

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät

Institut für Chemie

Abteilung Anorganische Festkörperchemie

Prof. Dr. Martin Köckerling

Vorlesung

Anorganische Chemie VI – Materialdesign

Heute: Magnetismus

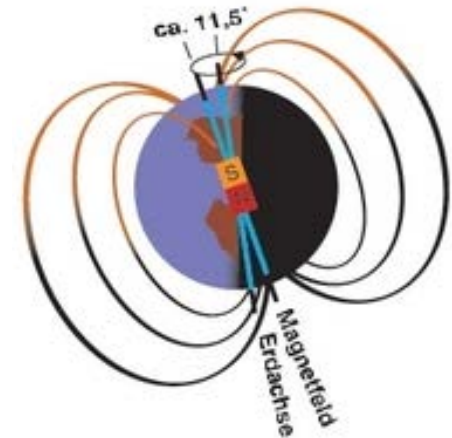


Gliederung

- Magnetismus
- Elektromagnetismus
- Definitionen
- Arten Magnetismus
- Ferrite
- Dauermagneten
- Magnetschwebebahn

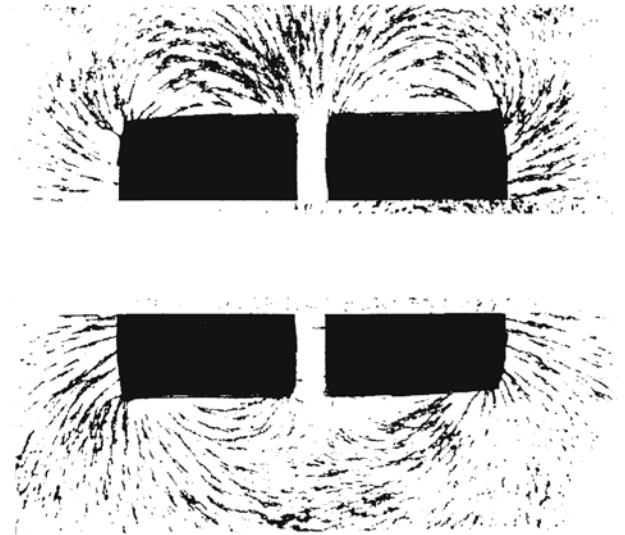
Magnetismus

- Magnetismus der, die Lehre vom Magnetfeld und dem Verhalten der Stoffe und Körper in ihm
- Auffälligste Merkmale: Kräfte und Drehmomente
- Entspricht Ferromagnetismus (Eisen)
- Typisches Beispiel: Kompass
- 1778 Brugmans: Bestimmte Materialien werden vom Magnetfeld abgestoßen
- Einteilung in diamagnetisch und paramagnetisch bereits 1845 durch Faraday



Elektromagnetismus

- Ursache magnetischen Erscheinungen: Bewegte elektrische Ladungen/Felder
- Zeitlich ändernder elektrischer Strom: elektrische Spannung oder Strom im Leiter
- Auch zeitlich konstantes Magnetfeld induziert eine Spannung
- Ausgeübte Kraft ist die Lorentz-Kraft



Definitionen

- Magnetisches Moment - Maß für die Stärke eines magnetischen Dipols
- Magnetische Permeabilität - Durchlässigkeit von Materie für magnetische Felder
- Magnetische Suszeptibilität - Magnetisierbarkeit von Materie in einem externen Magnetfeld

Magnetisches Moment μ einiger Elementarteilchen

Elementarteilchen	Bezeichnung	$\mu / (\text{JT}^{-1})$
Elektron	μ_e	$-9,284.763.77(23) \cdot 10^{-24}$
Myon	μ_μ	$-4,490.477.86(16) \cdot 10^{-26}$
Proton	μ_p	$1,410.606.662(37) \cdot 10^{-26}$
Neutron	μ_N	$-0,966.236.41(23) \cdot 10^{-26}$

