

Einführung in die Geophysik I

Magnetik I

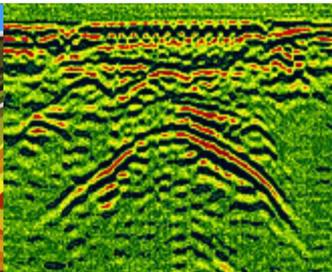
Thomas Bohlen, Ellen Gottschämmer, Geophysikalisches Institut, Fakultät für Physik

Geophysikalisches Institut, Fakultät für Physik

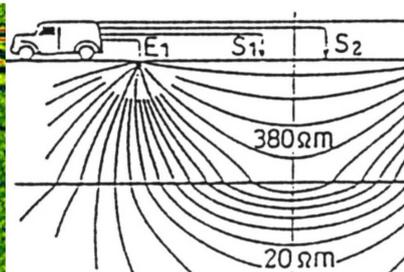
Seismik



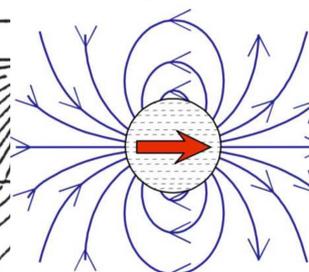
Georadar



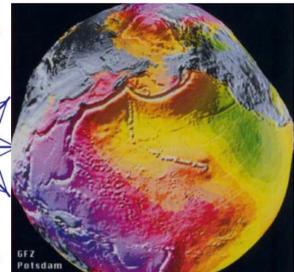
Geoelektrik



Magnetik



Gravimetrie



Das Erdmagnetfeld - Übersicht

1. Das Innenfeld

- Das Dipolfeld
- Das Nichtdipolfeld
- Zeitliche Variationen
- Entstehung

2. Das Außenfeld

3. Magnetische Anomalien

Diese Woche

4. Messgeräte

Nächste Woche

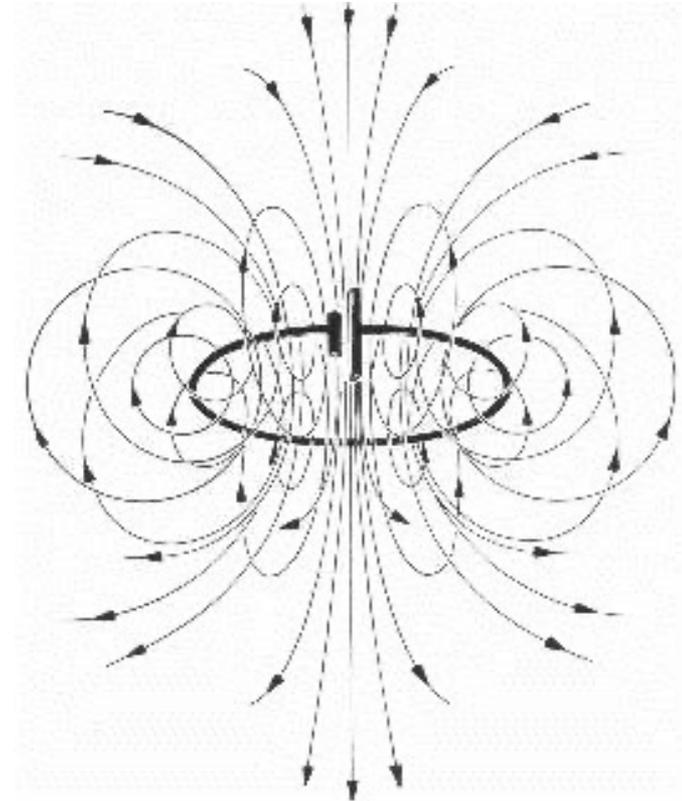
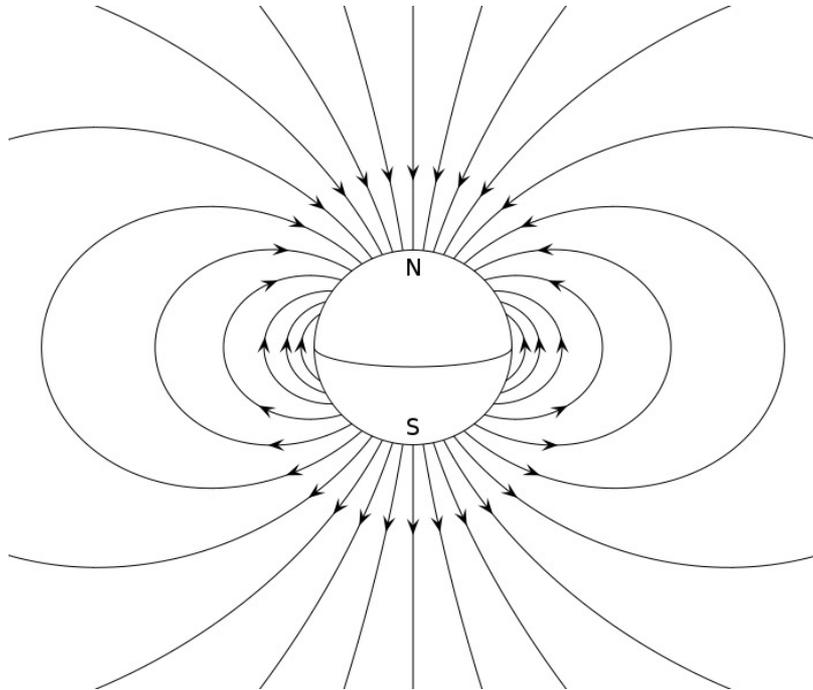
5. Beispiele

Das Erdmagnetfeld

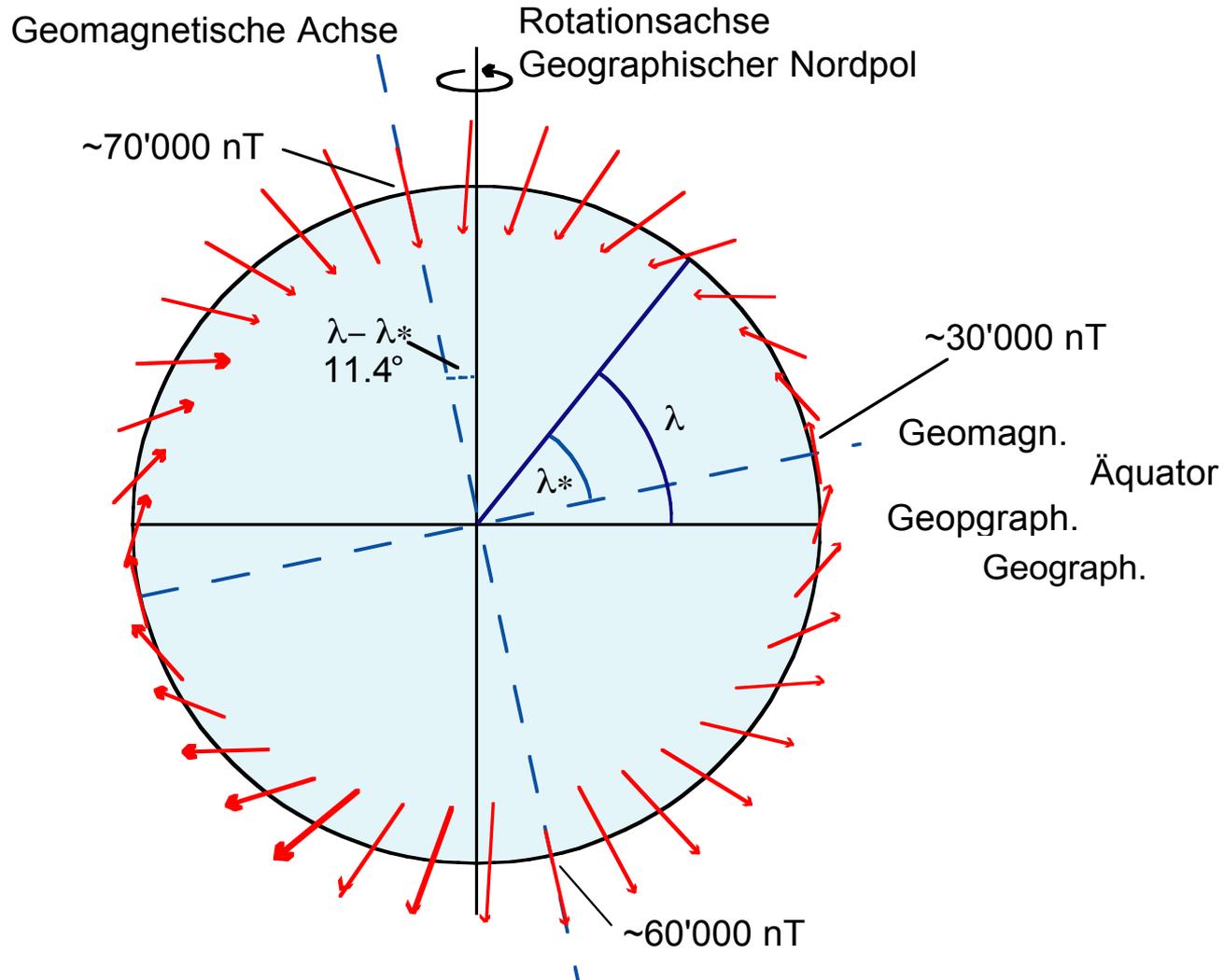
Das Erdmagnetfeld besteht aus vier Komponenten:

- 1. Dipolfeld:** 95% des Erdmagnetfelds werden vom äußeren flüssigen Kern der Erde aufrecht erhalten: Geodynamo
- 2. Nicht-Dipol-Feld,** Ursache für Säkularvariationen, ca. 5%
- 3. Außenfeld:** entsteht durch Ströme geladener Teilchen in der Magnetosphäre und Ionosphäre, die von der Sonne beeinflusst werden, Verformung des Dipolfelds
- 4. Lokales Anomaliefeld**

Das Dipolfeld



Das Dipolfeld



Das Dipolfeld

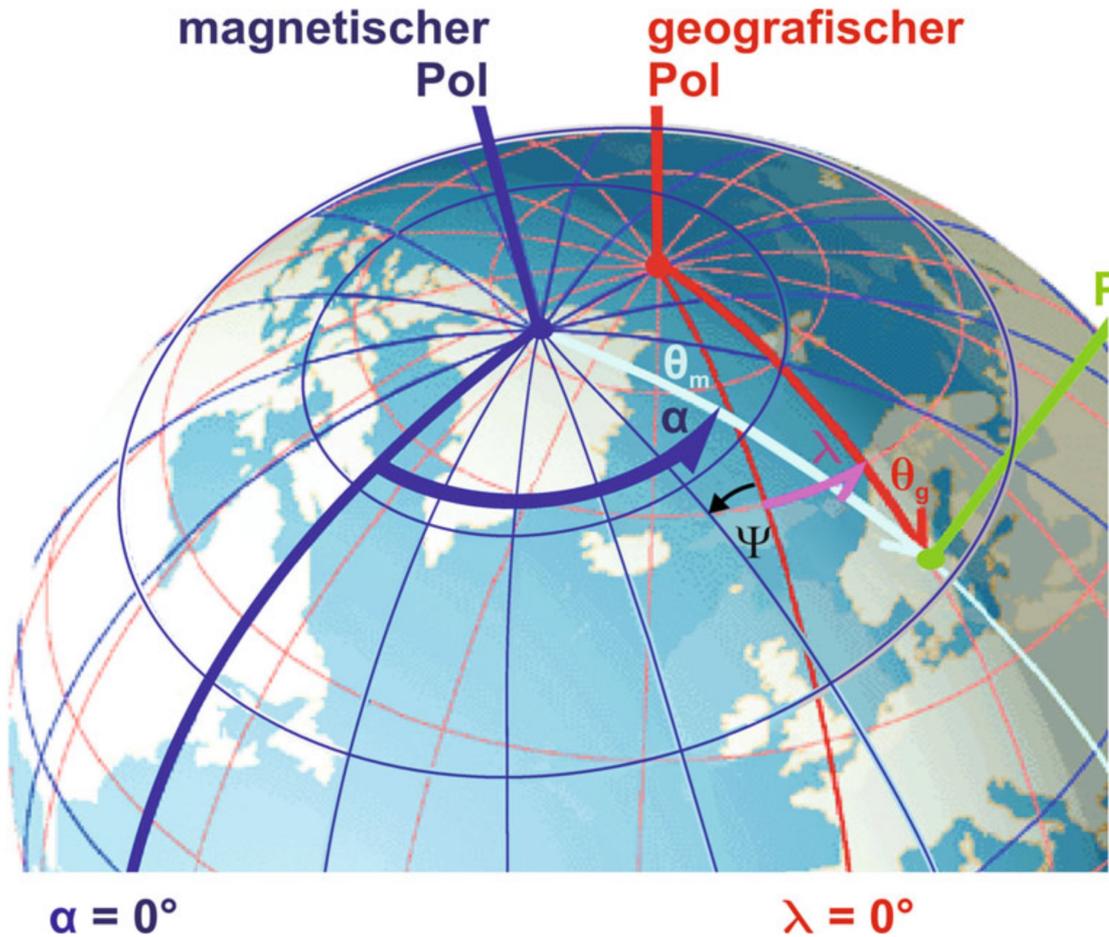


Abb. 5.5 Geografisches und geomagnetisches Koordinatensystem (Längen λ und α sowie Polhöhen θ mit Indices g und m) mit Polen, dem Winkel Ψ zwischen den jeweiligen Meridianen sowie Längen und Polhöhen eines Punktes P (nach © World Data Center for Geomagnetism, Kyoto: WDC 2008)

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

1. Das Dipolfeld

Tab. 5.5 Geografische Breite ϕ und Länge λ der Durchstoßpunkte der geomagnetischen Achsenpole B und A (*dipole poles*) in den Jahren 1965 und 2010, berechnet aus den ersten drei Termen der Kugelfunktionsentwicklung des Internationalen Geomagnetischen Referenzmodells (IGRF) (Finlay 2010; Maus et al. 2010)

	Borealer (nördlicher) geomagnetischer Achsenpol B		Australer (südlicher) geomagnetischer Achsenpol A		
<i>Jahr</i>	1965	2010		1965	2010
ϕ_B	78,6°N	80,08°N	ϕ_A	79,0°S	80,08°S
λ_B	69,0°W (291,0°E)	72,21°W (287,79°E)	λ_A	110,0°E	107,79°E

(Quelle: Clauer, 2014, Einführung in die Geophysik)

Das Dipolfeld

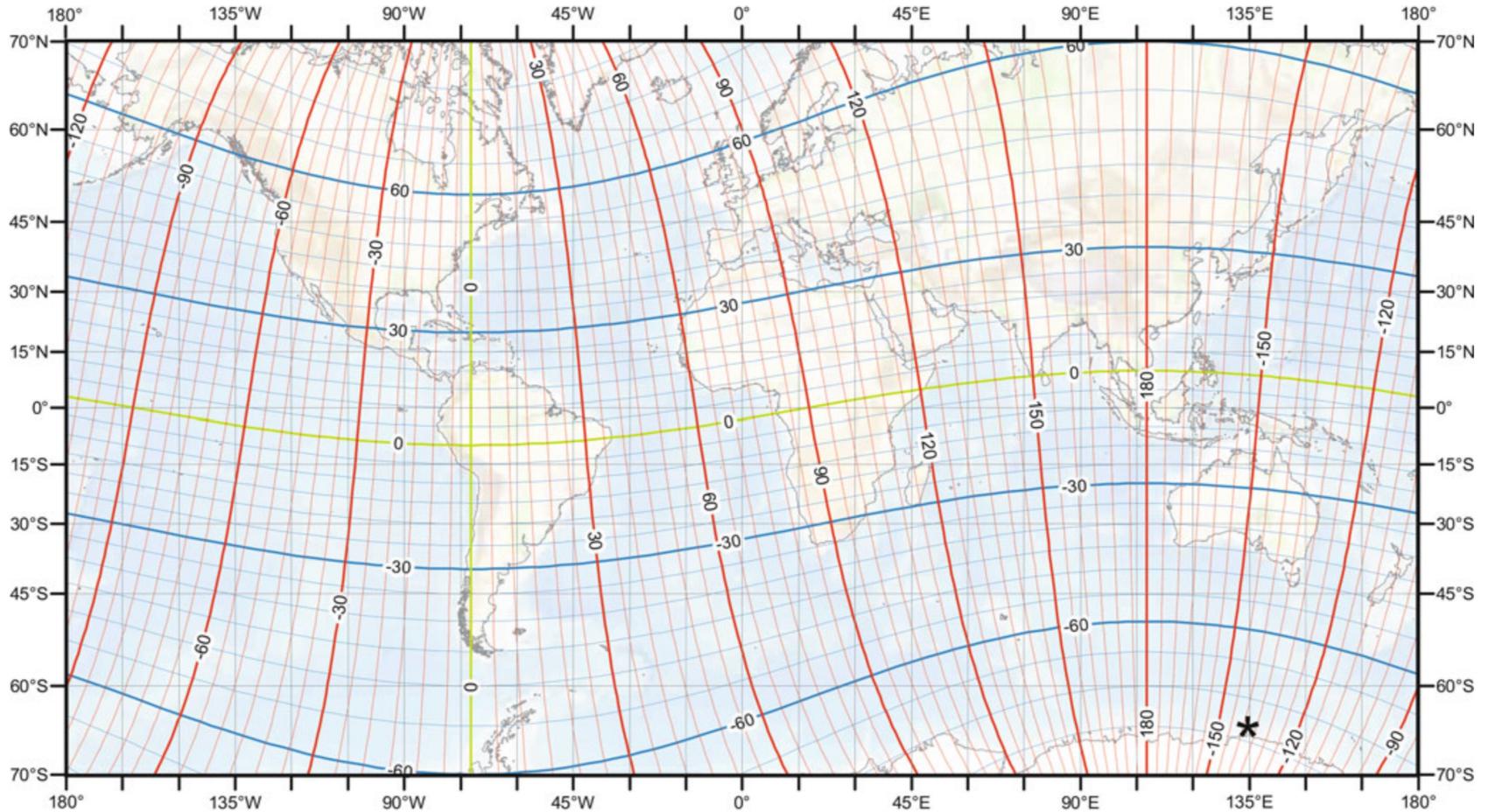


Abb. 5.6 Geomagnetische Koordinaten: Breite β (blau) und Länge α (rot) (grün: magnetischer Äquator; *: magnetischer Südpol) in Intervallen von 5° für die Epoche 2010 (Mercator-Projektion; © Maus et al. 2010)

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Mathematische Beschreibung des Dipolfeldes

Das magnetische Potenzial W an einem Punkt r kann als die Arbeit W definiert werden, welche gegen das Magnetfeld eines Pols der Polstärke p aufgebracht werden muss, um einen Einheitspol von r gegen das Feld nach unendlich zu verschieben.

