

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

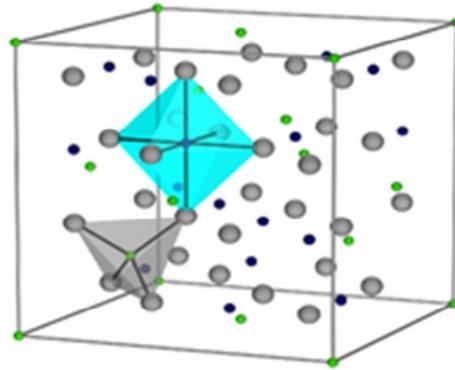
Magnetit

- › 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 Fe_3O_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 Fe^{3+} - Ionen, Freisetzung von Fe^{2+} - Ionen
 - b) Ablagerung von Ferrihydrit in organischer Matrix
 - c) Teilweise Reduktion und Rekristallisation zu Magnetit

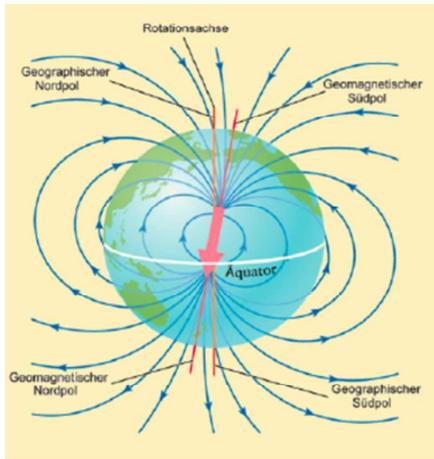
Magnetsinn von Tieren

- › 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

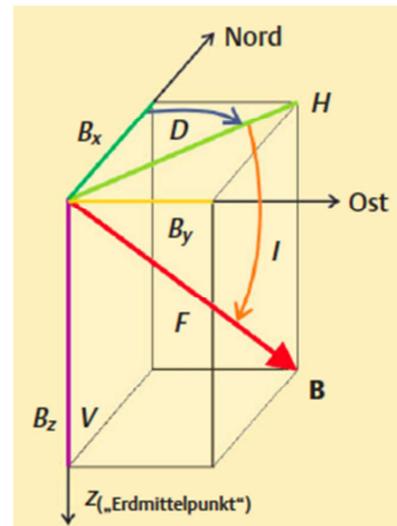


Winkelhofer, Physik unserer Zeit, 35 (2004)

- › Erde ist wie ein großer Stabmagnet
- › Achse des magnetisches Feldes ist um 11° 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 $I = 0^\circ$



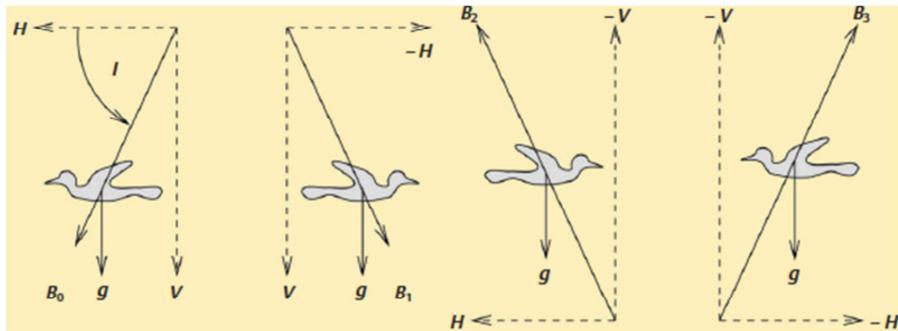
Winkelhofer, Physik unserer Zeit, 35 (2004)

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

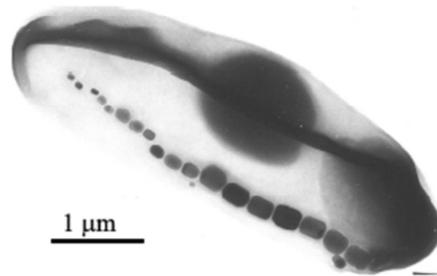
Biogener Ferrimagnetismus

- › 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 μm)
 - › Polaritätsunabhängiges Verhalten im Magnetfeld
 - › Stärke des Feldes beeinflusst die Wechselwirkung der Cluster untereinander

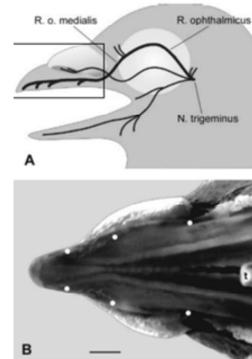


Bild: Davila, Detection and Function of Biogenic Magnetite (2005)

Magnetsinn von Tauben

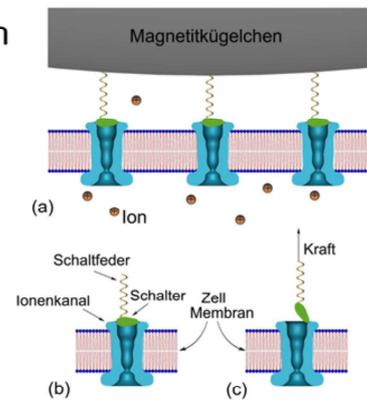
- › Orientierung basiert auf dem Inklinationskompass
 - › unterscheiden zwischen polabwärts und äquatorwärts

- › 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