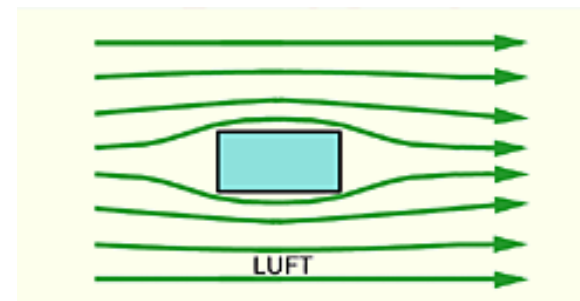
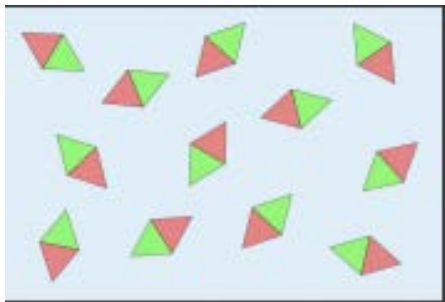


Arten von Magnetismus

- Diamagnetismus
- Paramagnetismus
- Ferromagnetismus
- Ferrimagnetismus
- Antiferromagnetismus

Diamagnetismus

- Diamagnete werden durch ein externes Magnetfeld so magnetisiert, dass sich das Magnetfeld in ihrem Innern abschwächt und diamagnetische Materialien dementsprechend die Tendenz haben, aus einem inhomogenen Magnetfeld heraus zuwandern.
- Eigenschaften: keine magnetische Ordnung, magnetische Suszeptibilität < 0
- Beispiele: Kohlenstoff, Bismut, Supraleiter

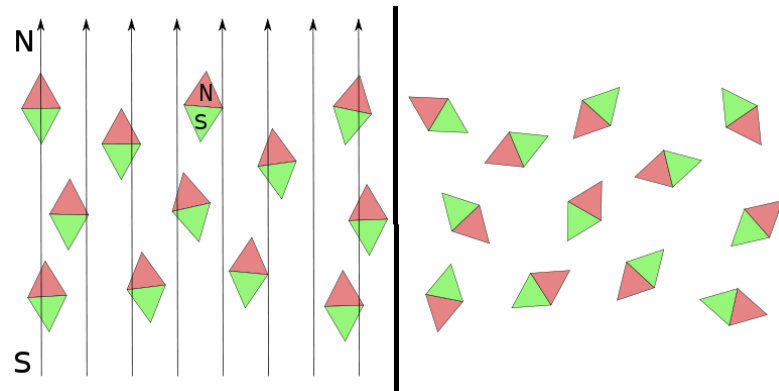
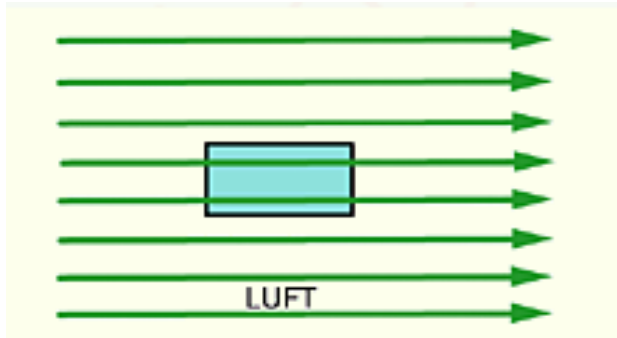


Diamagnetismus

- Universelle Eigenschaft der Materie, da immer gepaarte Elektronen vorhanden sind
- Resultat ist eine schwache Abstoßung von einem äußeren Magnetfeld durch Abnahme der Feldliniendichte im Inneren der Probe
- Spin des Elektrons besitzt magnetisches Moment