$$W = - \int_r^{\infty} \mathbf{B} \, dr$$

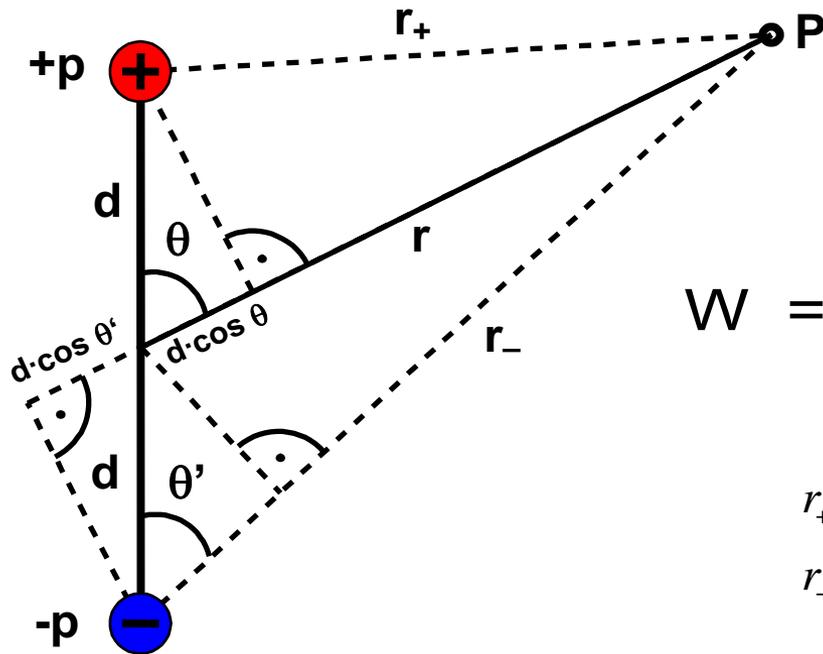
Im Falle eines einzelnen Monopols ist das Potential (Arbeit)

$$W = \frac{\mu_0 p}{4\pi r}$$

Das Magnetfeld \mathbf{B} ist der Gradient des Potential W

$$\vec{B} = -grad(W)$$

Das Potential eines magnetischen Dipols



Am Punkt P besteht das Potential (W) aus einem Beitrag von jedem der beiden Pole

$$W = \frac{\mu_o}{4\pi} \left\{ \frac{p}{r_+} - \frac{p}{r_-} \right\} = \frac{\mu_o p}{4\pi} \left\{ \frac{r_- - r_+}{r_- r_+} \right\}$$

$$r_+^2 = r^2 + d^2 - 2dr \cos\theta \quad r_+ \approx r - d \cos\theta$$

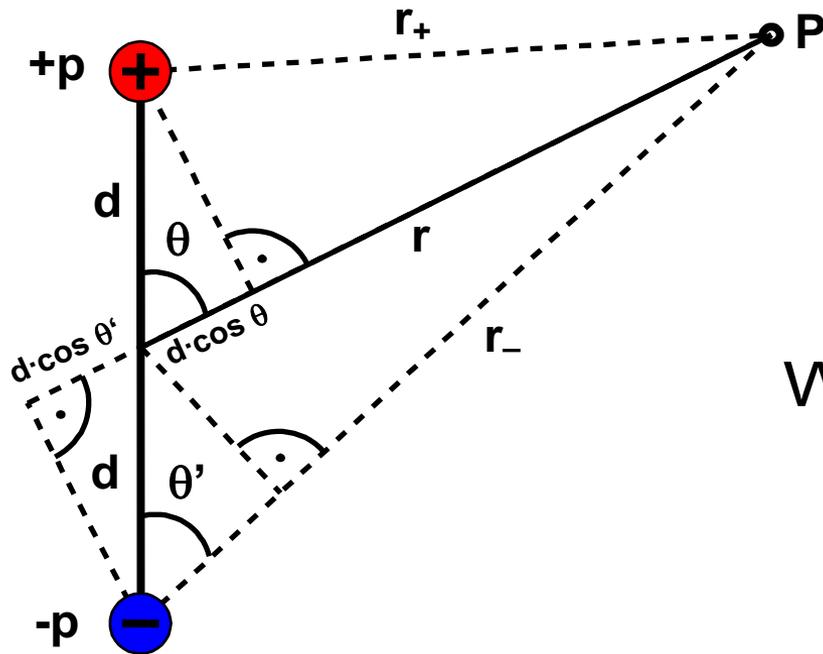
$$r_-^2 = r^2 + d^2 + 2dr \cos\theta \quad r_- \approx r + d \cos\theta'$$

für $d \ll r$, $\theta' \rightarrow \theta$, und $\left(\frac{d}{r}\right)^2$ vernachlässigbar und somit

$$r_- - r_+ \approx d(\cos\theta' + \cos\theta) \approx 2d \cos\theta$$

$$r_+ r_- \approx r^2 - d^2 \cos^2\theta \approx r^2$$

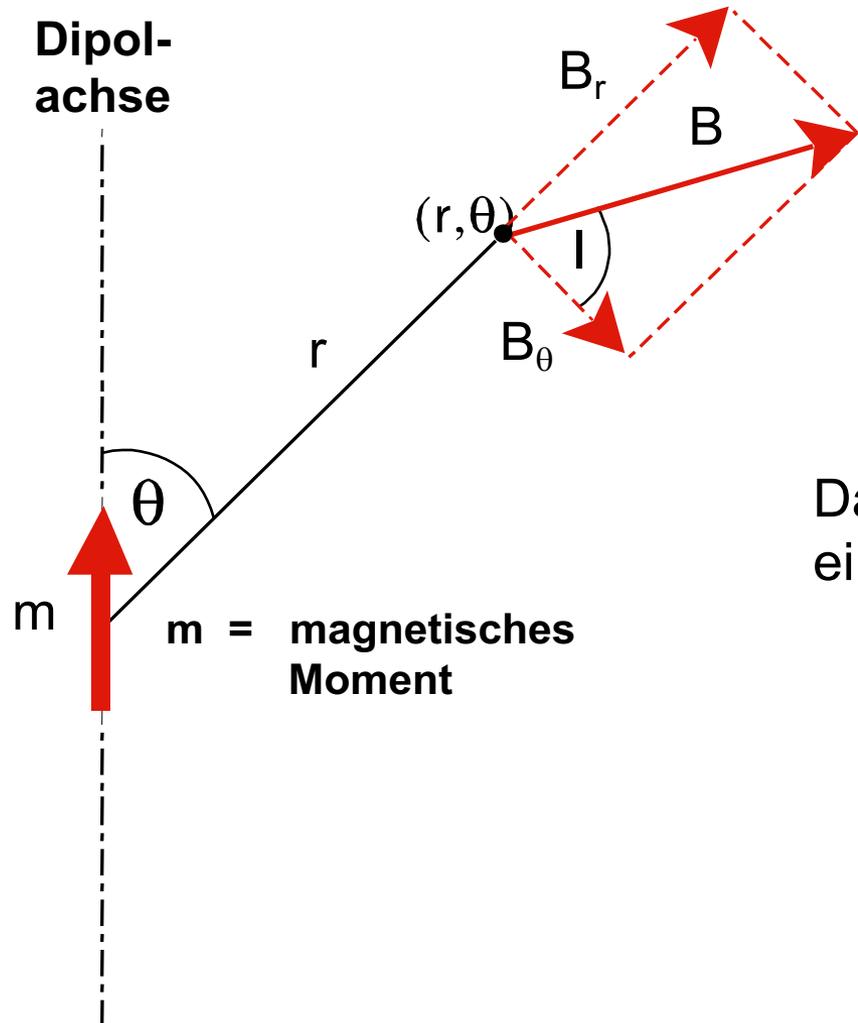
Das Potential eines magnetischen Dipols



$$W = \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{(2pd) \cos \theta}{r^2}$$
$$= \frac{\mu_o}{4\pi} \frac{m \cos \theta}{r^2}$$

$m=2dp$ ist das magnetische Moment des Dipols

Das Potential eines magnetischen Dipols



Potential des Dipols:

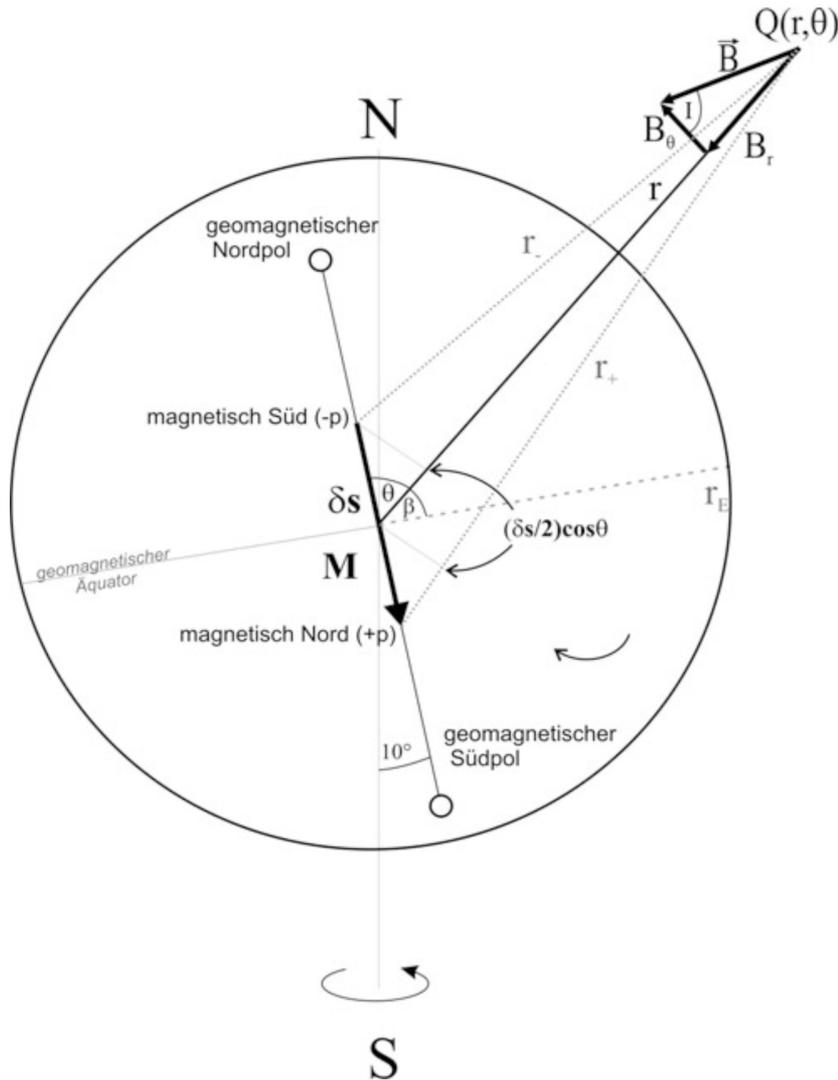
$$W = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m \cos\theta}{r^2}$$

Das Feld hat eine radiale und eine transversale Komponente:

$$B_r = -\frac{dW}{dr} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2 m \cos\theta}{r^3}$$

$$B_\theta = -\frac{1}{r} \frac{dW}{d\theta} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{m \sin\theta}{r^3}$$

Dipolfeld auf einer Kugel



Annäherung des Erdmagnetfelds durch einen zentralen magnetischen Dipol mit magnetischem Moment M ((Theta,Beta)=geomagnetische Polhöhe und Breite)

$$(B_r := B_z, B_h := B_\theta)$$

$$\theta = 0^\circ \text{ und } \beta = 90^\circ : B_z^{\text{Pol}} = \frac{\mu_0 M}{2\pi r^3} \text{ und } B_h^{\text{Pol}} = 0 ;$$

$$\theta = 90^\circ \text{ und } \beta = 0^\circ : B_z^{\text{Äq.}} = 0 \text{ und } B_h^{\text{Äq.}} = \frac{\mu_0 M}{4\pi r^3} .$$

Magnetfeldstärken für eine Kugel

$$\begin{aligned} B_z^{\text{Pol}} &= \frac{\mu_0 M}{2\pi r_E^3} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ Vs}}{2\pi} \frac{7,75 \times 10^{22} \text{ A m}^2}{\text{A m} (6,37 \times 10^6)^3 \text{ m}^3} \\ &= \frac{15,5 \times 10^{15} \text{ V s m}}{(6,37 \times 10^6)^3 \text{ m}^3} = \frac{15,5 \times 10^{15} \text{ V s}}{2,58 \times 10^{20} \text{ m}^2} \\ &= 6,0078 \times 10^{-5} \text{ T} = 60,078 \mu\text{T} = 60\,078 \text{ nT} ; \end{aligned}$$

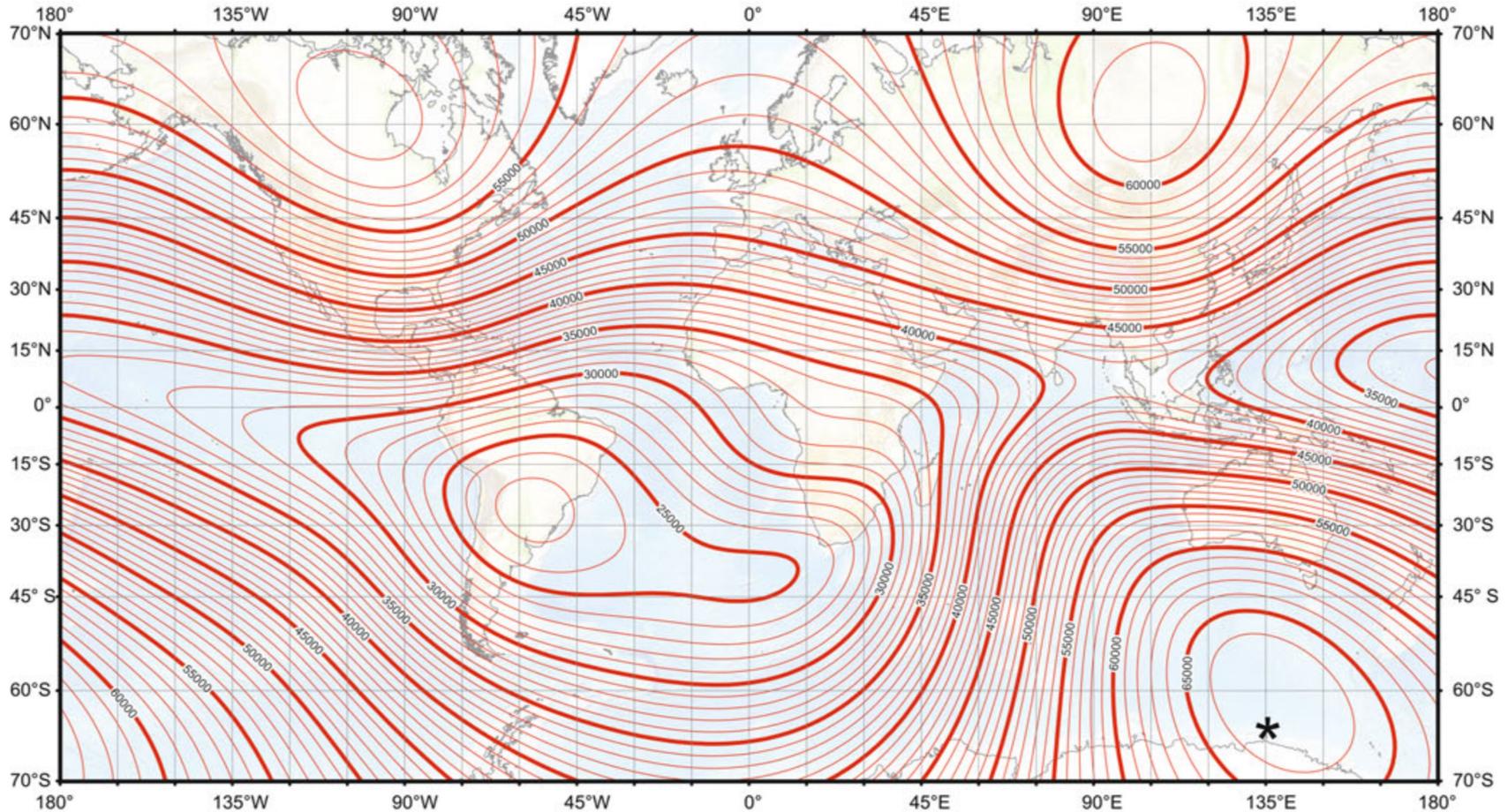
$$\begin{aligned} B_h^{\text{Äq.}} &= \frac{\mu_0 M}{4\pi r_E^3} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \text{ Vs}}{4\pi} \frac{7,75 \times 10^{22} \text{ A m}^2}{\text{A m} (6,37 \times 10^6)^3 \text{ m}^3} \\ &= \frac{7,75 \times 10^{15} \text{ V s m}}{(6,37 \times 10^6)^3 \text{ m}^3} = \frac{7,75 \times 10^{15} \text{ V s}}{2,58 \times 10^{20} \text{ m}^2} \\ &= 3,0039 \times 10^{-5} \text{ T} = 30,039 \mu\text{T} = 30\,039 \text{ nT} . \end{aligned}$$

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Magnetfeldstärke des Erdmagnetfeldes 2010

Karlsruher Institut für Technologie

US/UK Globales Magnetfeldmodell -- Epoche 2010.0
Magnetfeldstärke B



Isolinienintervall: 1000 nT
Mercator-Projektion
*: magnetischer Pol

Map developed by NOAA/NGDC & CIRES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>
Map reviewed by NGA/BGS
Published January 2010

(Quelle: Clauer, 2014, Einführung in die Geophysik)

Deklination und Inklination

Die geomagnetischen Feldelemente

Das Feld kann mit kartesischen Koordinaten beschrieben werden:
X (Nord), Y (Ost), Z (vertikal unten)

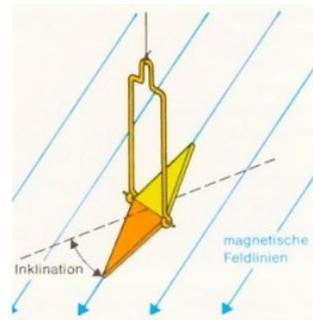
oder mit Kugelkoordinaten

D (Deklination), I (Inklination),
T (Totalintensität).

