

# Magnetit in der Biochemie

Bildung und Funktion



Ann-Christine Nemann

## Inhalt

---

- › Magnetit
- › Magnetsinn von Tieren
- › Das Erdmagnetfeld
- › Versuche zum Magnetsinn
- › Formen der Magnetfeldwahrnehmung
- › Biogener Ferrimagnetismus
- › Magnetotaktische Bakterien
- › Magnetit in Taubenschnäbeln
- › Magnetsinn bei Tauben
- › Rezeption durch Magnetit

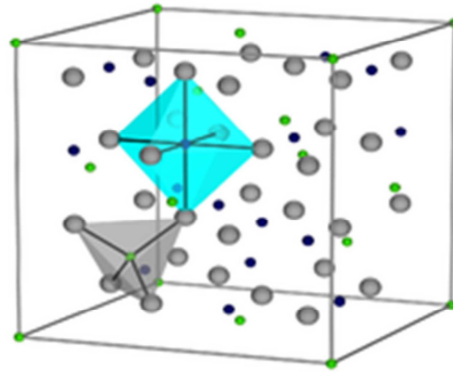
## Magnetit

---

- › liegt als Mineral in Böden und Steinen vor
- › als Magnetsand in Flusssedimenten und an Stränden
  
- › Vorkommen in Lebewesen:
  - › in Käferschnecken
  - › in Bakterien
  - › in Bienen
  - › in Fischen
  - › in Vögeln

## Magnetit

- › Strukturformel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$ )
- › auch Magneteisen, Magneteisenstein genannt
- › kubisch, inverser Spinell
- › Dichte von  $5,1 \text{ g/cm}^3$
- › Ferrimagnetisch
- › hohe Leitfähigkeit



<http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetit>

## Biogenes Magnetit

› erstmals 1962 in Käferschnecken von Lowenstam entdeckt

- › gehören zur Gruppe der Stachelweichtiere
- › leben ausschließlich im Meer
- › fressen Algen, Moostierchen
- › Raspelzunge hat bis zu 40 Querreihen an Zähnen
- › Zähne sind durch Magnetit gehärtet



Bild: de.wikipedia.org

› von Blakemore 1975 in Bakterien entdeckt

- › weitere Entdeckungen in Bienen, Tauben etc.
- › entsteht durch biochemische Prozesse

## Bildung von Magnetit

---

- › biologisch induzierte Mineralisation
  - › Organismus ist nur indirekt beteiligt
  
- › biologisch kontrollierte Mineralisation
  - › in eukaryotischen und prokaryotischen Zellen
  - › Kontrolle von Partikelgröße, Form, Zusammensetzung und Struktur
  - › Ablauf:
    - a) Aufnahme von  $\text{Fe}^{3+}$ - Ionen, Freisetzung von  $\text{Fe}^{2+}$ - Ionen
    - b) Ablagerung von Ferrihydrit in organischer Matrix
    - c) Teilweise Reduktion und Rekristallisation zu Magnetit

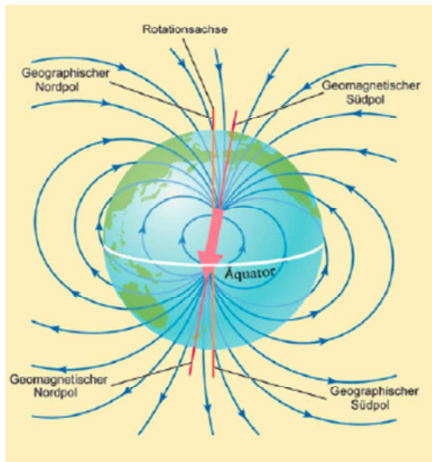
## Magnetsinn von Tieren

- › Fähigkeit das Magnetfeld der Erde wahrzunehmen
- › Orientierung am Erdmagnetfeld
  - › nachgewiesen in Vögeln und Bakterien seit den 1960er Jahren
- › über 50 Tierarten haben einen Magnetsinn