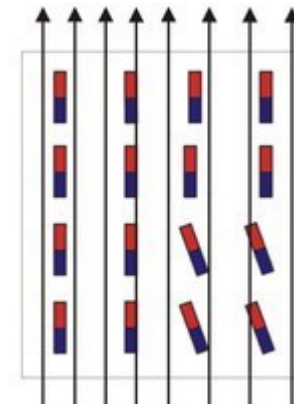
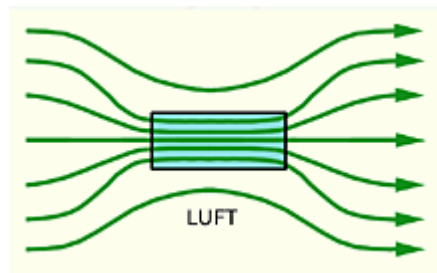
Paramagnetismus

- magnetisch, so lange Magnet in der Nähe
- Magnetisierung im externen Magnetfeld
- Magnetische Permeabilität >1 , magnetische Suszeptibilität >0
- Beispiele: O_2



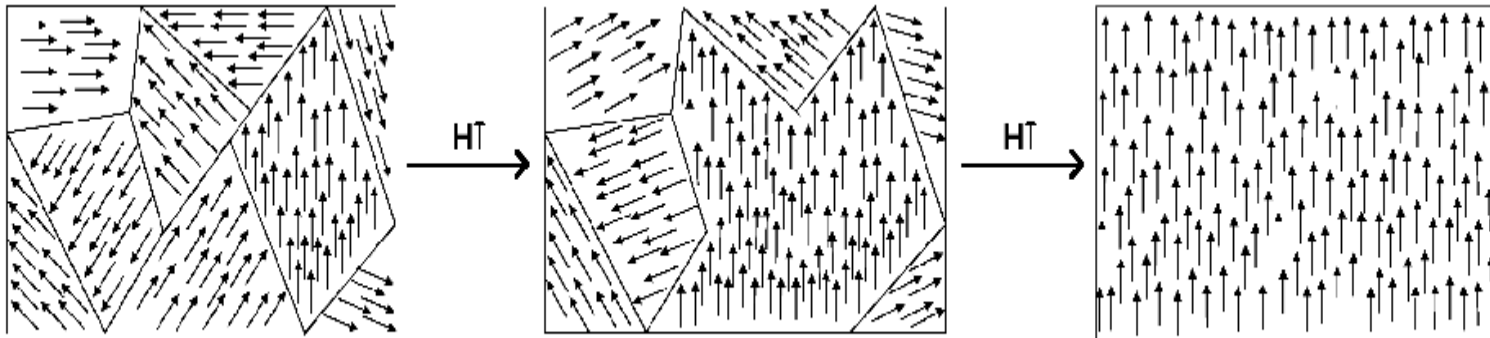
Ferromagnetismus

- Magnetisierung im externen Magnetfeld
- Tendenziell ins Magnetfeld gezogen
- Erhaltung magnetisches Moment bis zur Curie-Temperatur
- Teil der Magnetisierung bleibt nach Abschaltung des externen Magnetfeldes erhalten im Unterschied zum Paramagnetismus
- Magnetische Permeabilität $\gg 1$
- Merkmal: Weiss-Bezirke
- Beispiele: Eisen, Kobalt, Nickel



Weiss-Bezirk

- Kleine Bereiche gleicher Spinausrichtung im Kristall



Antiferromagnetismus

- magnetisches Moment innerhalb Weiss-Bezirk abwechselnd antiparallel und parallel zueinander
- Summe aller magnetischen Momente = 0 → nicht nach Außen magnetisch
- Ausbildung eines magnetischen Moments im externen Magnetfeld
- Erhaltung magnetisches Moment bis zur Néel-Temperatur
- Beispiel: Ferrite, z.B. Hämatit, Fe_2O_3