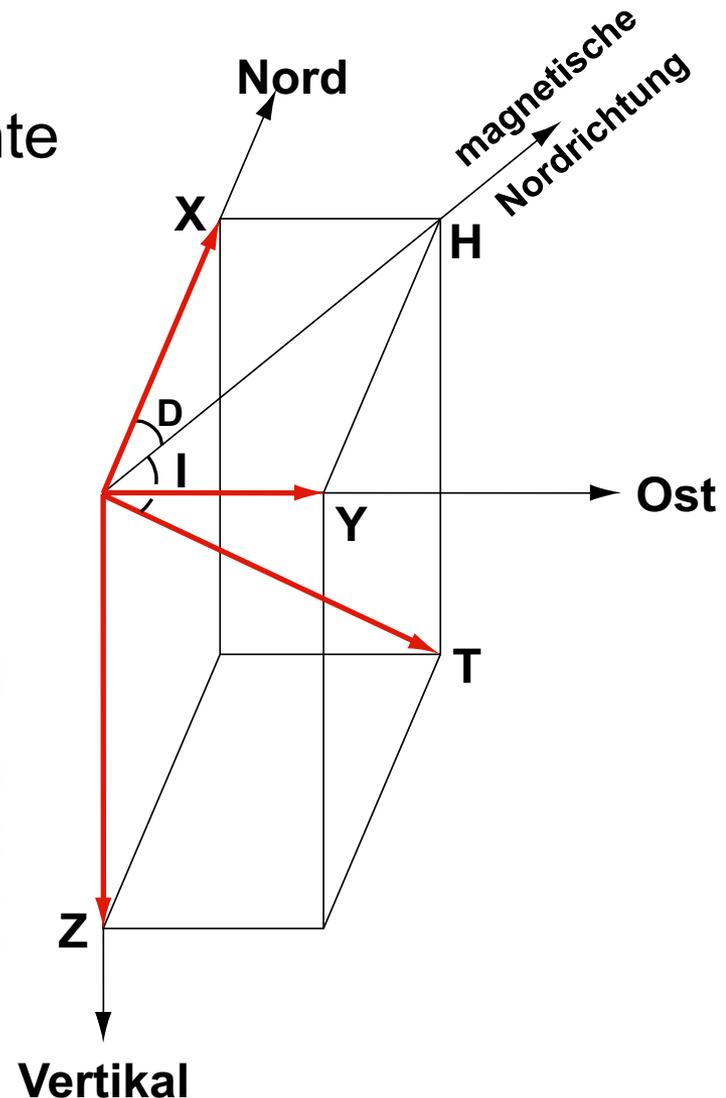
$$\tan D = \frac{Y}{X}$$

$$\tan I = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}$$

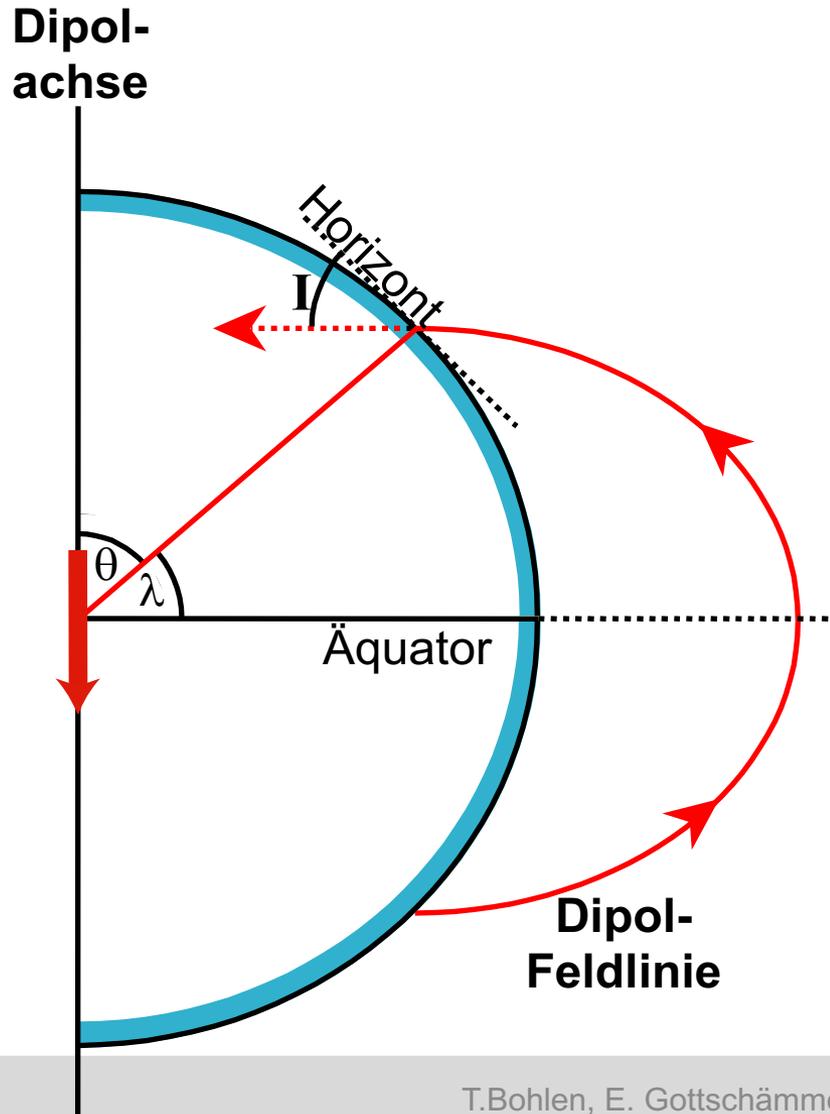
$$T = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$



Stolle,
2015



Die Inklination



An der Erdoberfläche ist die Feldrichtung durch den Winkel I zum Horizont bestimmt; I ist die Inklination:

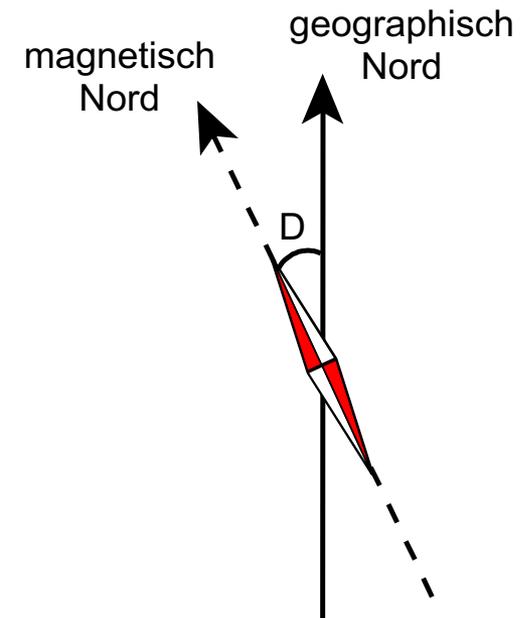
$$\tan I = \frac{B_r}{B_\theta} = 2 \cot \theta$$

I wird als positiv nach unten definiert (Nordhemisphäre der Erde)

Die Deklination

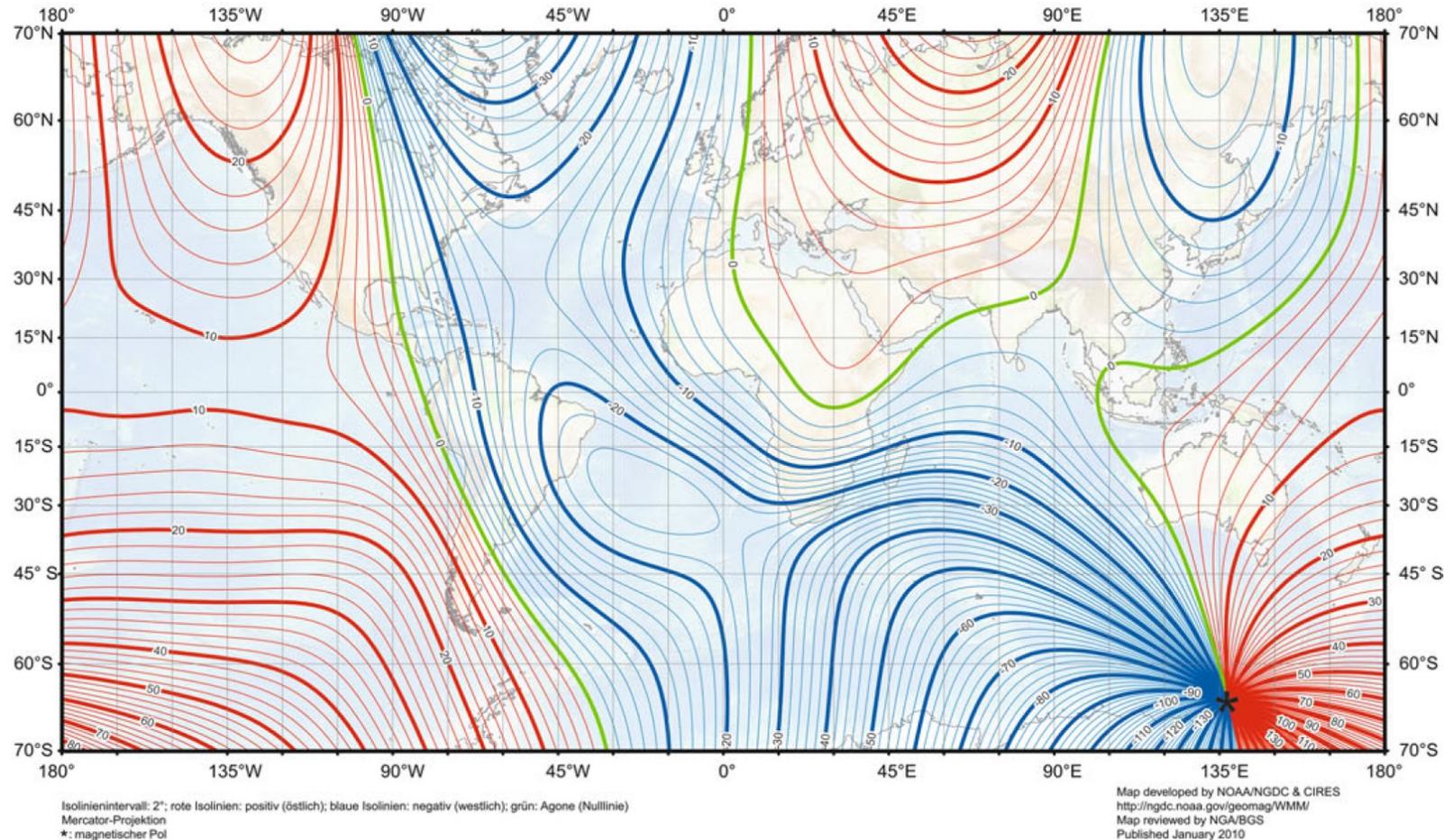
Die Deklination des Feldes

- Eine freischwingende Kompass-Nadel zeigt nicht genau in Richtung des geographischen Nordpols.
- Der Winkel zwischen geographisch und magnetisch Nord heisst Deklination D .



Globale Karte der Deklination 2010

US/UK Globales Magnetfeldmodell -- Epoche 2010.0
Deklination D



Das Erdmagnetfeld - Übersicht

1. Das Innenfeld

- Das Dipolfeld
- **Das Nichtdipolfeld**
- Zeitliche Variationen
- Entstehung

2. Das Außenfeld

3. Magnetische Anomalien

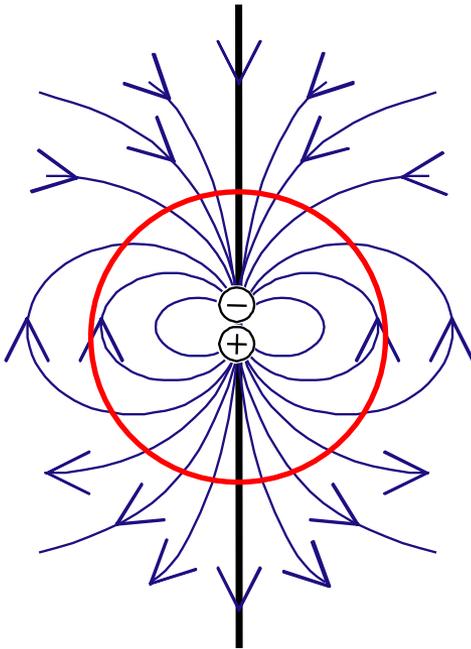
Diese Woche

4. Messgeräte

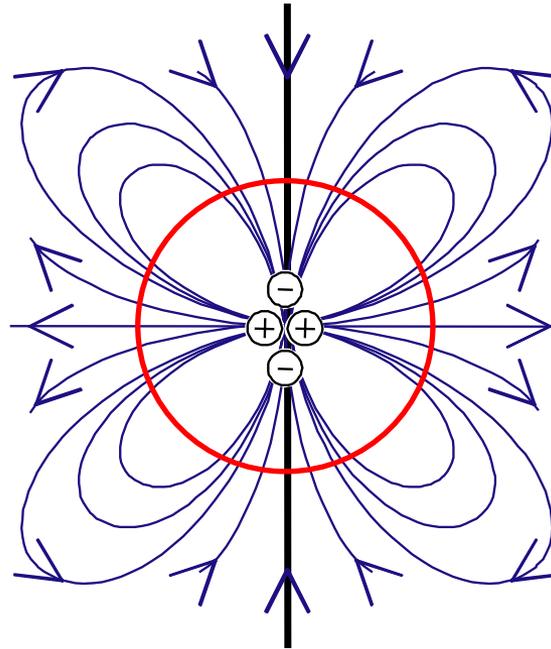
Nächste Woche

5. Beispiele

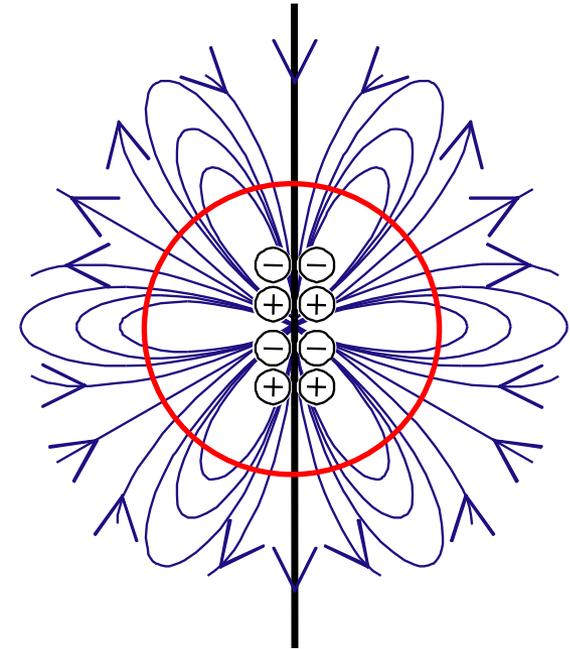
2. Das Nichtdipolfeld



a) Dipol



b) Quadrupol



c) Oktupol

**das Dipolfeld
≈ 95 % des Totalfeldes
an der Erdoberfläche**

← das Nichtdipol-Feld (NDF) →

**(zusammen mit Komponenten höherer Ordnung
≈ 5 % des Totalfeldes)**

2. Das Nichtdipolfeld

- Totalfeld – Dipolfeld = Nichtdipolfeld (NDF)
- Das NDF sieht aus wie ein System von wirbelförmigen Anomalien.
- Um jeden Breitenkreis findet man etwa 1-2 positive und 1-2 negative Anomalien.
- Das NDF ändert langsam mit der Zeit. Diese sind Bestandteil der Säkularvariation
- Das NDF besteht aus:
 - einem räumlich stationären Anteil und
 - einem sich räumlich bewegenden Anteil.

Das Erdmagnetfeld - Übersicht

1. Das Innenfeld

- Das Dipolfeld
- Das Nichtdipolfeld
- **Zeitliche Variationen**
- Entstehung

2. Das Außenfeld

3. Magnetische Anomalien

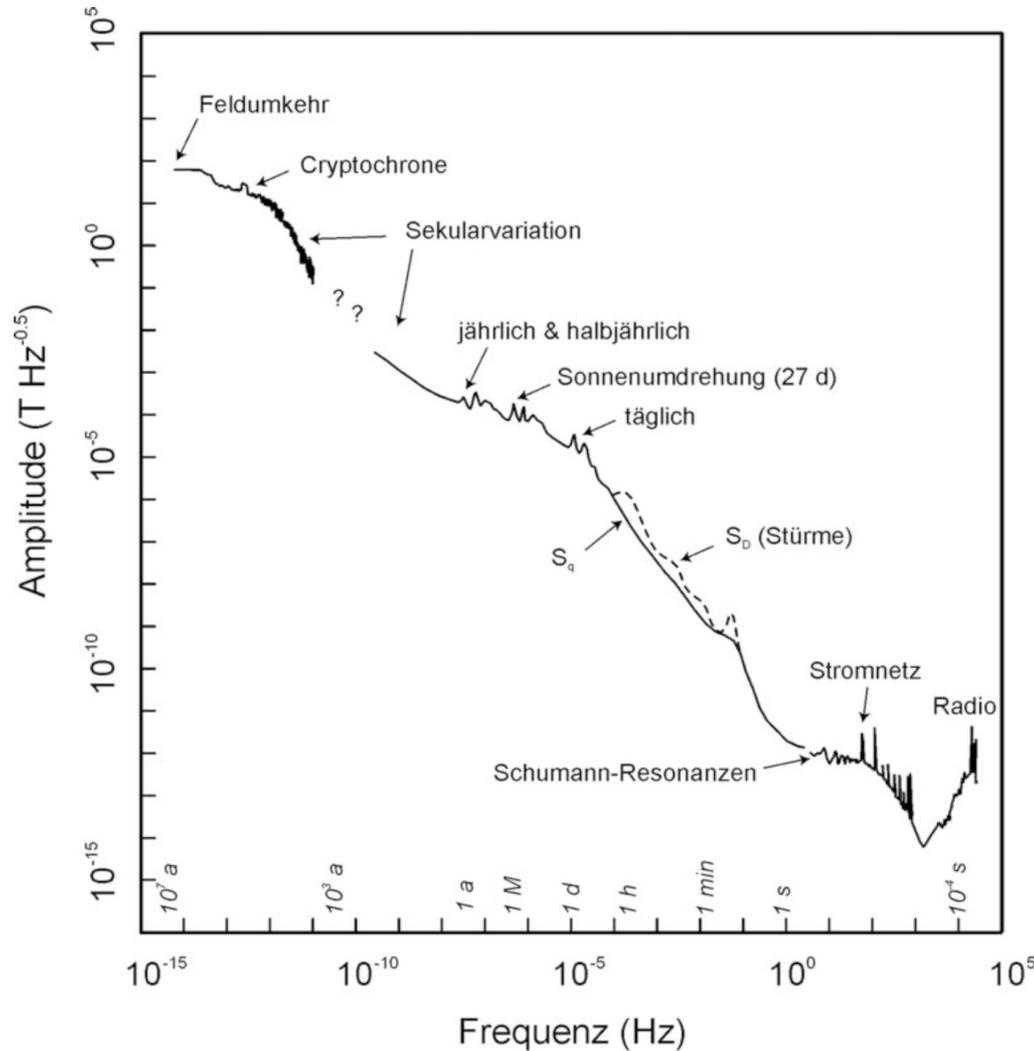
Diese Woche

4. Messgeräte

Nächste Woche

5. Beispiele

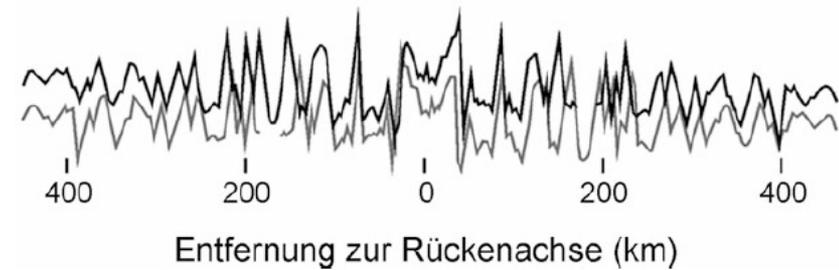
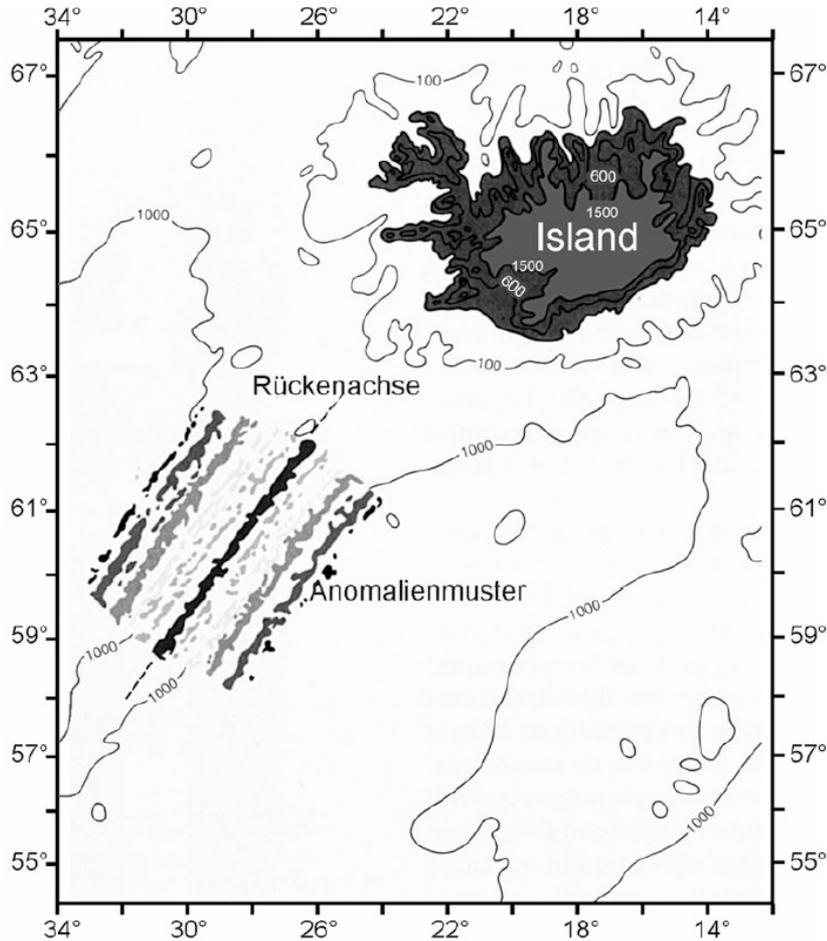
Zeitliche Variationen



