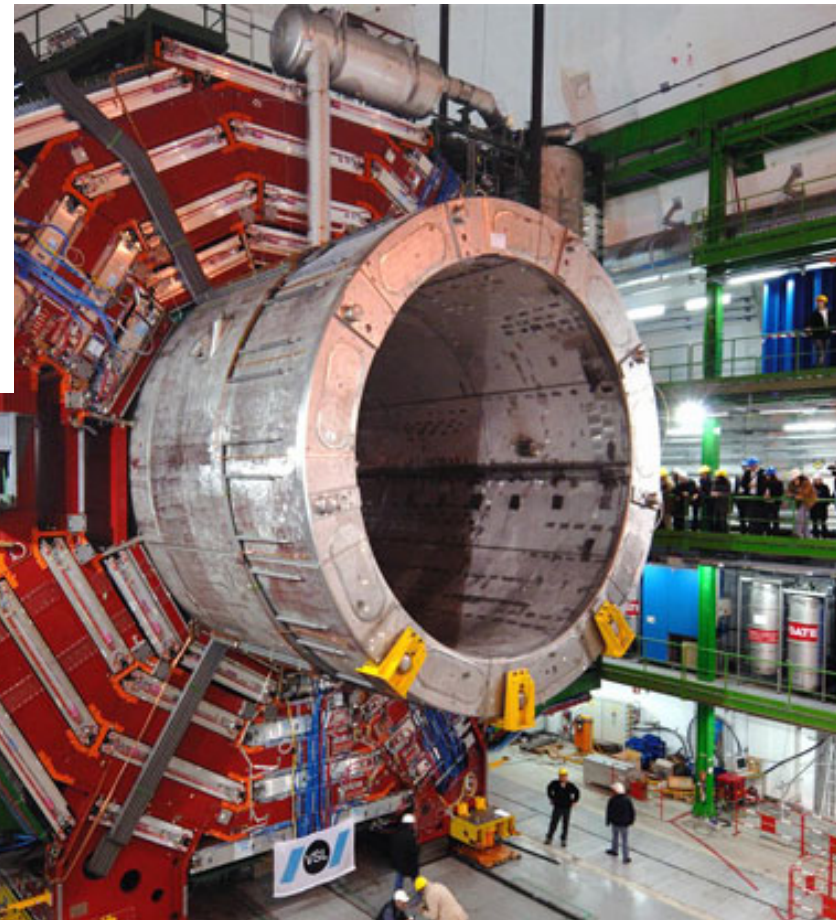
Bildquelle: W. Demtröder, Experimentalphysik 2