Ferrimagnetismus

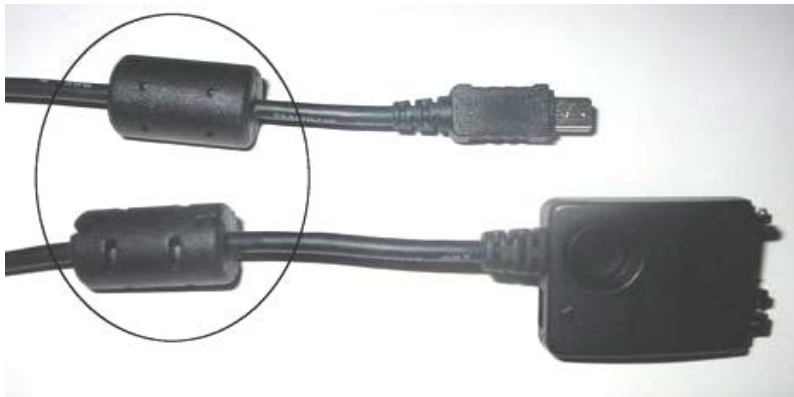
- Unterteilt in Weiss-Bezirke
- Bezirke untereinander verschiedene Winkel zu einander → Magnetisierung $\neq 0$
- Oberhalb Néel-Temperatur paramagnetisch
- Beispiele: Mn, Cr, MnO, MnS, FeO

Ferrite

- Ungesättigt: elektrisch schlecht oder nicht leitende keramische Materialien
- Gesättigt: sehr guter magnetischer Fluss
- Eisenoxid Hämatit (Fe_2O_3), seltener aus Magnetit (Fe_3O_4)
- hohe magnetische Permeabilität → kleiner magnetischer Widerstand

Weichmagnetische Ferrite

- Zusatz von Nickel, Zink oder Mangan-Verbindungen
- Ferritkerne in Spulen, Drosseln und Transformatoren
- Magnetköpfe in Tonbandgeräten (Löschkopf), Videorecordern, Computer-Festplatten und Diskettenlaufwerken



Hartmagnetische Ferrite

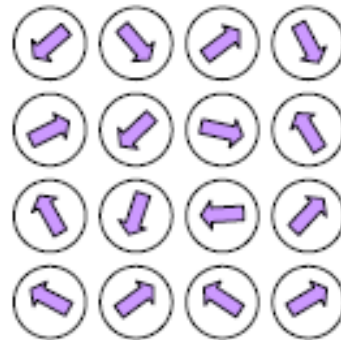
- zusätzlich zum Eisenoxid Barium und Strontium
- Magnetisierbare Beschichtung auf Ton- und Videobändern (hier nicht keramisch gebunden), Dauermagnete aller Art, z. B. Magnetsegmente in permanentmagnetisch erregten Elektromotoren, in Lautsprechern



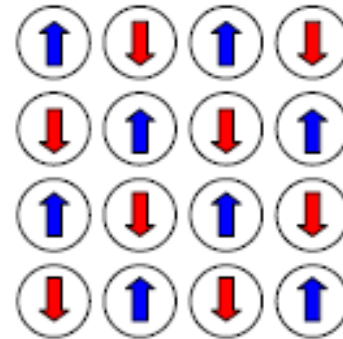
Dauermagnet

- Legierung aus Eisen, Nickel mit Zusätzen von Kobalt, Mangan, Kupfer
- Herstellung über Sinterverfahren
- besitzen an Oberfläche je einen oder mehrere Nord- und Südpol(e)
- Beispiele: Kompassnadeln, Festplattenlaufwerke, Sensoren