Breitbandiges
Amplitudenspektrum
geomagnetischer
Variationen mit
Bezeichnung der auf
unterschiedlichen
Zeitskalen
dominierenden
Prozesse

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Zeitliche Variation: Polumkehr



Die Polumkehr des Erdmagnetfeldes ist beobachtbar als magnetische Streifenmuster entlang der mittelozeanischen Rücken

Zeitliche Variation: Polwanderung

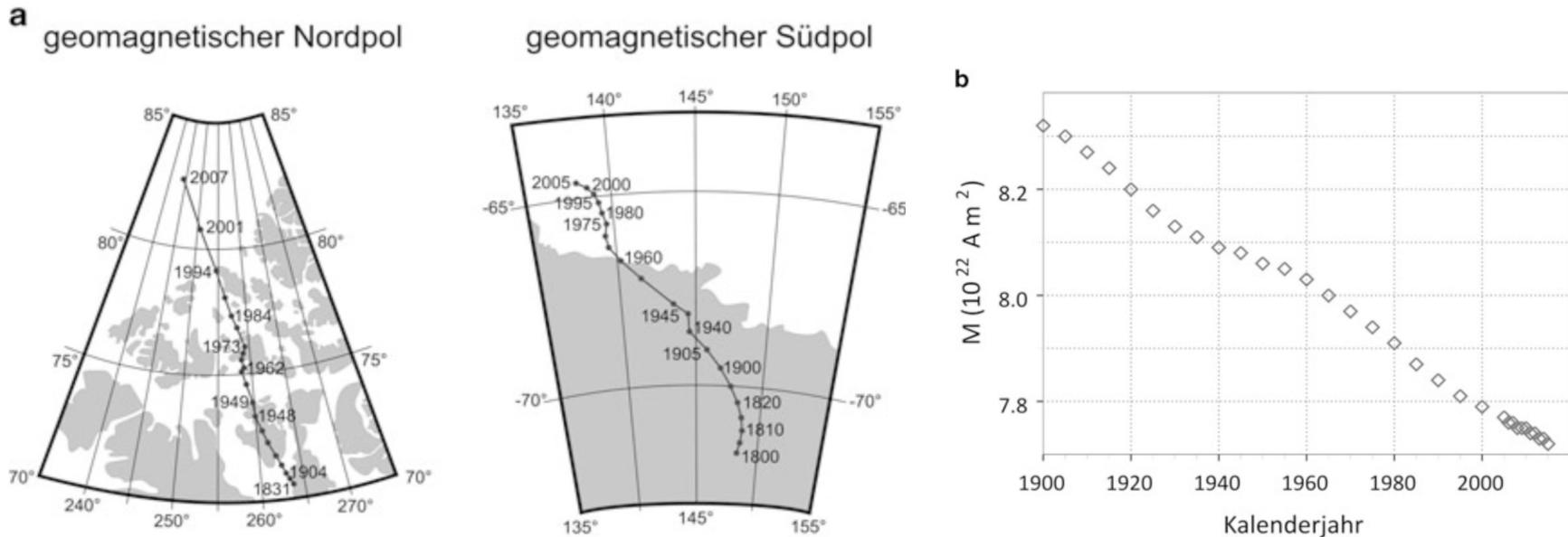


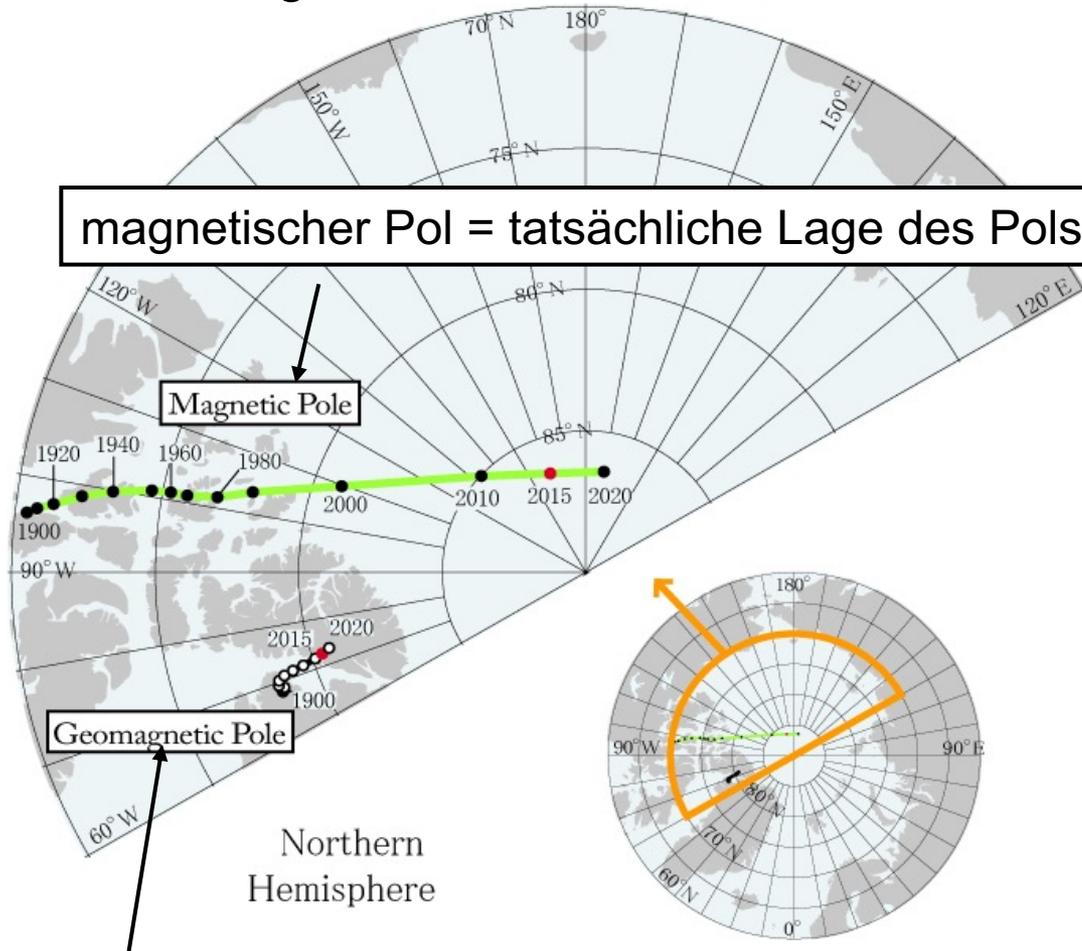
Abb. 5.7 Säkularvariation des Erdmagnetfelds: **a** Wanderung des magnetischen Nord- und Südpols von 1820 bzw. 1900 bis 2005. Derzeit wandern die Pole etwa 40 km pro Jahr in nordwestlicher Richtung (Daten mit Genehmigung des World Data Center for Geomagnetism, Kyoto: WDC 2010); **b** Abnahme des geomagnetischen Dipolmoments M im 20. Jahrhundert um ca. $5 \times 10^{21} \text{ A m}^2$ (Daten: WDC 2010)

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Zeitliche Variation: Polwanderung

Polwanderung

magnetischer Pol = tatsächliche Lage des Pols (Inklination=90°)



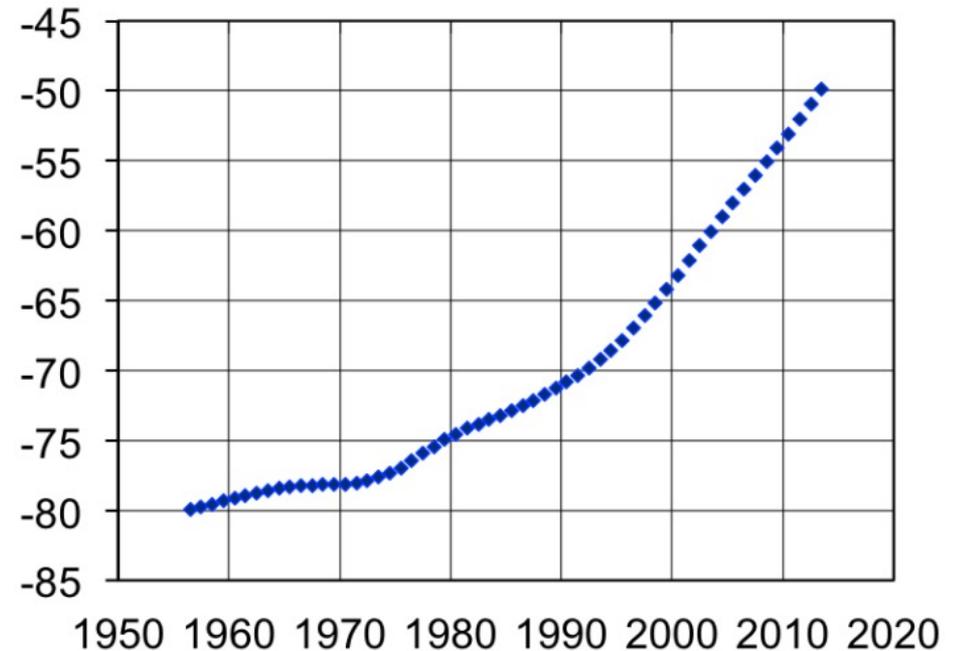
Nicht-Dipol-Anteile

geomagnetischer Pol = theoretischer Pol des Erdmagnetfelds aus mittlerem Verlauf der Feldlinien bei Annahme eines Dipols

014

Zeitliche Variation der Deklination

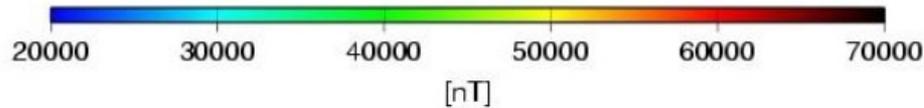
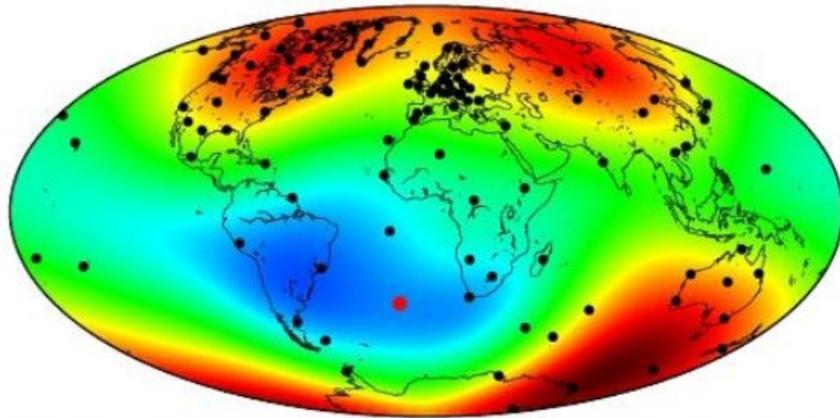
Besonders schnelle Variation der Deklination in Polargebieten



Stolle, 2014

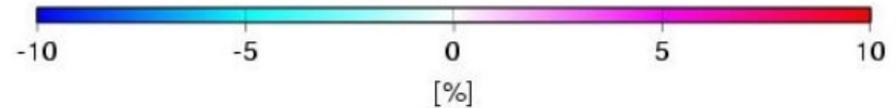
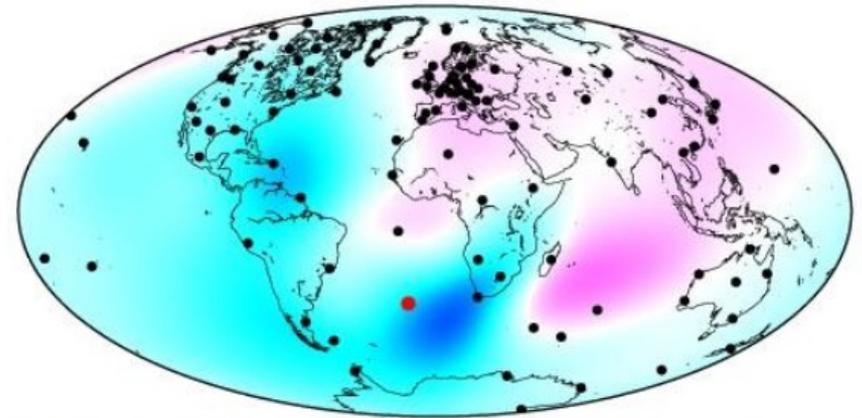
Zeitliche Variation der letzten 20 Jahre

Feldstärke in nT



Totalfeld

Variation der letzten 20 Jahre in %

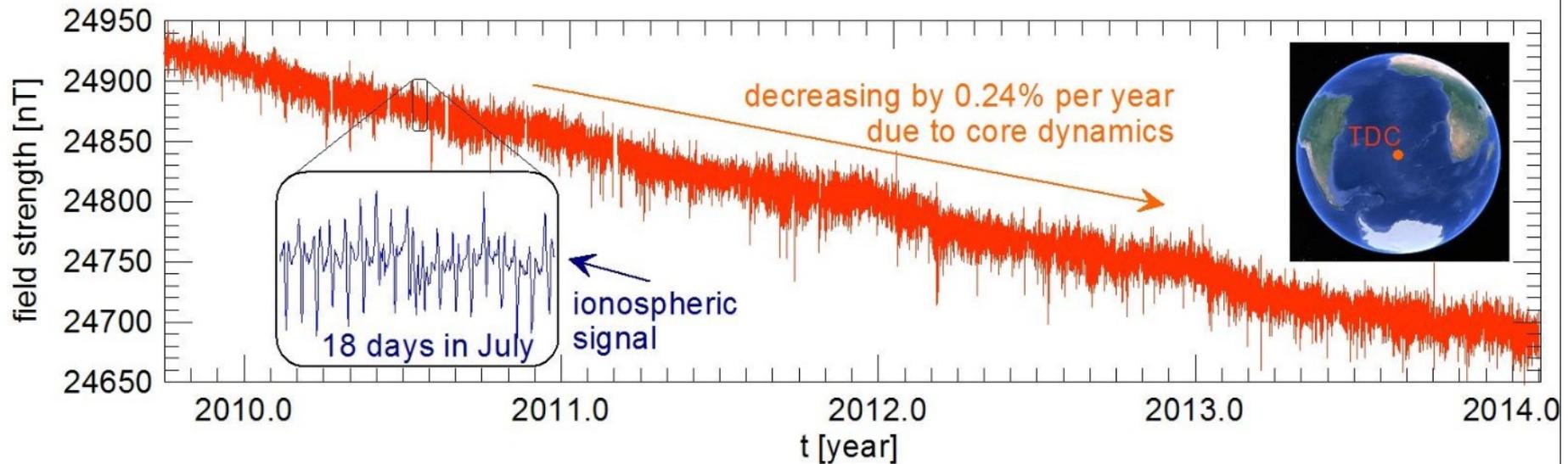


Säkularvariation

GFZ, 2008

Zeitliche Variation

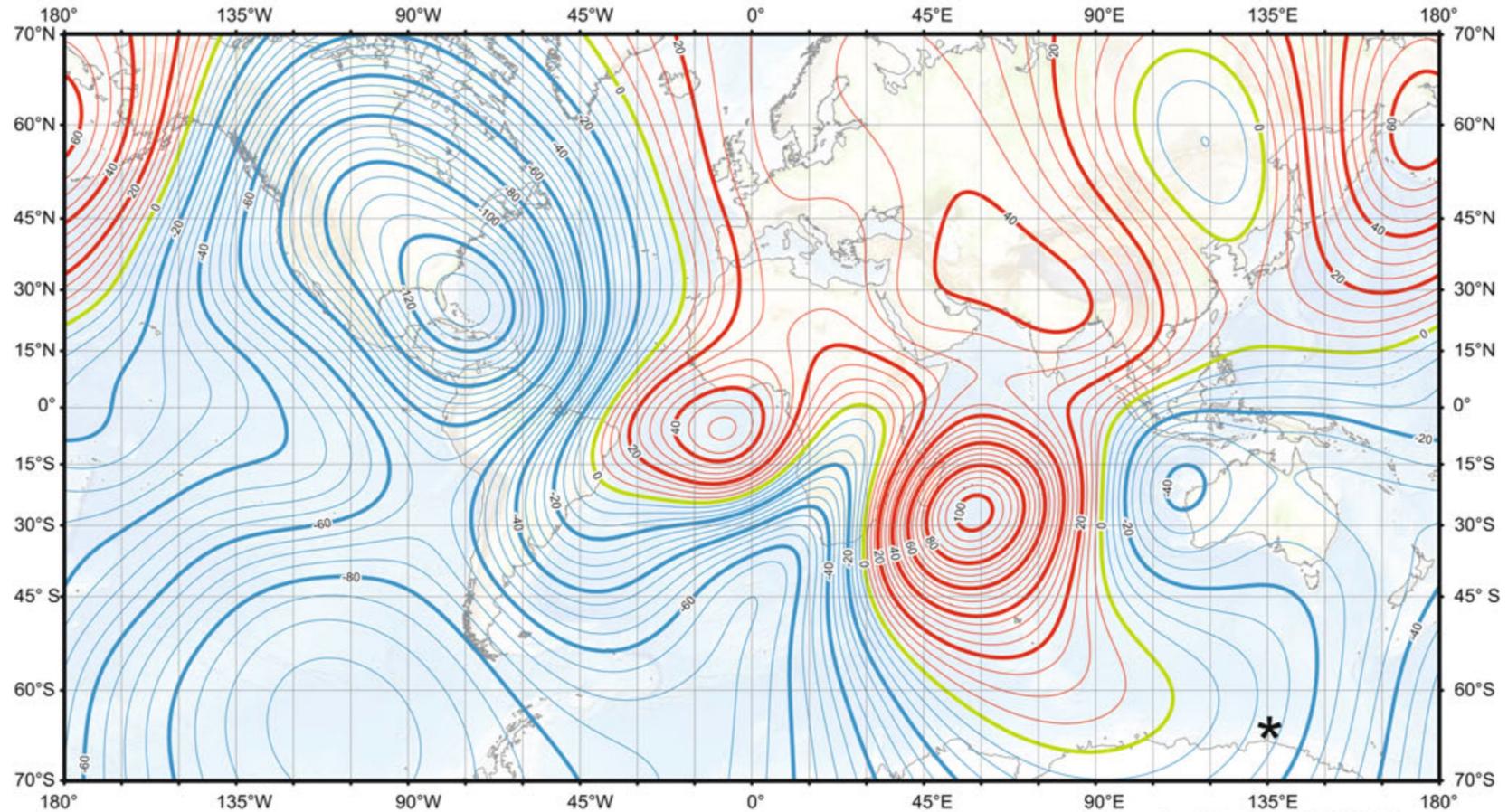
Beispiel für die zeitliche Veränderung: Schnelle Abnahme der südantlantischen Anomalie



Stolle, 2014

Änderung der Magnetfeldstärke des Erdmagnetfeldes 2010

US/UK Globales Magnetfeldmodell -- Epoche 2010.0
Jährliche Änderung der Magnetfeldstärke B