# Anwendungen von Solenoidmagneten

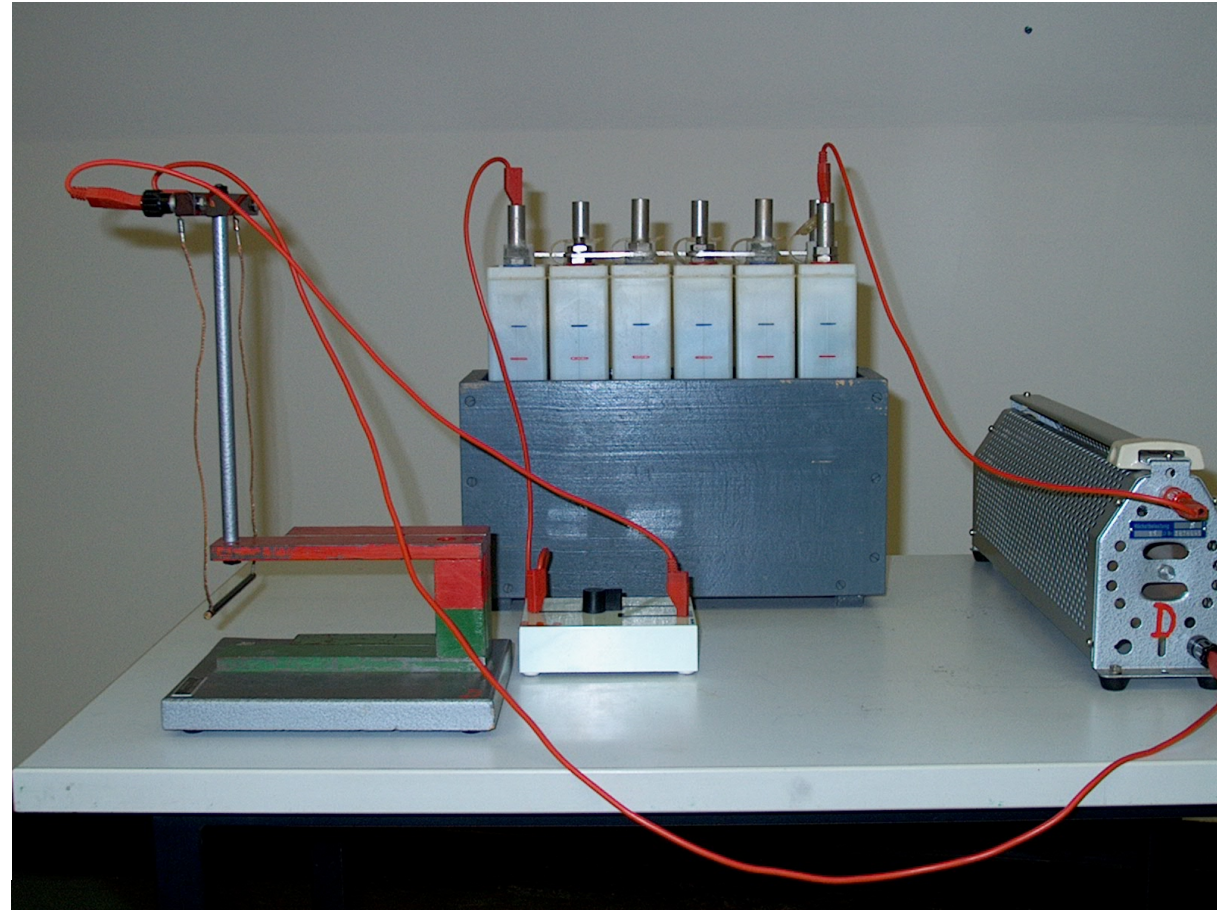
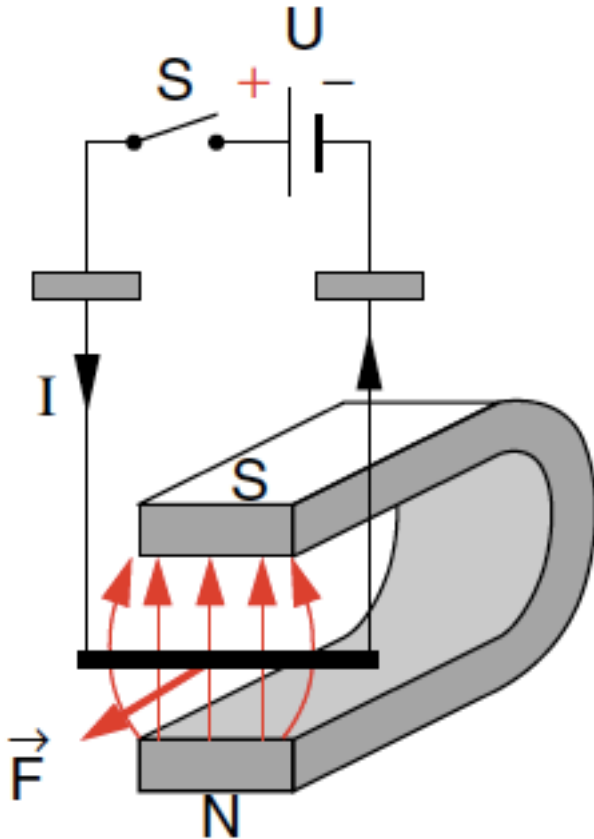


Kernspintomographie  
(Magnetresonanztomographie)

Großer Magnet der Spurkammer  
des CMS-Experiments am CERN



# Experiment: Stromschaukel



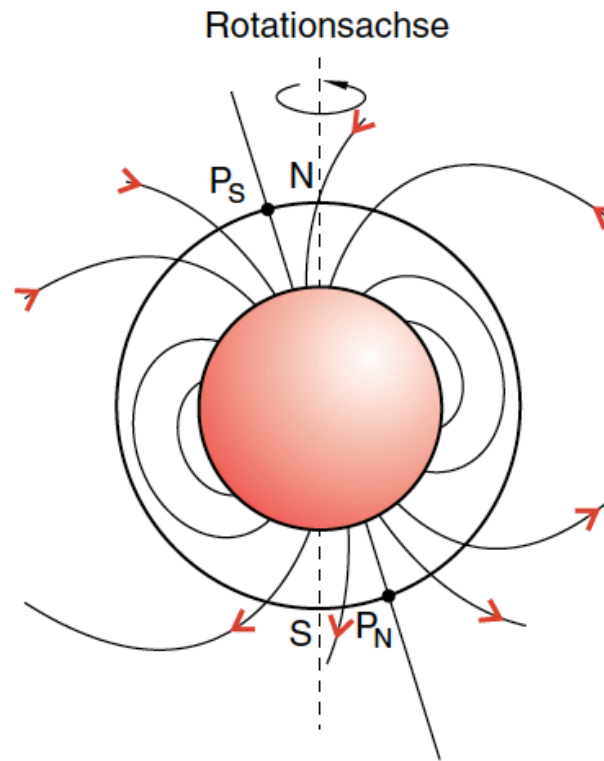
Bildquelle:  
W. Demtröder, Experimentalphysik 2