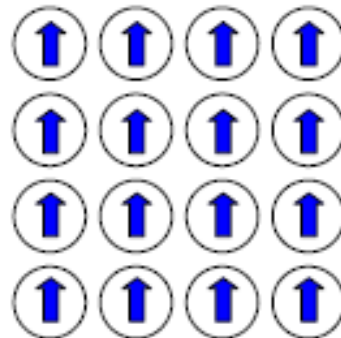




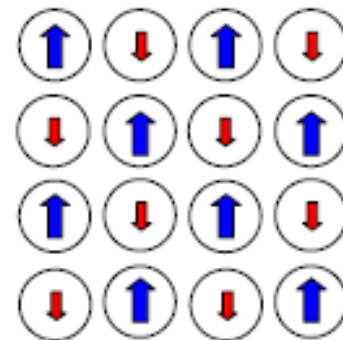
Paramagnetic



Antiferromagnetic

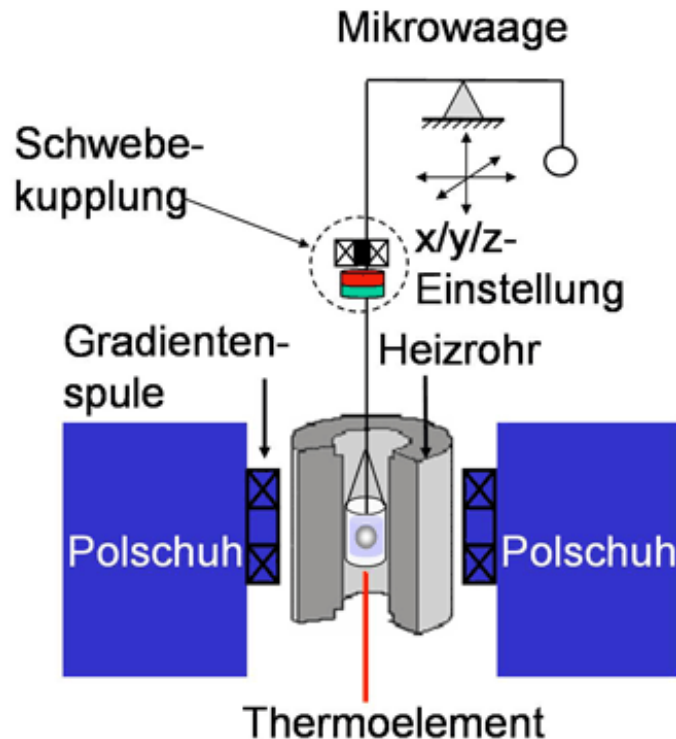


Ferromagnetic



Ferrimagnetic

Messung magnetischer Suszeptibilitäten



- Faraday Waage:
 - Messung der Kraft, die auf Probe im inhomogenen Magnetfeld wirkt
 - Messen des Gewichts der Probe mit und ohne Feld
 - Wenige Milligramm Probe
 - Spezifische χ zugänglich

Kraftwirkung auf Probe:

$$f = m \cdot \chi \cdot H_0 \cdot \left(\frac{\partial H}{\partial x} \right)$$

- Vereinfachung durch Messen eines Standards bekannter Suszeptibilität ($\text{Hg}[\text{Co}(\text{SCN})_4]$)
- Gleiche Magnetfeldstärke und Feldgradient beim Messen der Probe und des Standards:

$$\chi_u = \frac{f_u m_s \chi_s}{f_s M_u}$$

- aus χ kann die Anzahl der ungepaarten Elektronen pro Molekül/Ion berechnet werden (nach Abzug diamagnetischer Beiträge)

- Gouy-Methode:

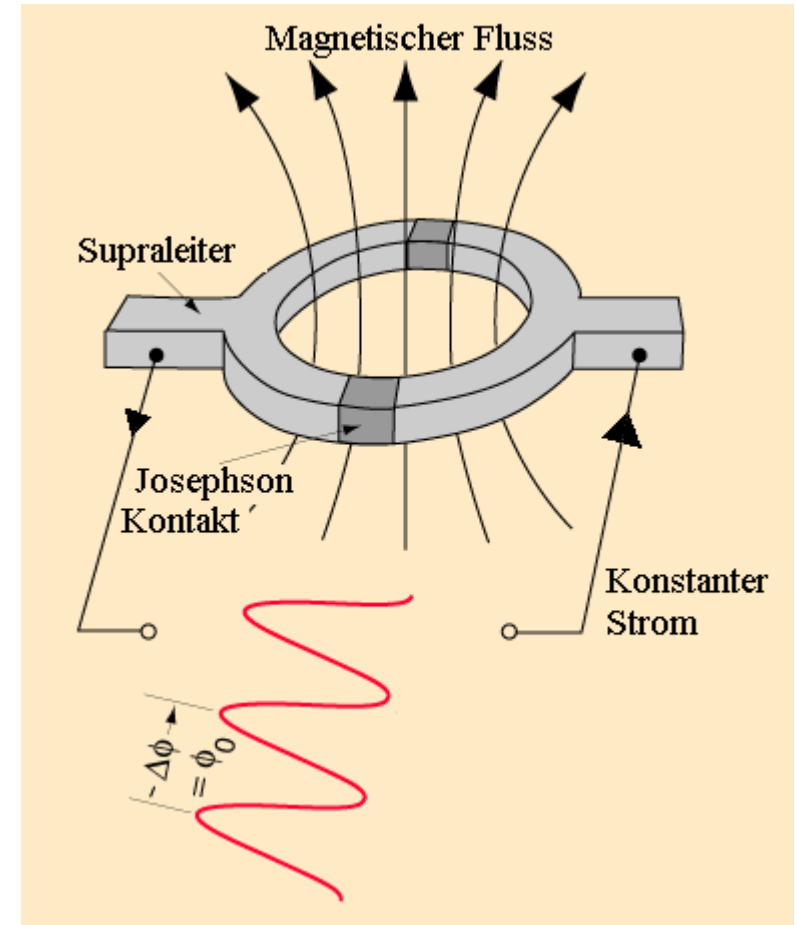
- Sehr ähnlich der Faraday-Methode (gleicher Aufbau)
 - Aber homogenes Magnetfeld
- Probe darf sich nur zum Teil im Magnetfeld befinden → Inhomogenität

Nachteile:

- Größere Menge Probe (ca. 1 g)
- Volumenssuszeptibilität wird erhalten
- Umrechnung in χ_{spez} auf Grund der oftmals schwer zu bestimmenden Dichte (Hohlräume) kompliziert

- Squid-Methode:
 - **SQUID** ist die Abkürzung für englisch *superconducting quantum interference device* (dt. *supraleitende Quanteninterferenzeinheit*).

Ein SQUID ist ein Sensor zur sehr präzisen Messung extrem geringer Magnetfeldänderungen.







Magnetic Ordering in Solids

- Diamagnetism: No unpaired e^-
- Paramagnetism: Unpaired e^- , disordered and fluctuating
- Ferromagnetism: All unpaired e^- spins aligned parallel
- Antiferromagnetism: Unpaired e^- aligned antiparallel
- Ferrimagnetism: Unpaired e^- aligned antiparallel but don't fully cancel out

Vergleich der magnetischen Eigenschaften

Eigenschaft	Wirkung eines äußeren Feldes	χ_s bei 20 °C (cgs-Einheit) g	Temperaturabhängigkeit von χ	Feldabhängigkeit von χ
Diamagnetismus	schwache Abstoßung	$-1 \cdot 10^{-6}$	keine	keine
Paramagnetismus	mäßig starke Anziehung	$1 \cdot 10^{-4}$	1/T	keine
Ferromagnetismus	sehr starke Anziehung	$1 \cdot 10^{-2}$	komplex	hängt ab
Antiferromagnetismus	schwache Anziehung	$1 \cdot 10^{-7}$ bis $1 \cdot 10^{-5}$	komplex	hängt ab