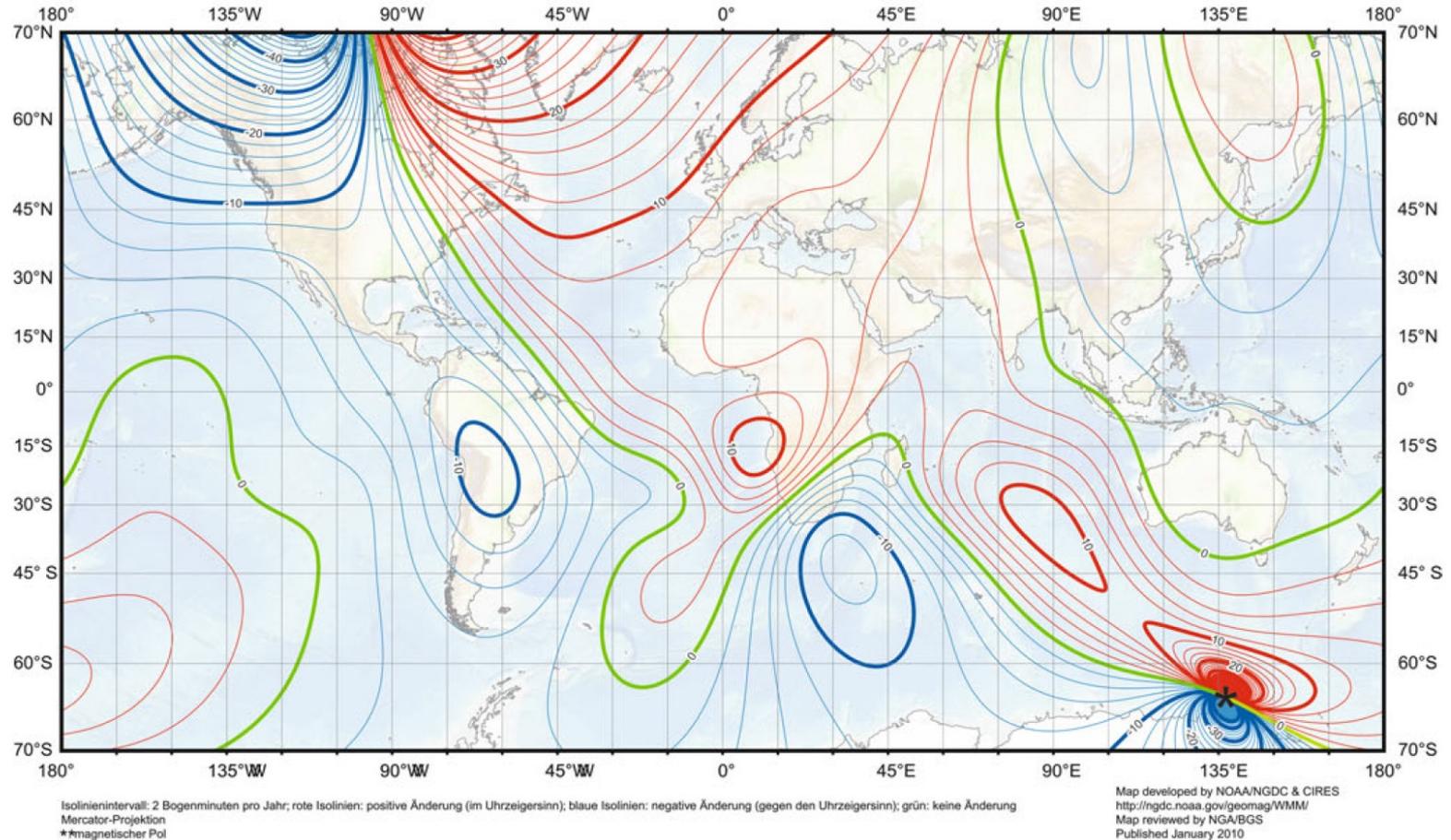
Isolinienintervall: 5 nT pro Jahr; rote Isolinien: positive Änderung; blaue Isolinien: negative Änderung; grün: keine Änderung
Mercator-Projektion
*: magnetischer Pol

Map developed by NOAA/NGDC & CIRES
<http://ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/>
Map reviewed by NGA/BGS
Published January 2010

(Quelle: Clauer, 2014, Einführung in die Geophysik)

Jährliche Änderung der Deklination

US/UK Globales Magnetfeldmodell -- Epoche 2010.0
Jährliche Änderung der Deklination D



Das Erdmagnetfeld - Übersicht

1. Das Innenfeld

- Das Dipolfeld
- Das Nichtdipolfeld
- Zeitliche Variationen
- **Entstehung**

2. Das Außenfeld

3. Magnetische Anomalien

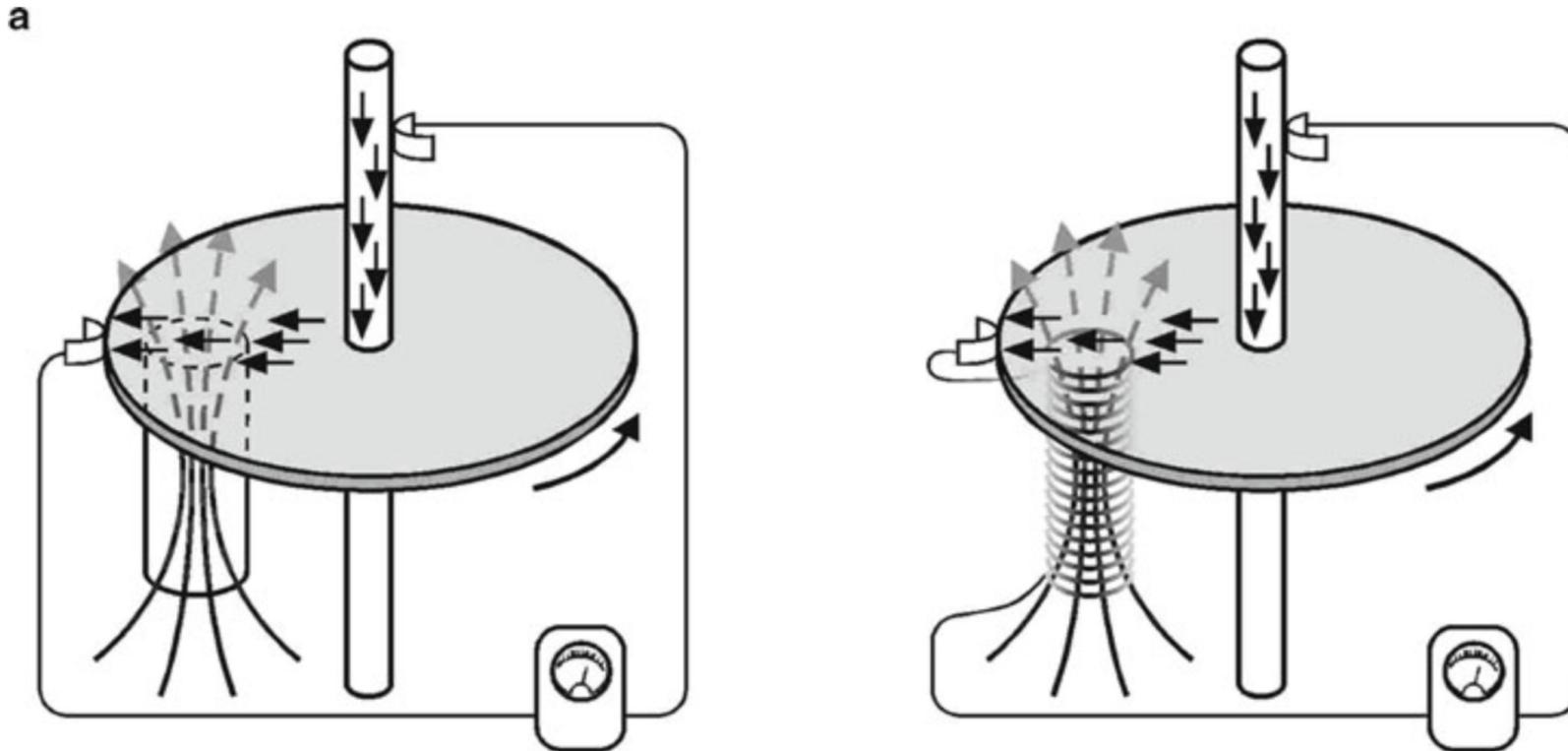
Diese Woche

4. Messgeräte

Nächste Woche

5. Beispiele

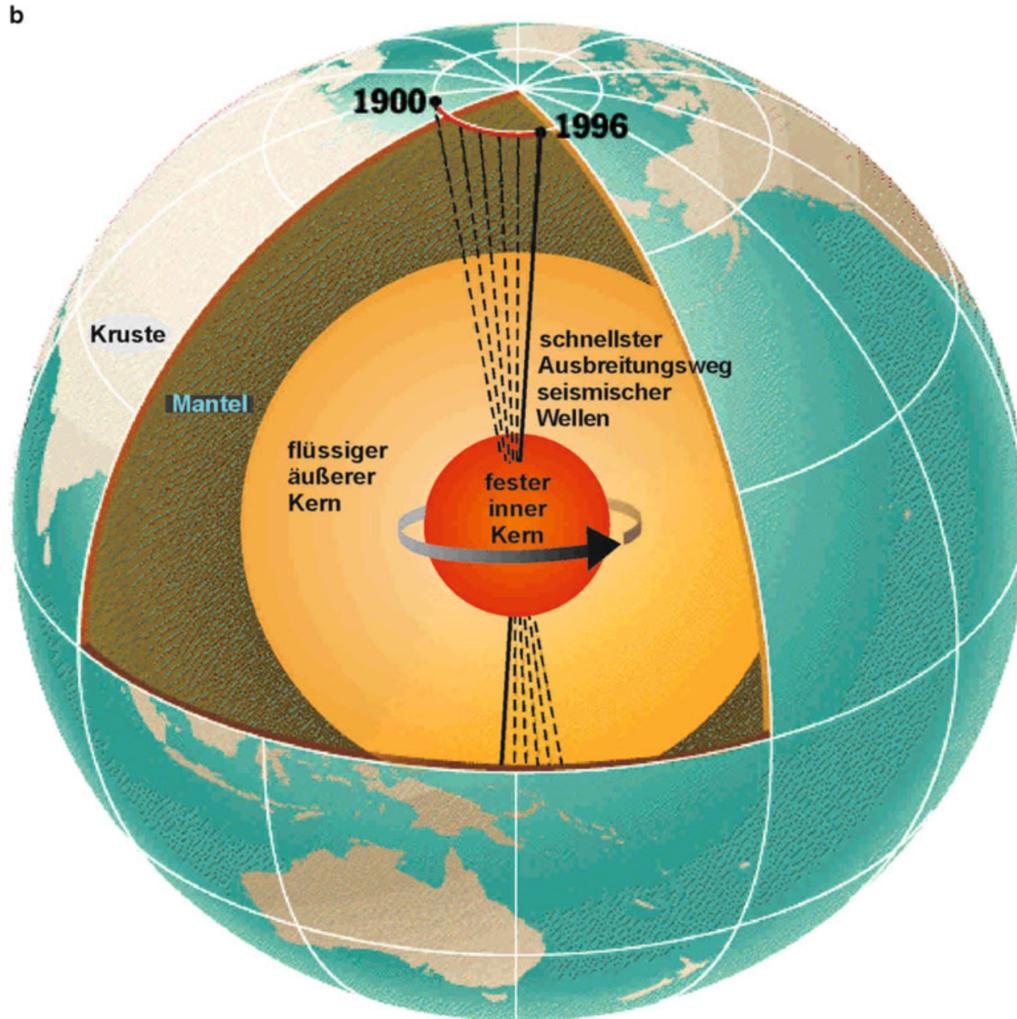
Entstehung des Innenfeldes



Prinzip des selbst-erregten Geodynamos: Ein Dynamo erzeugt Strom, wenn sich die Kupferscheibe im Feld des Stabmagneten bewegt (links). Wird dieser durch eine Magnetspule ersetzt und der erzeugte Strom in die Spule eingespeist, so bleibt das selbsterregte Magnetfeld erhalten, solange sich die Scheibe dreht (rechts). Das Erdmagnetfeld beruht auf dem Prinzip des selbsterregten Dynamos, allerdings auf sehr viel kompliziertere Weise

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Entstehung des Innenfeldes

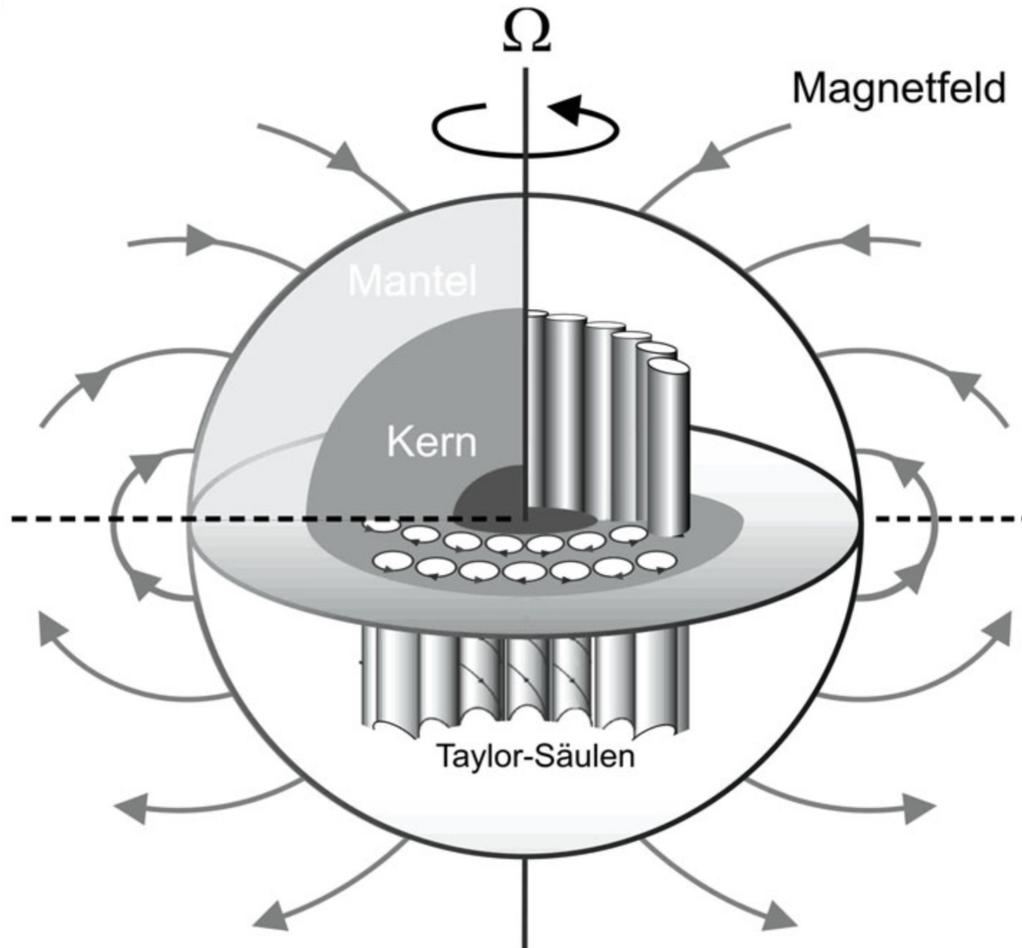


Das Erdmagnetfeld entsteht im flüssigen äußeren Kern. Der feste inneren Kerns rotiert geringfügig schneller. Dargestellt ist ein schematisches Bild der Rotation des festen inneren Eisen-Nickel-Kerns relativ zum Erdmantel. Das Vorseilen des inneren Kerns beträgt etwa 0.3 Längengrade pro Jahr . Die Beobachtung erfolgt u.a. aus der Analyse der Anisotropie seismischer Wellen.

Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Modell zur Entstehung des Innenfeldes

a

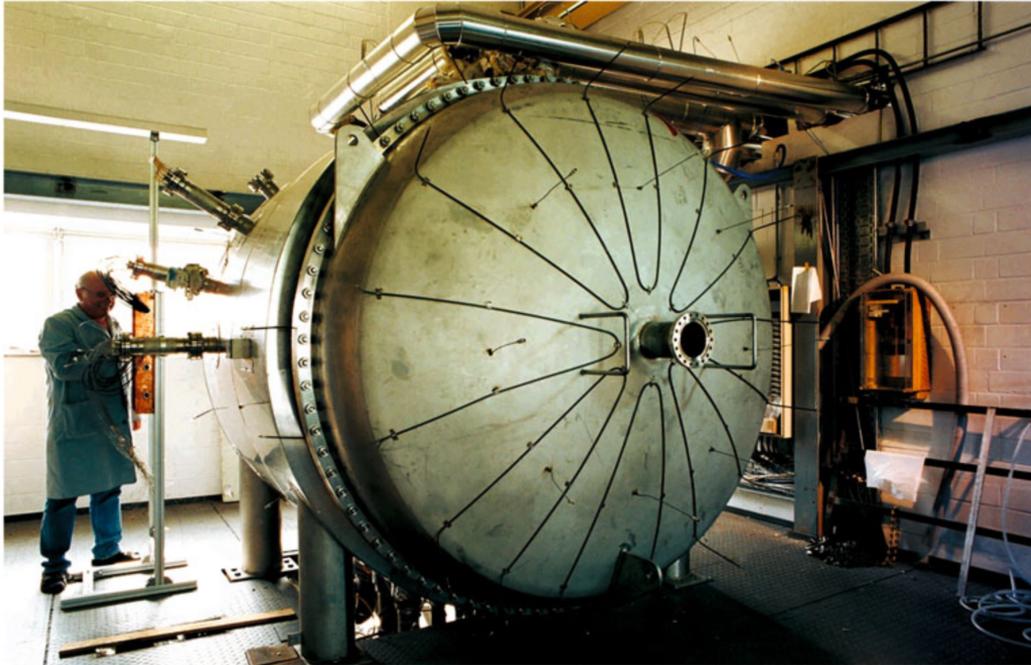


Ein Modell wurde im Labor-Geodynamo am Forschungszentrum Karlsruhe nachgebildet. Dargestellt ist das Funktionsprinzip: das Bild zeigt einen vereinfachten Aufbau der Erde aus festem und flüssigem Kern sowie plastischem Mantel, der bis zur Kruste reicht (von innen nach außen). Im flüssigen Kern können sich durch Temperaturunterschiede Konvektionszellen ausbilden. Die aufgrund der Erdumdrehung zusätzlich wirkende Coriolis-Kraft verursacht eine Ablenkung der Konvektionspfade nach rechts bzw. links auf der Nord- bzw. Südhalbkugel. Dadurch entstehen die dargestellten spiralförmigen Bewegungen in den sogenannten Taylor-Säulen, durch die ein stabiles Magnetfeld erzeugt wird.