<http://www.zauberfuchs.com/wissen/natur/mit-eingebautem-kompass/>

## Das Erdmagnetfeld



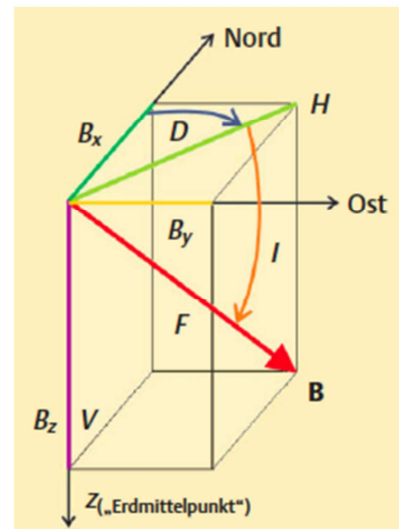
Winkelhofer, Physik unserer Zeit, 35 (2004)

- › Erde ist wie ein großer Stabmagnet
- › Achse des magnetisches Feldes ist um  $11^\circ$  zur Rotationsachse gekippt
- › Magnetfeldlinien gehen vom Südpol zum Nordpol
- › stabiles Referenzsystem zur Orientierung und Navigation



## Das Erdmagnetfeld

- › D, I, F eignen sich zur Beschreibung des Feldes
- › D= Deklination, Winkel um den geographisch Nord von magnetisch Nord (H= Horizontalkomponente) abweicht
- › I= Inklination, Neigungswinkel der Feldlinien gegen H
- › F= Totalintensität, beschreibt die Stärke des magnetischen Feldes
- › Am geomagnetischen Äquator ist  $I = 0^\circ$



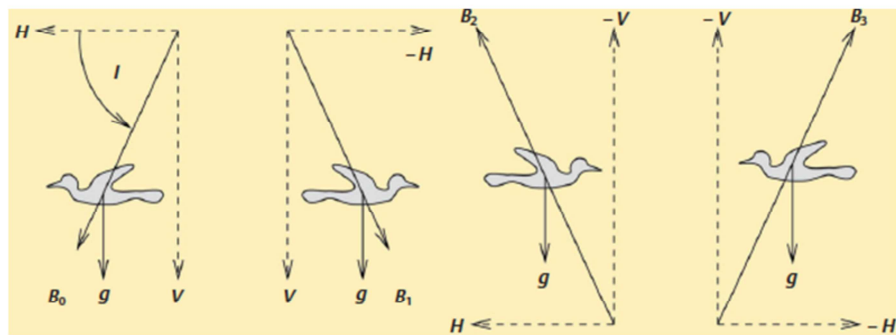
Winkelhofer, Physik unserer Zeit, 35 (2004)

## Versuche zum Magnetsinn

---

- › Versuche an Brieftauben (Keeton, 1971)
  
- › Versuche von Ehepaar Wiltschko in den 1970ern
  - › Verhaltensexperimente an zugunruhigen Rotkehlchen unter kontrollierten Magnetfeldbedingungen:
    - › Variation der Richtung der Feldlinien
    - › Beobachtung der Abflugrichtung
    - › Umpolung der Polarität des Magnetfeldes

## Ergebnisse Wiltschko Versuch



Winkelhofer, Physik unserer Zeit, 35 (2004)

- › Innere Kompass ist axial, Polarität spielt keine Rolle
- › Inklinationskompass in Kombination mit dem Gleichgewichtsorgan

## Formen der Magnetfeldwahrnehmung

---

### 1. elektromagnetische Induktion

- › Haie, Rochen

### 2. biochemischer Kompass

- › durch magnetfeldabhängige photochemische Reaktionen
- › Bildung eines Radikalpaars
- › Rezeption auf der Netzhaut