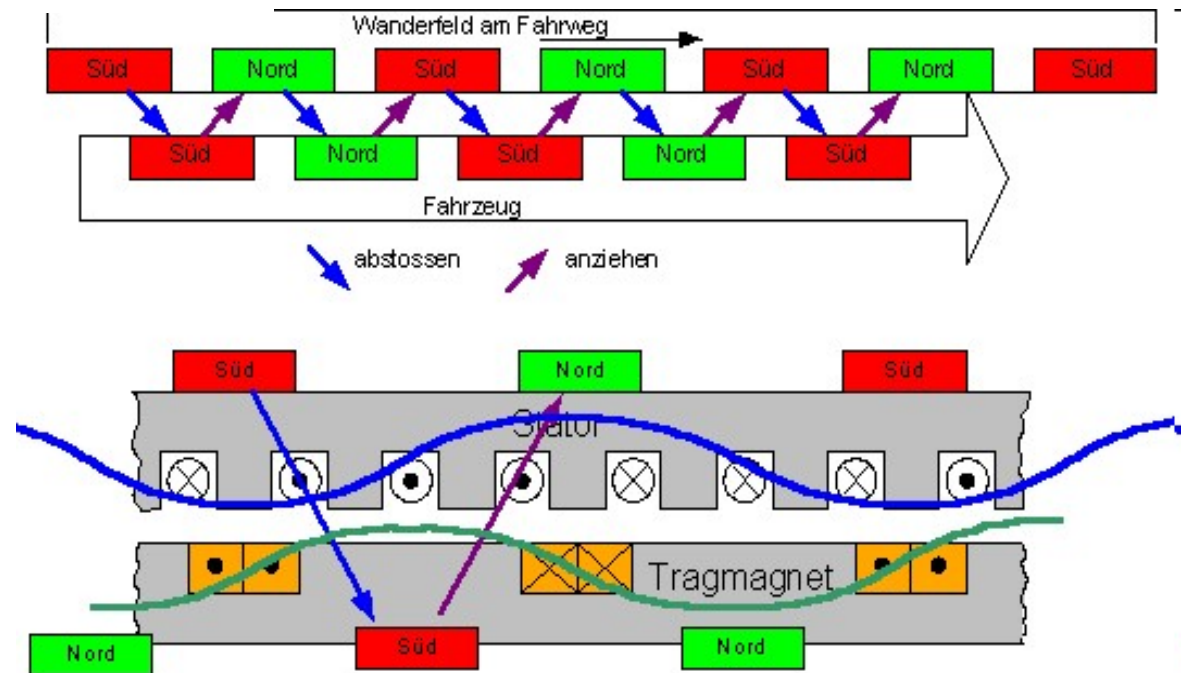
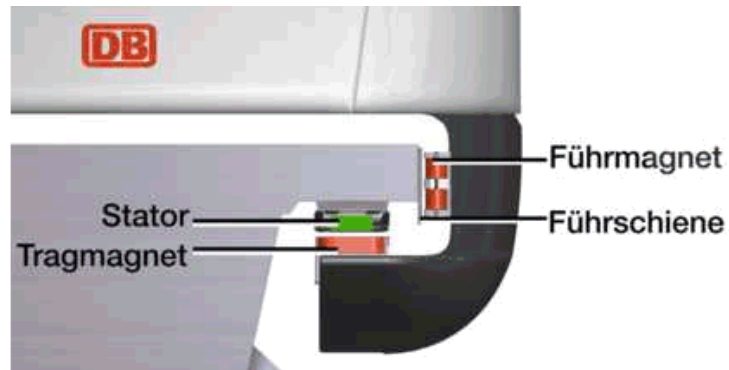
Magnetschwebebahnen

- Nutzung von Magnetfeldern zur Bewegung bei sparsamen Energieverbrauch
- freies „Schweben“ und gleichzeitige Fahrbewegung mit statischen und geregelten Magnetfeldern erst möglich, seit hinreichend schnelle und effiziente dynamische Regelungen existieren
- Unterscheidung elektromagnetisch schwebenden und elektrodynamischen schwebende Bahnen

Elektromagnetisch schwebende Bahnen

- Anziehungskräfte von Elektro- oder Permanentmagneten bewirken das Tragen und Führen des Fahrzeugs
- Beispiele: Transrapid