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Modell zur Entstehung des Innenfeldes

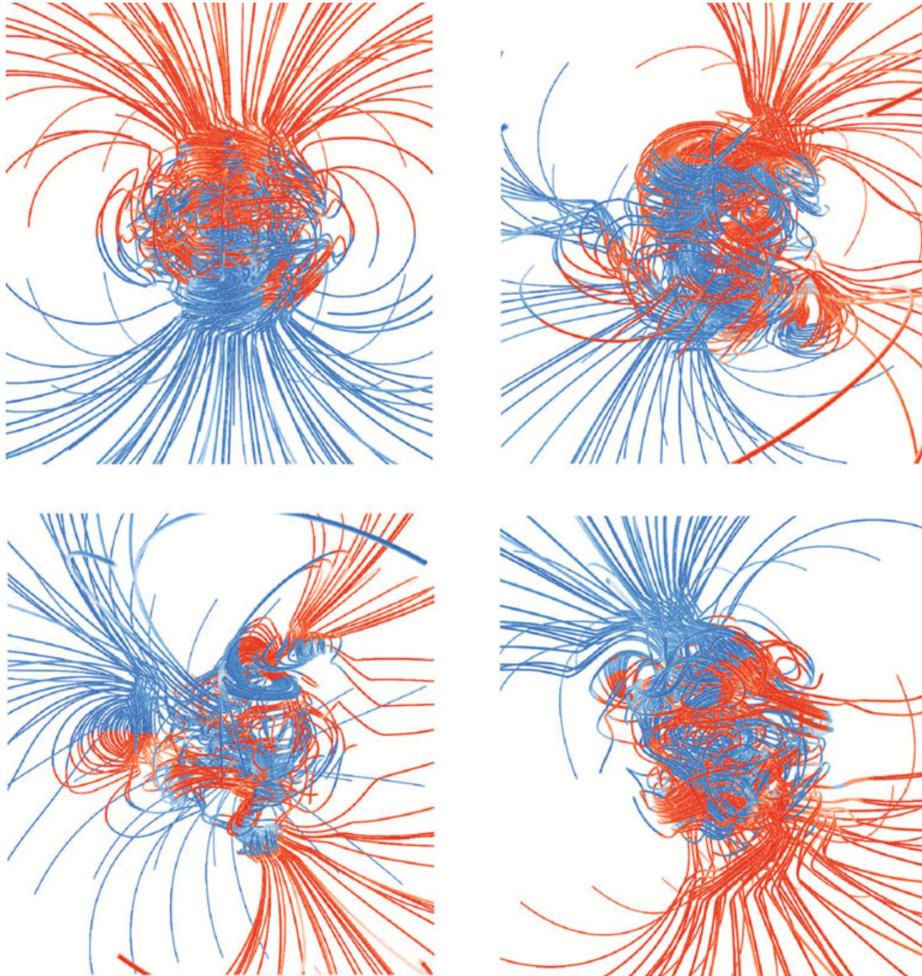
b



Im Dynamomodul des Experiments am Forschungszentrum Karlsruhe wird der flüssige Erdkern durch flüssiges Natrium nachgebildet

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Entstehung des Innenfeldes



Erdmagnetfeld
aus 3D magneto hydrodynamischen
Modellrechnungen von G. A.
Glatzmaier (University of Ca-
lifornia Santa Cruz) und P. H. Roberts
(University of California Los Angeles
Rote Feldlinien sind nach innen
gerichtet, blaue nach außen. Die
Rotationsachse der Modellerde ist
vertikal und verläuft durch das
Zentrum. Von links nach rechts:
Magnetfeld im „heutigen“ Zustand
und 500 Jahre vor einer
Feldumkehr. Unten (von links nach
rechts): Magnetfeld in der Mitte der
Feldumkehr und 500 Jahre danach

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

Das Erdmagnetfeld - Übersicht

1. Das Innenfeld

- Das Dipolfeld
- Das Nichtdipolfeld
- Zeitliche Variationen
- Entstehung

2. Das Außenfeld

3. Magnetische Anomalien

Diese Woche

4. Messgeräte

Nächste Woche

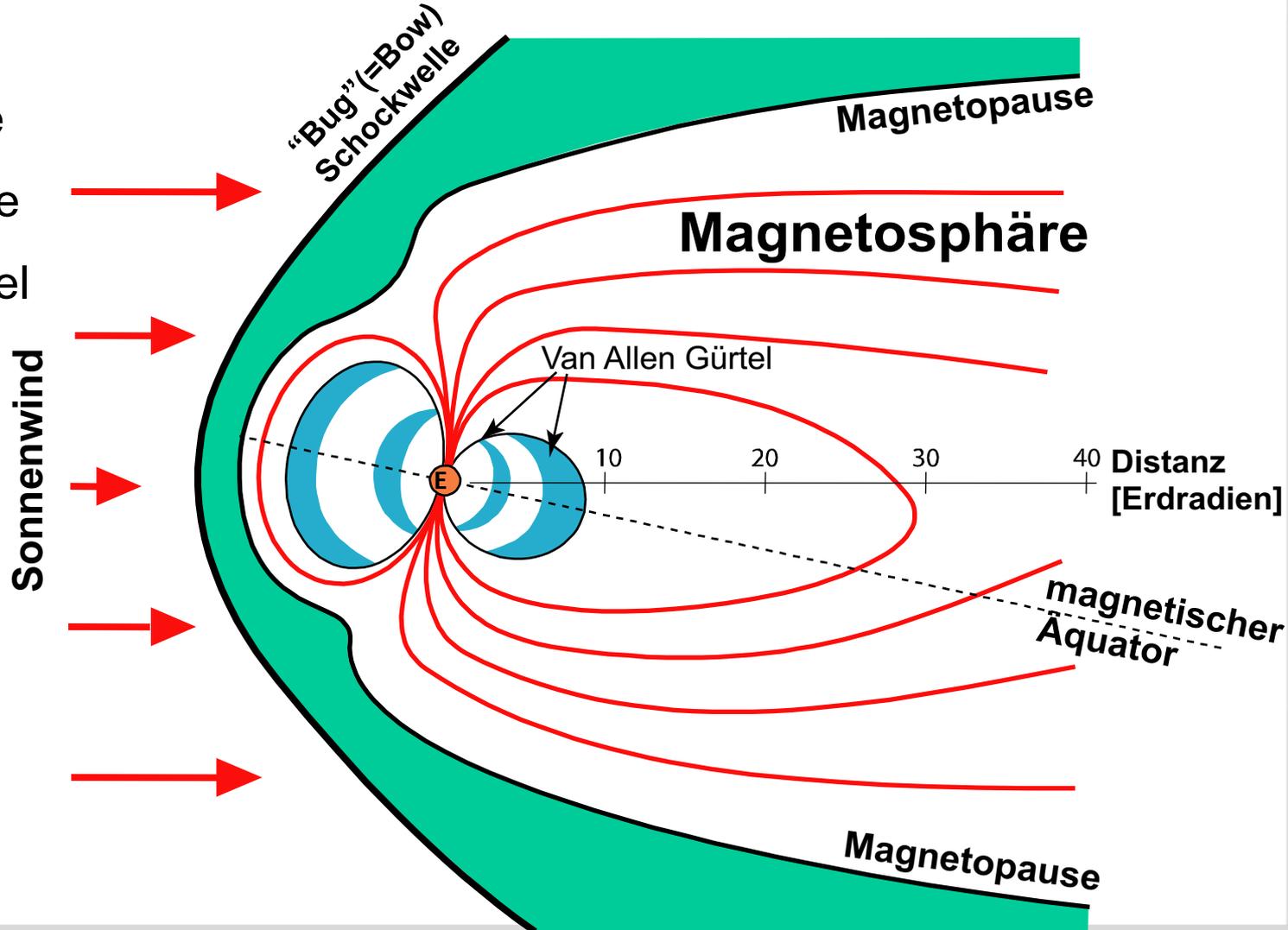
5. Beispiele

Das Außenfeld

Bestandteile

Außenfeld:

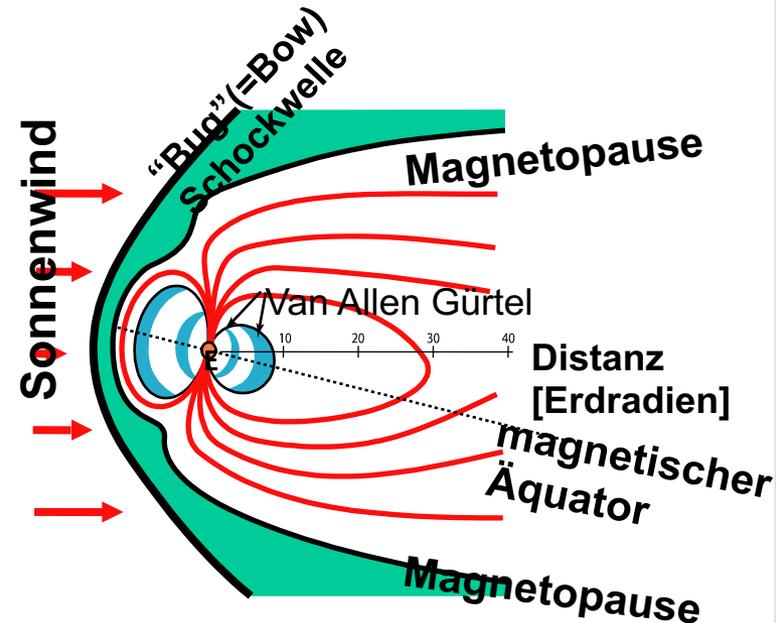
- Magnetopause
- Magnetosphäre
- Van Allen Gürtel
- Ionosphäre



Das Außenfeld

Das Außenfeld: Magnetosphäre

- Der „Sonnenwind“ besteht aus elektrisch geladenen Teilchen (Elektronen, Protonen).
- Geschwindigkeit relativ zur Erde ≈ 400 m/s.
- Bei dieser Ultraschallgeschwindigkeit bildet sich eine Schock-Welle auf der sonnennahen Seite der Erde (= Magnetopause)
- Die Teilchen des Sonnenwindes (wie elektrischer Strom) verursachen Magnetfelder
- Das Erdmagnetfeld wird auf der Tages-Seite verstärkt und auf der Nacht-Seite abgeschwächt

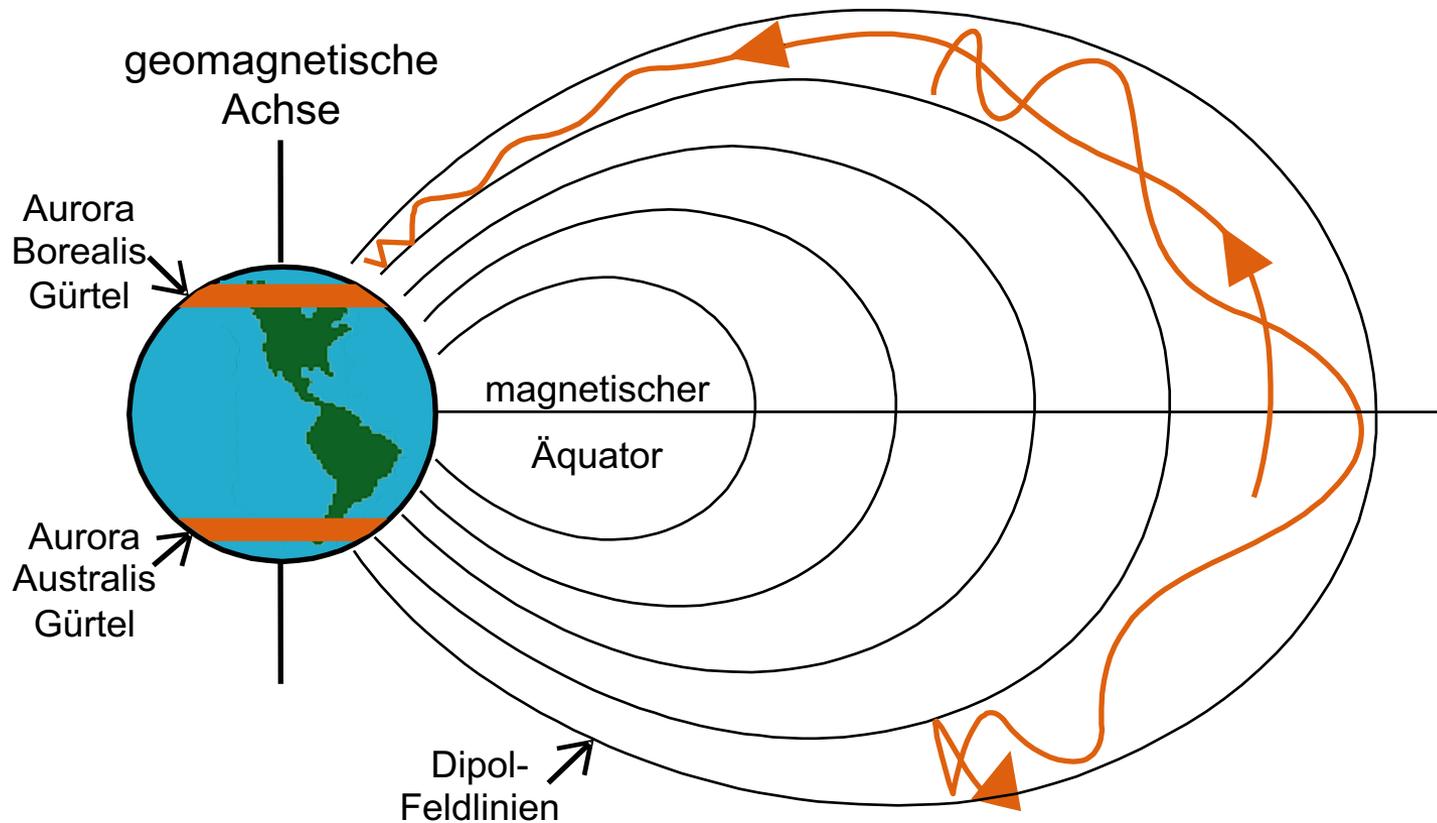


Das Außenfeld: Van Allen Gürtel (Höhe: 2000 – 20000 km)

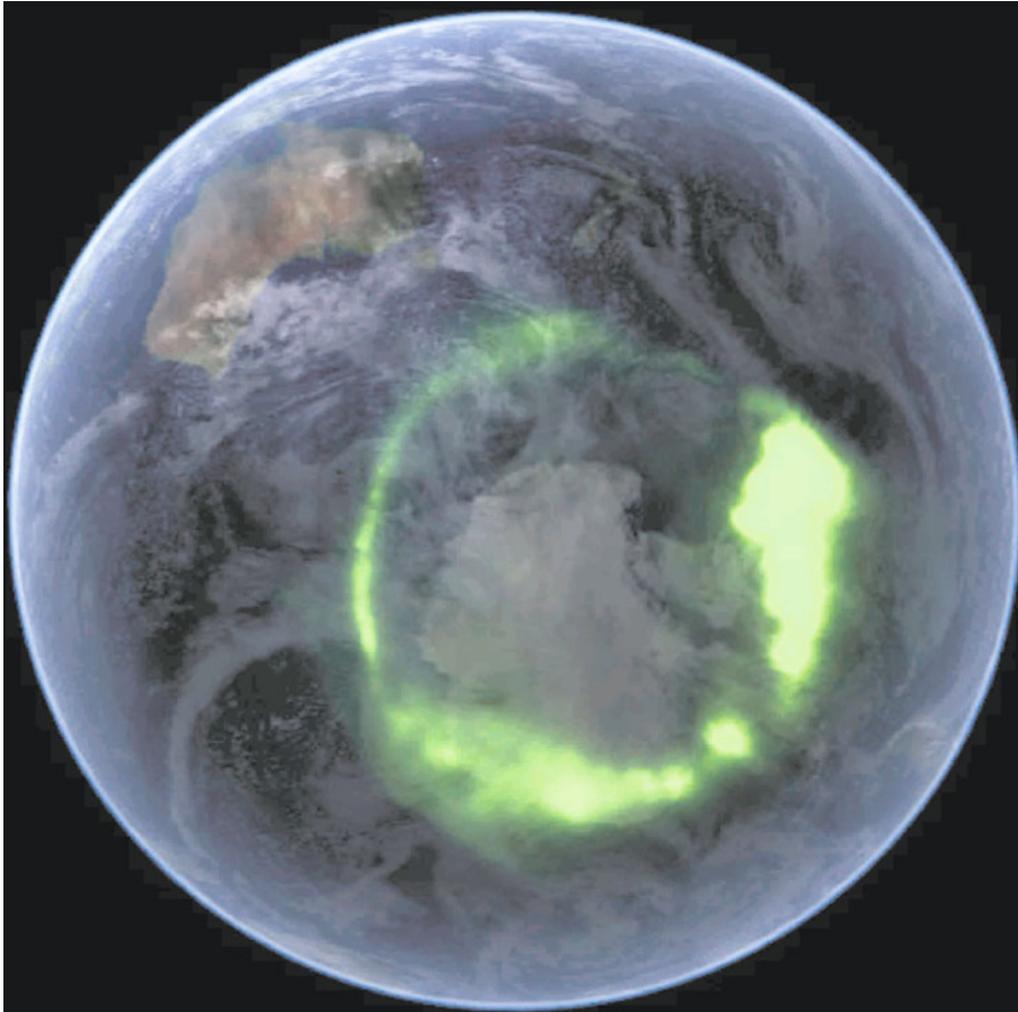
- Ionen des Sonnenwinds (sowie aus der Ionosphäre) werden im Erdmagnetfeld gefangen.
- Die Ionen werden gezwungen, entlang magnetischer Feldlinien schraubenartig von Pol zu Pol zu wandern.
- Es bilden sich „Gürtel“ mit intensiver Strahlung: Van Allen Gürtel
 - innerer Gürtel: $r = 1.3 - 1.7 R$ (2'000 – 5'000 km Höhe)
 - äusserer Gürtel: $r = 3.2 - 4.2 R$ (13'000 – 20'000 km)
 - Die magnetischen Effekte auf der Erdoberfläche sind aufgrund der grossen Entfernung gering.

Das Außenfeld

Die Bewegung der eingefangenen geladenen Partikel im erdmagnetischen Feld



Das Außenfeld



Südliches Polarlicht (aurora australis), aufgenommen vom NASA IMAGE Satelliten am 11. September 2005, vier Tage nach der extrem starken Sonneneruption und dem damit verbundenen starken Plasmafluss in Richtung Erde;

(Quelle: Clauser, 2014, Einführung in die Geophysik)

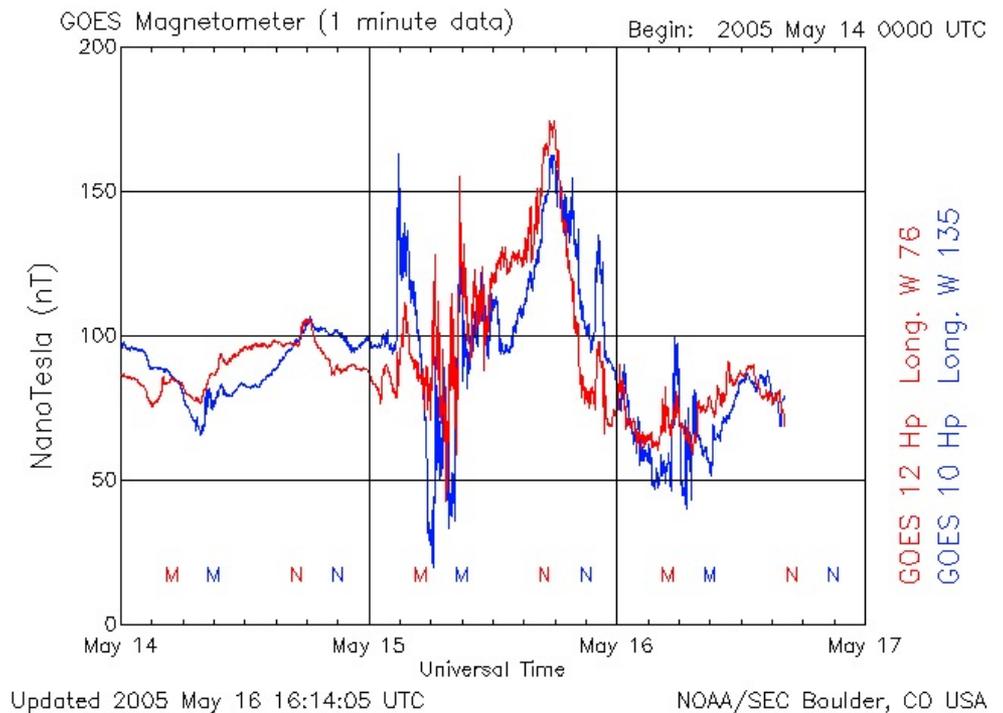
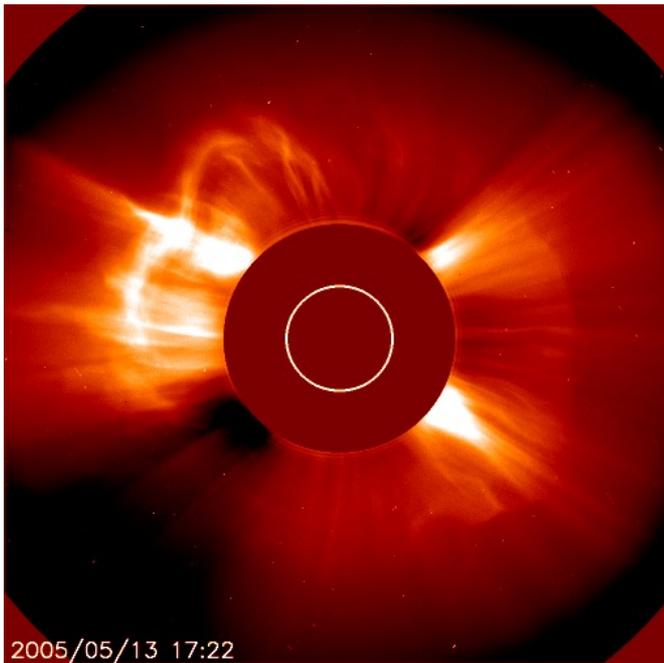
Variation des Erdmagnetfeldes: S_D

- Sonnenflecken lösen immense Strahlung (+ Sonnenwind) aus >>> Verstärkung des Erdmagnetfeldes >>> S_D (= solar disturbed variation)
- S_D kann „magnetische Stürme“ mit Intensitäten von 100 – 1000 nT entsprechen.
- Die tägliche Variation und magnetische Stürme sind breitenabhängig (stärker am Pol).
- Während magnetischen Stürmen muss die magnetische Prospektion eingestellt werden. Die Ausbreitung der Radiowellen („Kurzwele“) wird gestört.