### 3. biogener Ferrimagnetismus

- › Magnetorezeption durch biogenes Magnetit

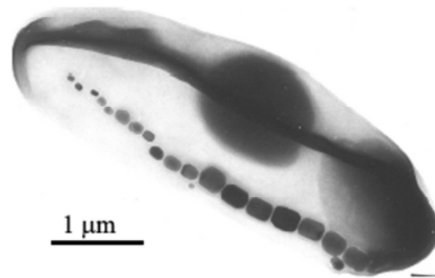
## Biogener Ferrimagnetismus

---

- › Magnetorezeption durch SD- Magnetitpartikel
  - › Magnetotaktische Bakterien
  - › Einbereichsteilchen (40-100 nm)
  - › permanente Magnetisierung
  
- › Magnetorezeption durch SP- Magnetitpartikel
  - › Tauben
  - › Cluster mit  $d = 1 \mu\text{m}$  aus Nanopartikeln (2-10 nm)
  - › Superparamagnetismus

## Magnetotaktische Bakterien

- › in Meeres- und Süßwassersedimenten
- › verschiedene morphologische Formen
- › Nanokristalle aus Magnetit (Magnetosome)
- › besitzen permanentes Dipolmoment
- › verhalten sich wie schwimmende Kompassnadeln
- › stabile Einbereichsteilchen



Davila, Detection and Function of Biogenic Magnetite (2005)

## Magnetit in Taubenschnäbeln

- › Magnetitpartikel mit Größe von 2-10 nm
- › Partikel sind superparamagnetisch
  - › starke induzierte Magnetisierung
  - › keine remanente Magnetisierung
- › Partikel bilden kugelförmige Cluster (1-3  $\mu\text{m}$ )
  - › Polaritätsunabhängiges Verhalten im Magnetfeld
  - › Stärke des Feldes beeinflusst die Wechselwirkung der Cluster untereinander

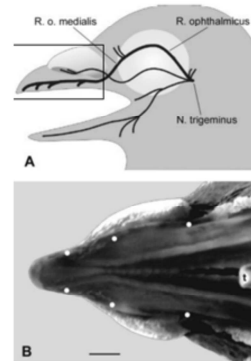


Bild: Davila, Detection and Function of Biogenic Magnetite (2005)

## Magnetsinn von Tauben

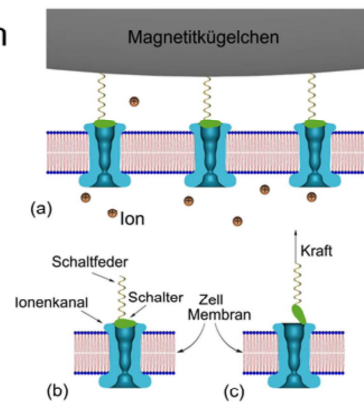
---

- › Orientierung basiert auf dem Inklinationskompass
  - › unterscheiden zwischen polabwärts und äquatorwärts
  
- › 2 mögliche Mechanismen:
  - › biochemischer Kompass
    - › über photochemische Reaktionen
    - › Netzhaut ist der Rezeptor
  
  - › biogener Ferrimagnetismus
    - › über superparamagnetische Magnetitkristalle im Schnabel



## Rezeption durch Magnetit

- › Cluster aus Magnetit in fein verästelten Nervenansätzen (Dendriten)
- › magnetische Wechselwirkung der Cluster untereinander
- › Magnetit – Cluster sind mit Ionenkanälen in der Nervenzellmembran verbunden
- › Wechselwirkung verursacht Öffnung von Ionenkanälen in der Nervenmembran
- › Informationen über Richtung und Stärke des Erdmagnetfeldes



Solov'yov, Phys.J., 9 (2010) 23-28

## Quellen

---

- › Kirschvink, Gould; Biosystems, 13 (1981) 181-201
- › Winkelhofer; Physik unserer Zeit, 35 (2004)
- › Davila; Detection and Function of Biogenic Magnetite (2005)
- › Chang, Kirschvink; Ann.Rev. Earth Planet. Sci, 17 (1989) 169-195
- › Cebulla; Mikro-Hallmagnetometrie an magnetischen Bakterien(2009)
- › Solov'yov; Phys.J., 9 (2010) 23-28
- › <http://de.wikipedia.org/wiki/Magnetit>

# Magnetit in der Biochemie

Bildung und Funktion



Ann-Christine Nemann