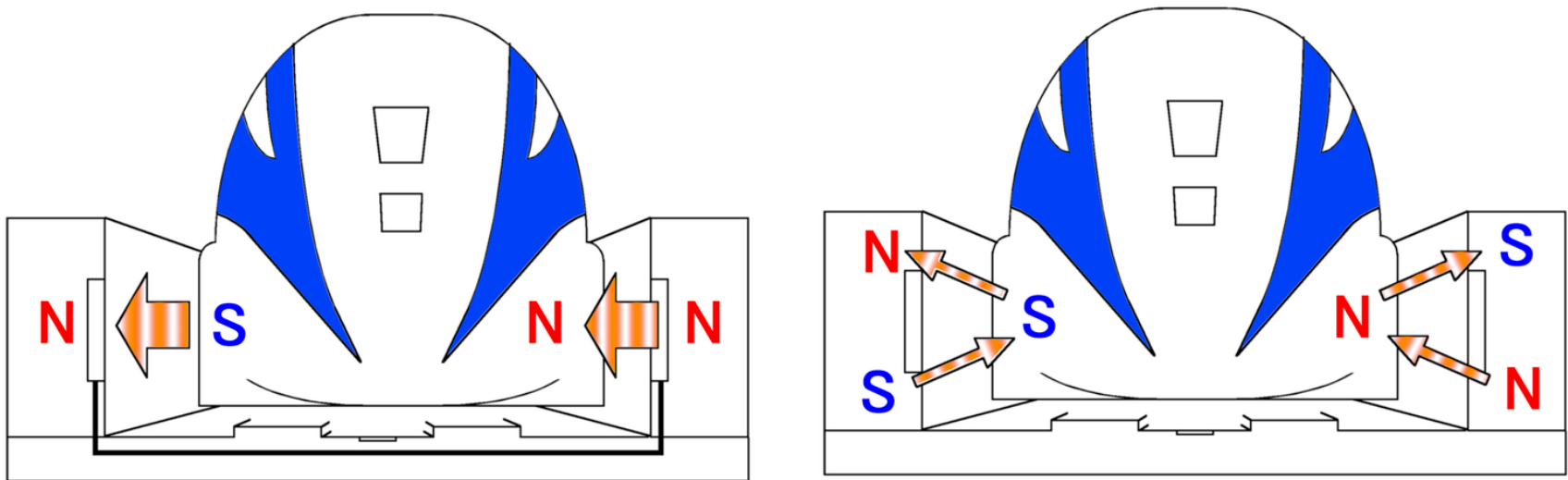




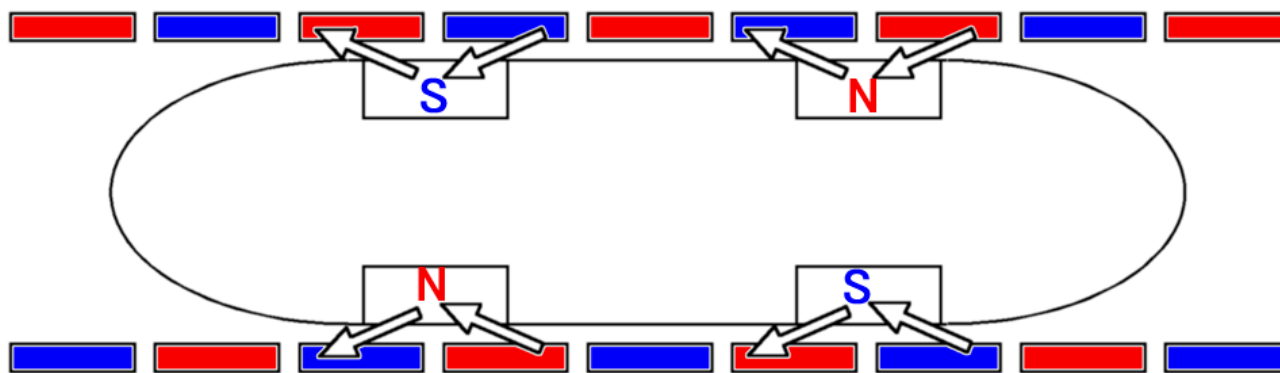
Elektrodynamischen schwebende Bahnen

- während schneller Fahrt durch magnetische Wechselfelder in Spulen innerhalb des Fahrzeugs Ströme induziert, Erzeugung Gegenfeld für Tragfunktion
- Maglev





Links: Führungssystem; Rechts: Schwebesystem





UNIVERSITÄT ROSTOCK

Maglev – Shanghai / China