Das Außenfeld – Sonnenwind

S_D (= solar disturbed variation)

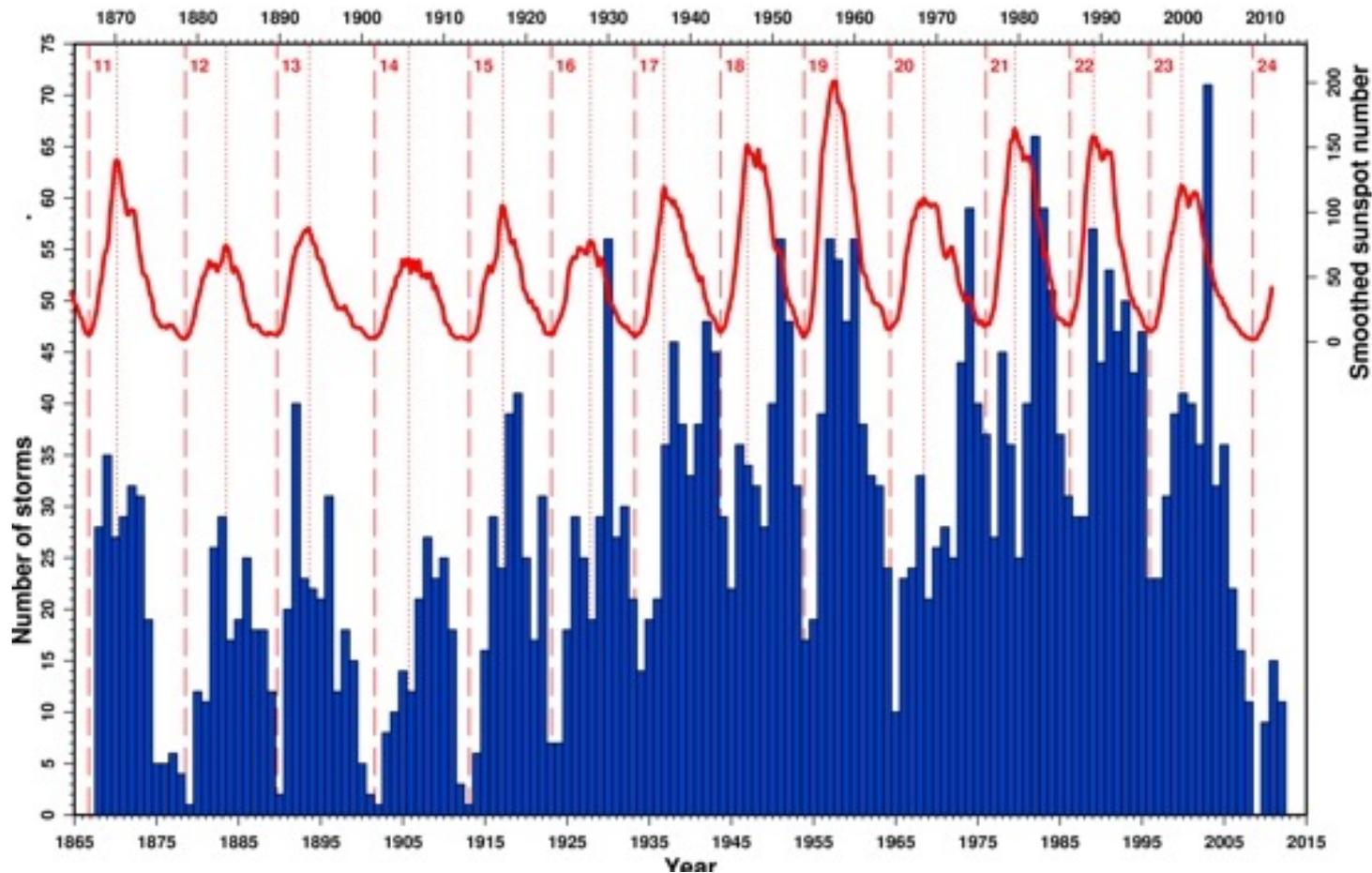
Beispiel eines magnetischen Sturms (13. Mai, 2005).



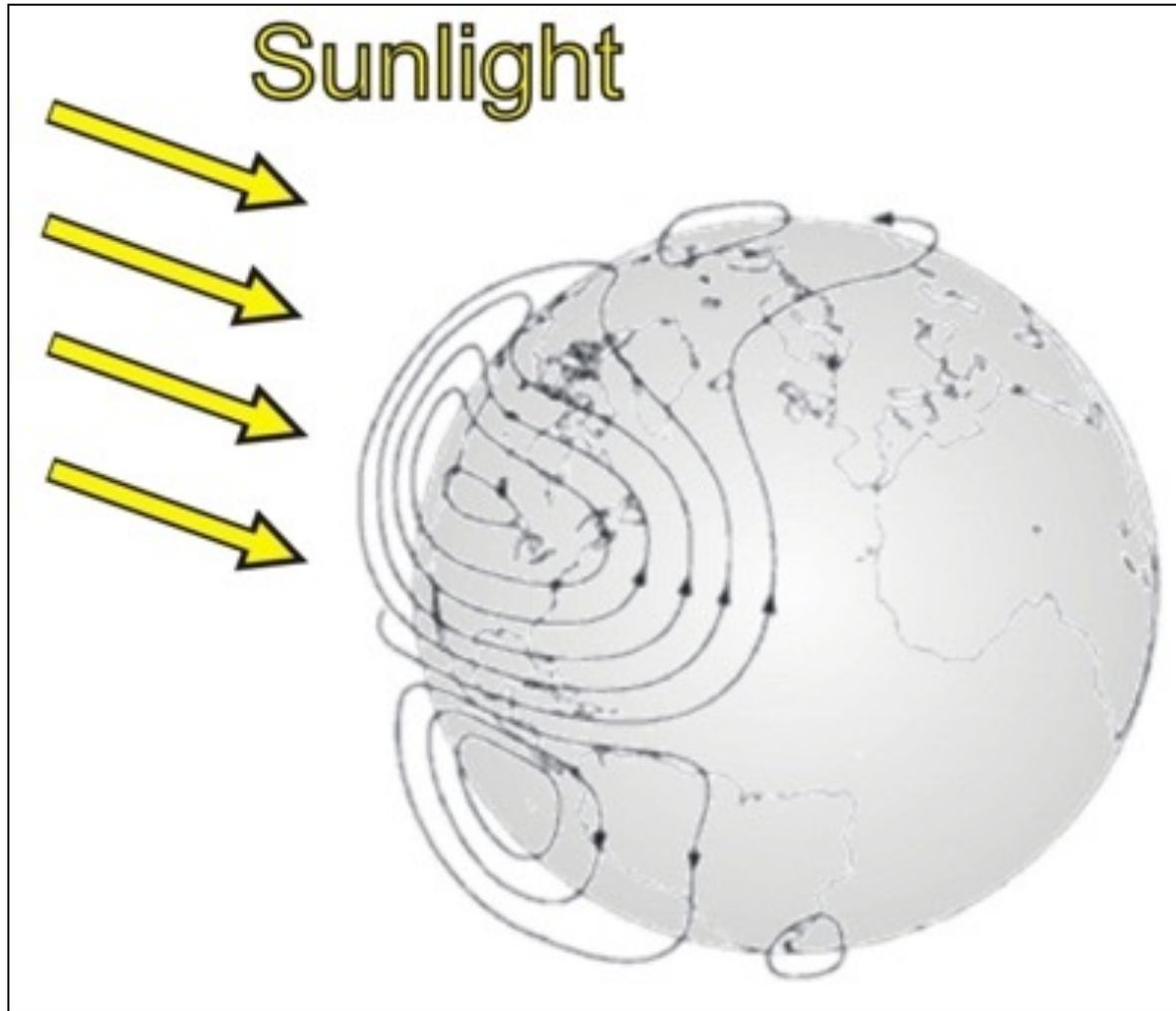
Das Außenfeld – Sonnenwind

Variation des Erdmagnetfeldes: S_D

Sunspot Cycle and Annual Number of Magnetic Storms

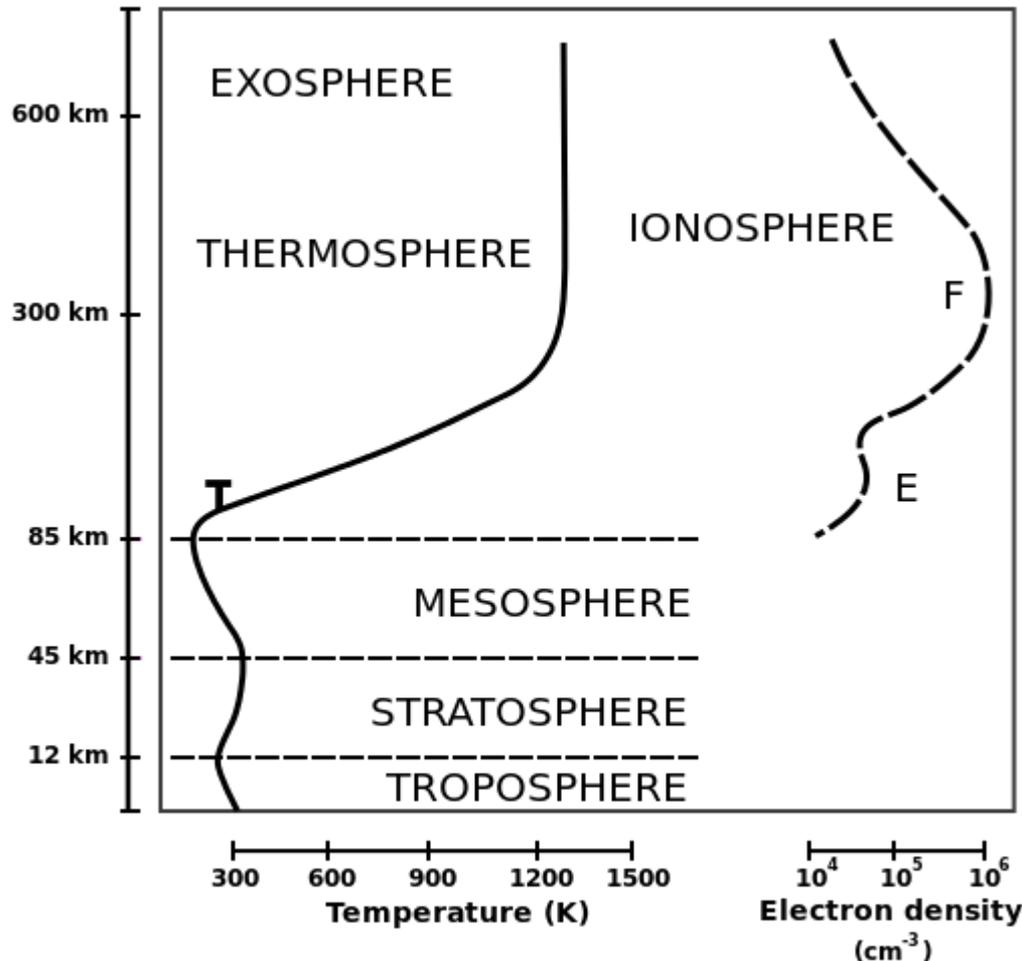


Das Außenfeld - Ionosphäre



Das Außenfeld - Ionosphäre

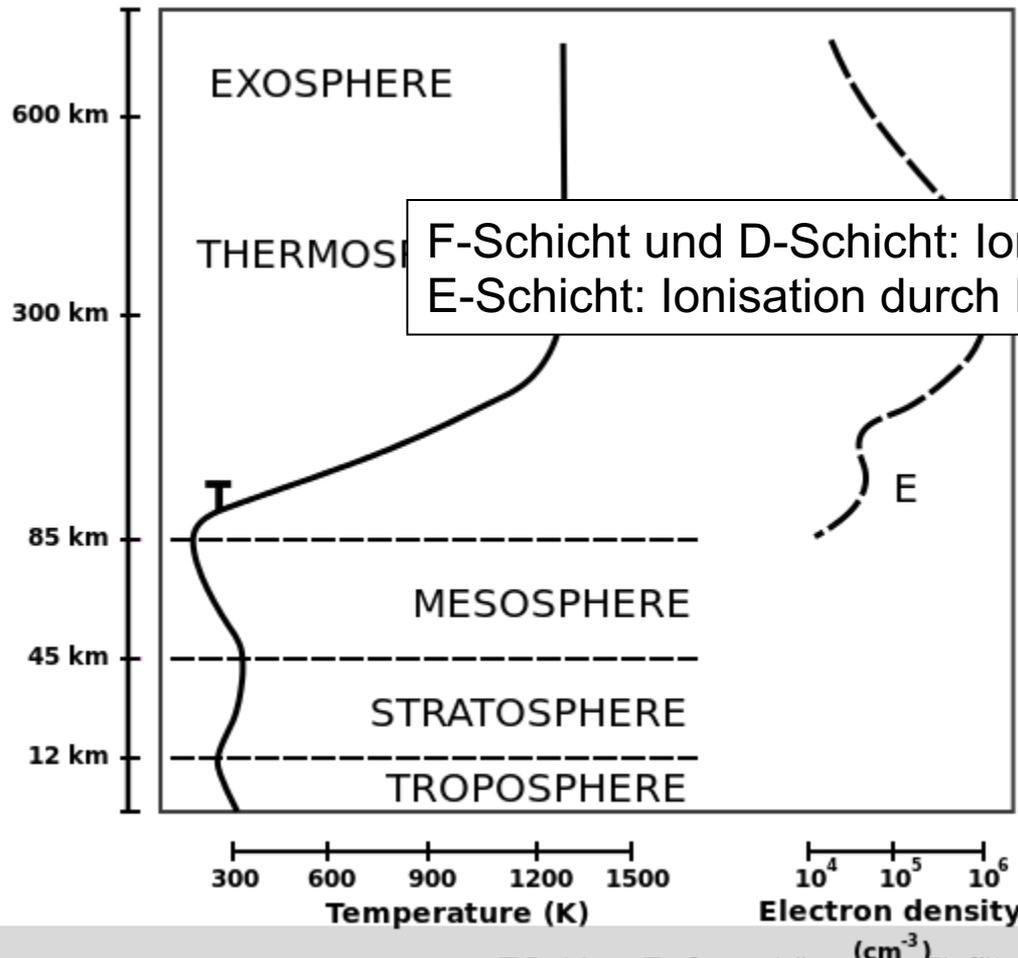
Außenfeld : Ionosphäre (Höhe: 80 – 500 km)



Ionosphäre: Teil der Atmosphäre eines Himmelskörpers, der große Mengen von Ionen und freien Elektronen enthält.

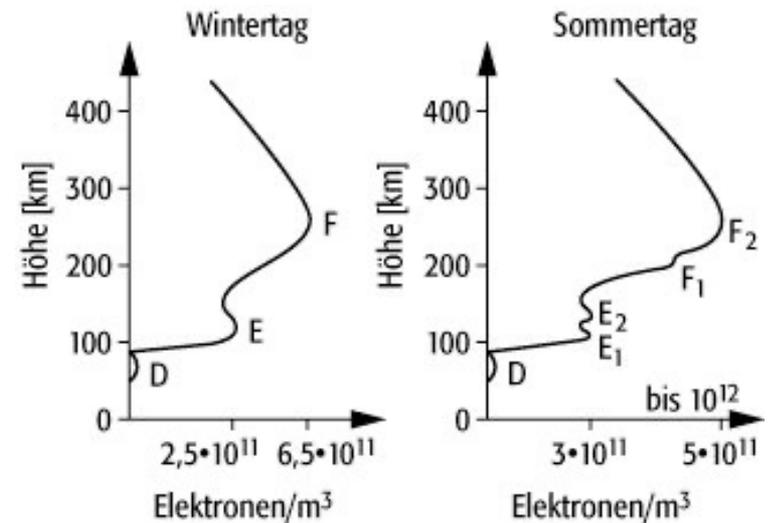
Das Außenfeld- Ionosphäre

Außenfeld : Ionosphäre (Höhe: 80 – 500 km)



Ionosphäre: Teil der Atmosphäre eines Himmelskörpers, der große

F-Schicht und D-Schicht: Ionisation durch UV-Strahlung,
E-Schicht: Ionisation durch Röntgen-Strahlung

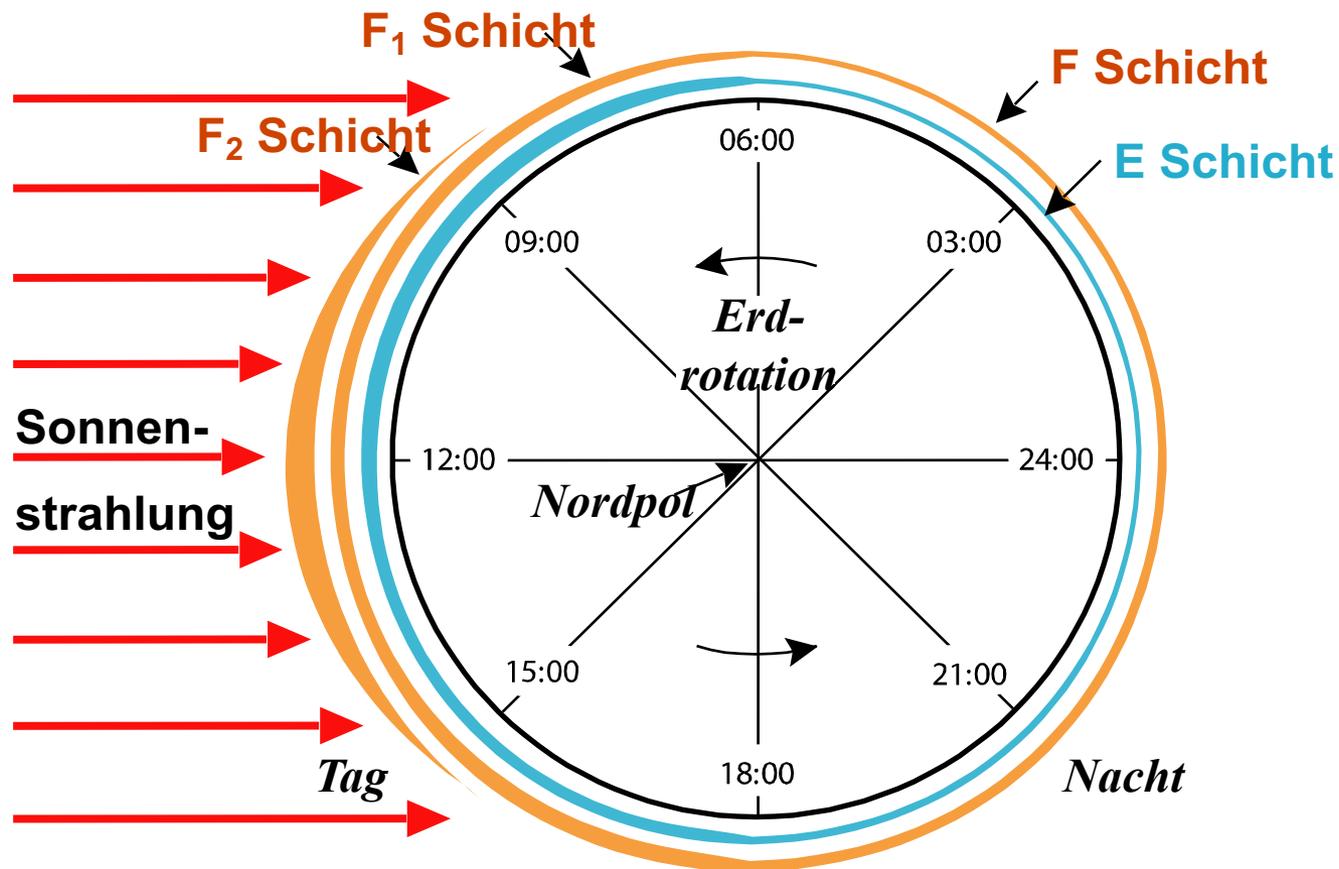


Außenfeld : Ionosphäre (Höhe: 80 – 500 km)

- UV-Strahlung und Röntgenstrahlung der Sonne ionisiert die Moleküle (O₂, N₂) der oberen Atmosphäre, d.h. Ladungen werden getrennt.
- Ionisierte Schichten bilden sich in Höhen von 50 – 1500 km: (D), E, F1, F2, (G) = 5 Schichten.
- Die dichtesten Schichten sind in Höhen 80 – 300 km: (D), E, F1, F2.
- Funkamateure nutzen reflektierte Radiowellen von der E- und F-Schichten (nur langwellige Wellen, die kurzwelligen entweichen ins All).
- Die ionisierten Moleküle setzen Elektronen frei, die sich den Feldlinien entlang bewegen.
- Die sich bewegenden Elektronen bilden Stromkreise, die Magnetfelder erzeugen - spürbares Außenfeld an der Erdoberfläche.