# Das Erdmagnetfeld

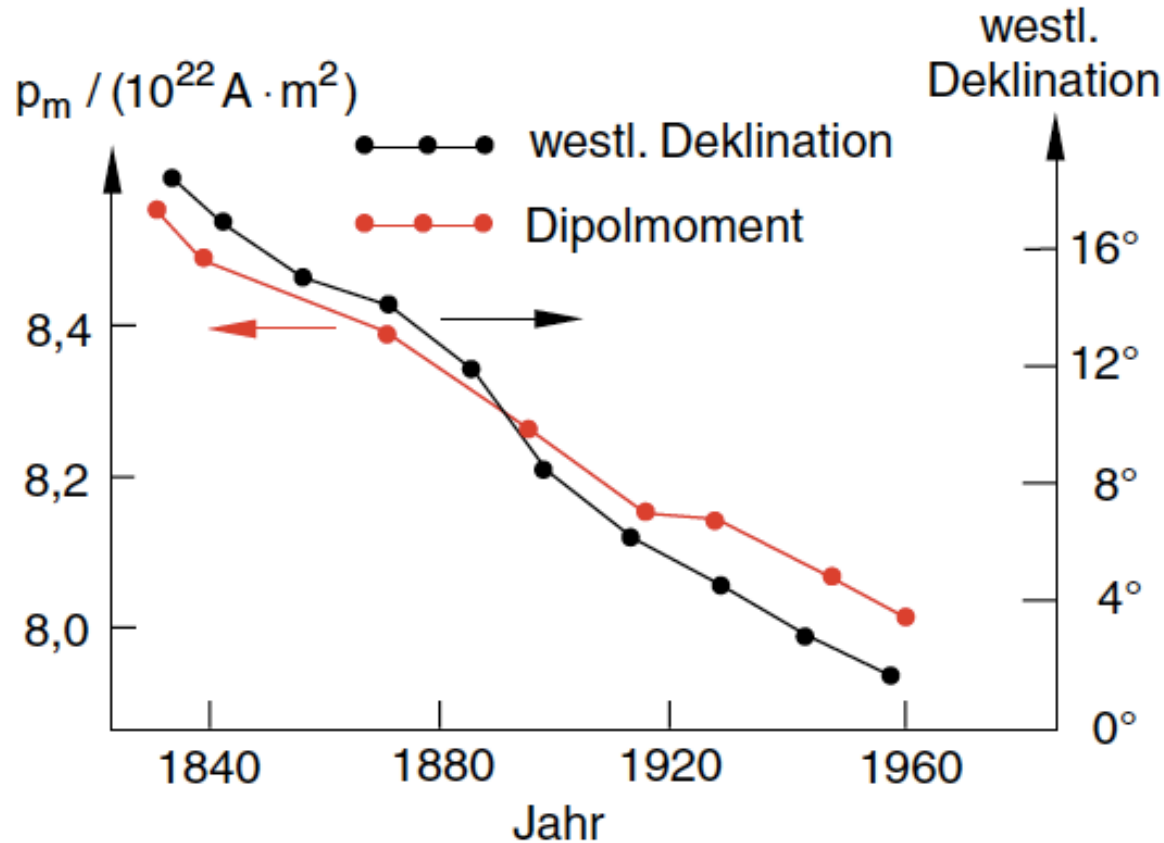
- Ist näherungsweise ein Dipolfeld mit  $\mu = 8 \cdot 10^{22} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ .
- Magnetfeldstärke  $B \approx 0,5 \text{ G} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ T}$
- Ursache des Erdmagnetfeldes: elektrische Ströme im flüssigen Erdinneren.
- Verstärkung des Magnetfeldes aufgrund der Trennung von Ladungsträgern durch die Lorentzkraft

→ **Dynamoprinzip**



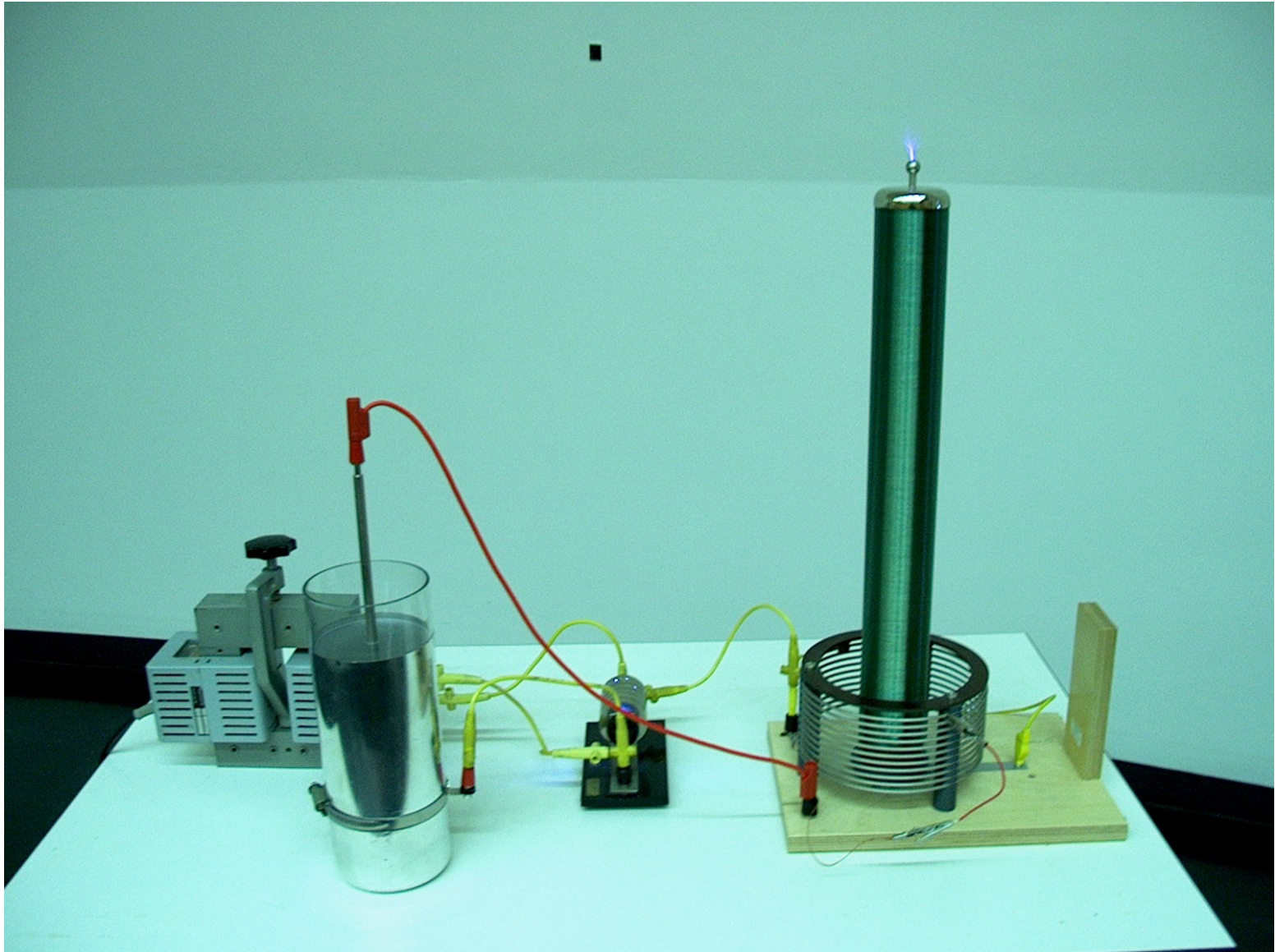
**Abb. 3.55.** Erdmagnetfeld. Die Quellen des Feldes liegen im inneren Teil der Erde, die äußeren Schichten tragen kaum dazu bei. Die Durchstoßpunkte  $P_N$ ,  $P_S$  der Dipolachse durch die Erdoberfläche heißen geomagnetische Pole

# Zeitliche Veränderung des Erdmagnetfeldes



**Abb. 3.57.** Zeitliche Änderung von Stärke und Richtung des Erdmagnetfeldes in Frankfurt

# Experiment: Tesla-Transformator



# Kraftfelder

- Elektrische und magnetische Felder
- Konstrukt zur Beschreibung von Kräften zwischen Ladung (Coulombkraft)
- Kraftfeld erfüllt leeren Raum
- Elektrische Ladungen sind Quellen und Senken des (statischen) elektrischen Feldes.
- Magnetische Feldlinien sind geschlossen, keine magnetische Ladungen.

Hintergrundbild: In aktiven Galaxienkernen treten in Schockfronten elektrische Felder auf, die als kosmische Beschleuniger wirken.