Das Außenfeld - Ionosphäre

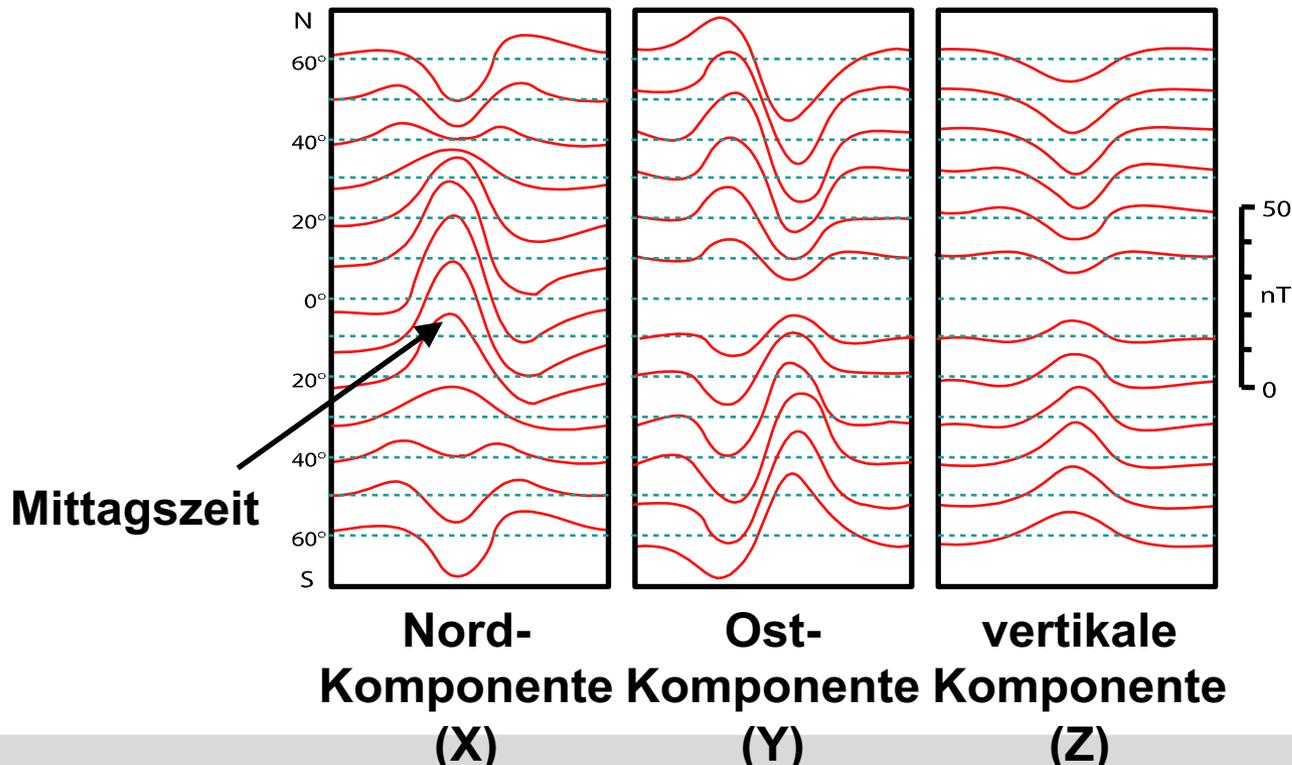
Änderung der Ionosphäre während eines Tages



Das Außenfeld - Ionosphäre

Tägliche Variation des Erdmagnetfeldes: S_Q

- Infolge der Erddrehung schwanken die Magnetfelder der Ionosphäre während des Tages $\gg \gg S_Q$ (= solar quiet variation)



Das Erdmagnetfeld - Übersicht

1. Das Innenfeld

- Das Dipolfeld
- Das Nichtdipolfeld
- Zeitliche Variationen
- Entstehung

2. Das Außenfeld

3. **Magnetische Anomalien**

Diese Woche

4. Messgeräte

Nächste Woche

5. Beispiele

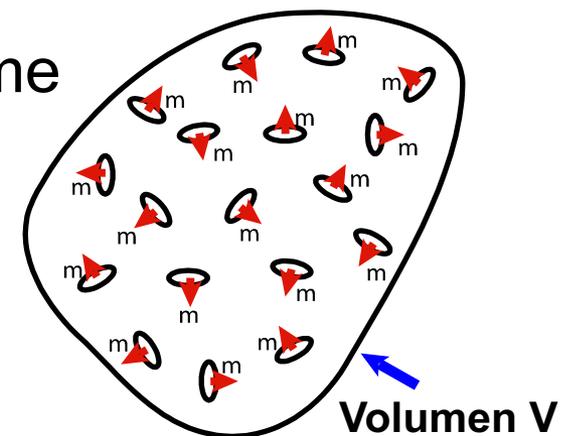
Magnetische Anomalien

Magnetisierung

- Jedes Atom in einem Mineral besitzt ein **magnetisches Moment**, d.h. es verhält sich wie eine Kompass-Nadel.
- Die vektorielle Summe der einzelnen magnetischen Momente pro Volumeneinheit ist die **Magnetisierung M**.

m = magnetischer Moment einzelner Atome

Magnetisierung $M = \frac{\sum m}{V}$



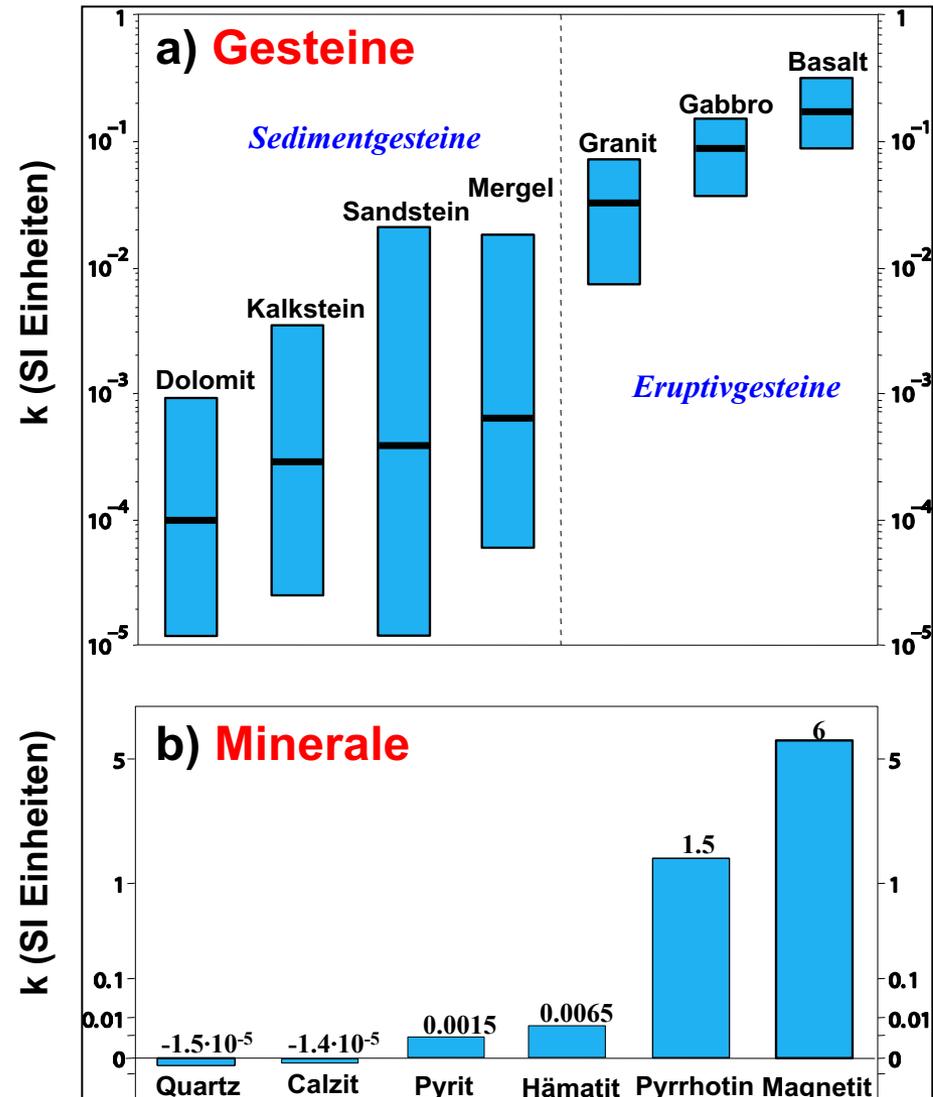
Induzierte und remanente Magnetisierung

Erläuterung an der Tafel

Maßgeblich für Induktion: Suszeptibilität

Suszeptibilität k

- Die Suszeptibilität von Gesteinen ist abhängig vom Gehalt an Magnetit (oder Hämatit) – Die gesteinsmagnetischen Eigenschaften sind sehr variabel.
- Die Suszeptibilität ist ein wichtiger Parameter in der magnetischen Prospektion.



Magnetische Anomalien

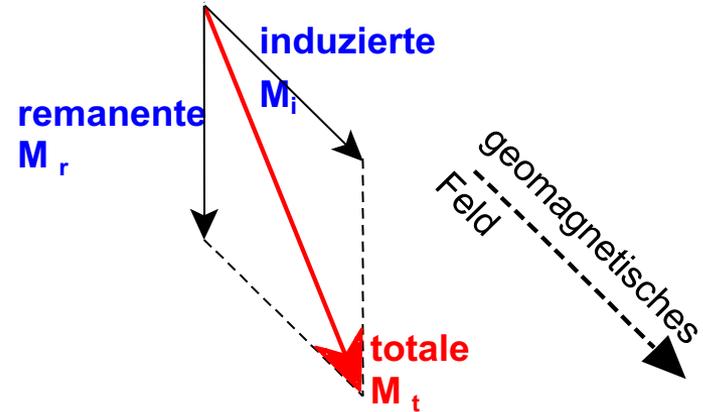
Königsberger Verhältnis Q

$$Q = \frac{\text{remanente Magnetisierung}}{\text{induzierte Magnetisierung}} = \frac{M_r}{k \cdot H}$$

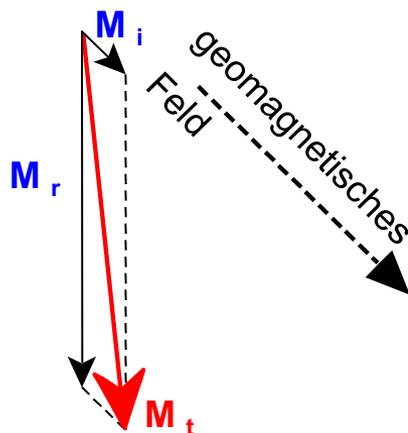
- $Q \gg 1$: remanente Magnetisierung ist wichtiger als die induzierte Magnetisierung - paläomagnetische Eigenschaften, Entstehung von ozeanischen magnetischen Anomalien
- $Q \ll 1$: induzierte Magnetisierung wichtiger als M_r - Erzlagerstätten, Magnetisierung der kontinentalen Erdkruste („Kristallin“)

Magnetische Anomalien

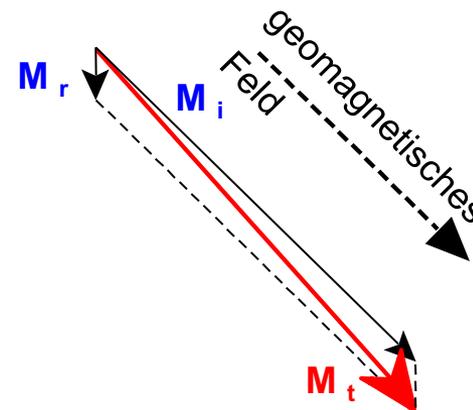
Induzierte und remanente Magnetisierung



Paläomagnetismus: $Q \gg 1$

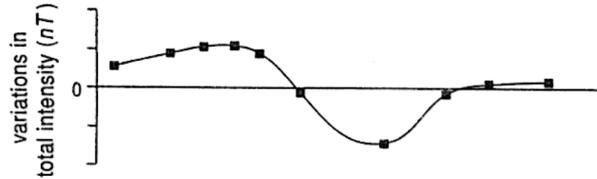


Magnetische Prospektion: $Q \ll 1$

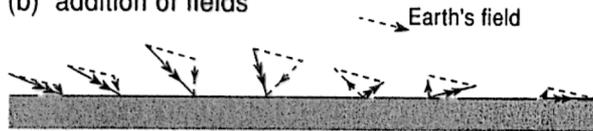


Form magnetischer Anomalien

(a) anomaly



(b) addition of fields



(c) field of body

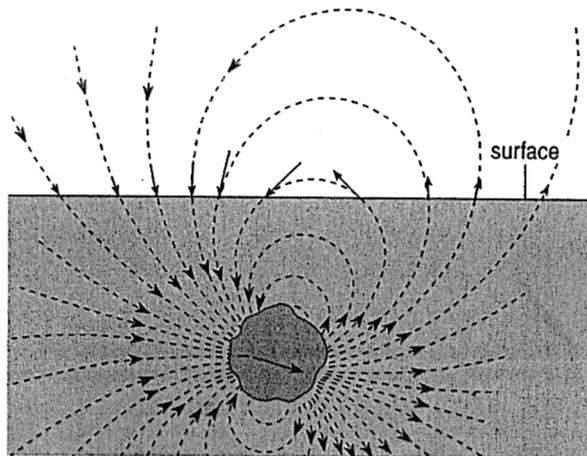


Figure 11.1 Magnetic field of a buried dipole.

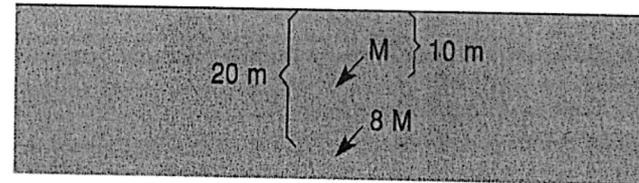
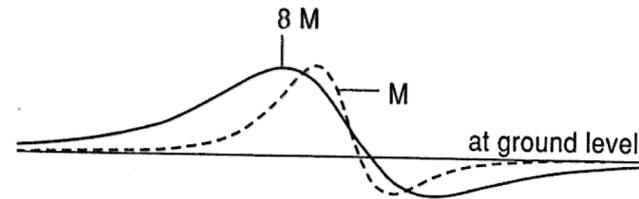
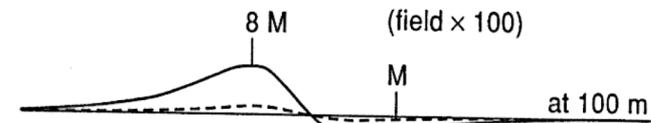


Figure 11.17 Anomalies at different heights of two dipoles.

Russett + Khan 2000

Form magnetischer Anomalien

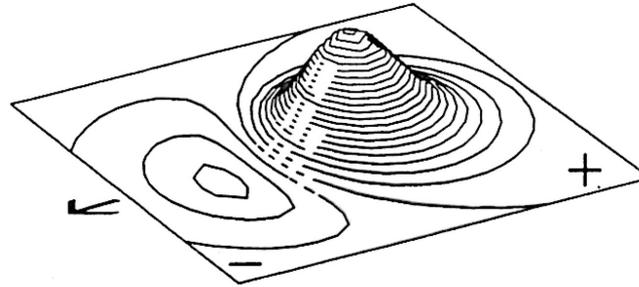
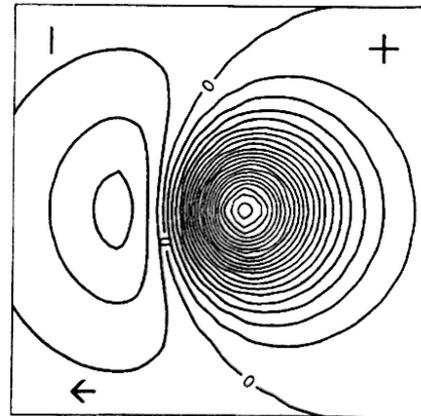


Abb. 14:
 Räumliche Darstellung der Vertikalkomponente des Störfeldes eines magnetischen Dipols im Zentrum der abgebildeten Fläche. Der Dipol hat eine Inklination von 45° in Richtung des Pfeiles. Das Gebiet positiver Störwerte ist durch das Pluszeichen markiert



Das Erdmagnetfeld - Übersicht

1. Das Innenfeld

- Das Dipolfeld
- Das Nichtdipolfeld
- Zeitliche Variationen
- Entstehung

2. Das Außenfeld

3. Magnetische Anomalien

Diese Woche

4. Messgeräte

Nächste Woche

5. Beispiele

Zusammenfassung

- Das Erdmagnetfeld besteht zu 95% aus einem Dipolfeld und zu 5% aus einem Nichtdipolfeld.
- Das Innenfeld entsteht durch einen selbsterzeugenden Geodynamo.
- Das äußere Feld entsteht durch den Sonnenwind und Ionisierung in der Ionosphäre
- Die zeitliche Veränderungen finden auf einer breiten Skala statt: Polumkehr (10^7 a), Säkularvariationen (1-100a), ... SD (Stunden-Min), SQ (Stunden)
- Die Magnetisierung eines Gesteins kann induziert oder remanent sein.
- Die Form magnetischer Anomalien hängt auch von der Orientierung des äußeren Feldes ab.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !