



# Das Erdmagnetfeld – vom Erdkern bis zum Weltall

Claudia Stolle

Helmholtz Zentrum Potsdam, GFZ, Deutsches GeoForschungsZentrum,  
Sektion 2.3 “Erdmagnetfeld”

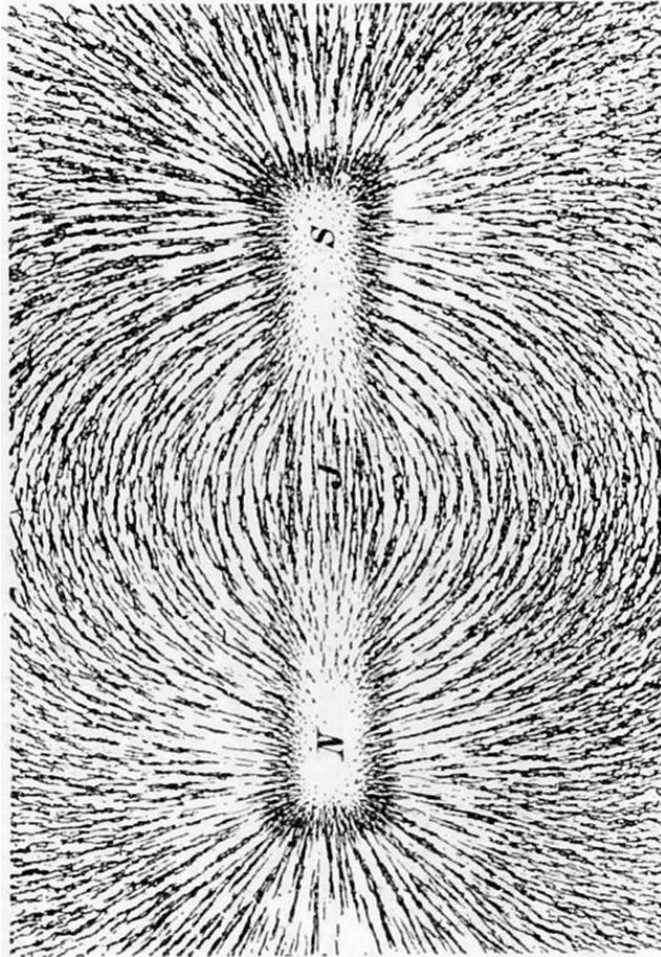
Universität Potsdam,  
Institut für Mathematik und Institut für Erd- und Umweltwissenschaften

## Wie entsteht das Magnetfeld?

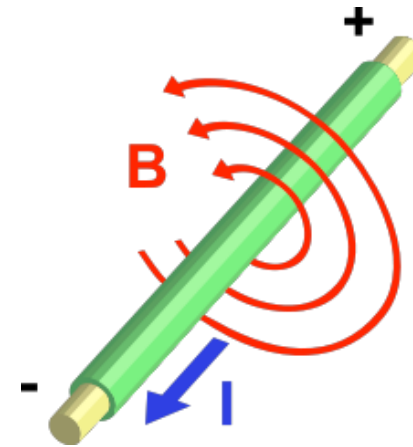
### Permanente Magnetisierung

von Materialien:

z.B. Dipolfeld eines Stabmagneten



Durch elektrische Ströme  
**induziertes Magnetfeld**



Ampères Gesetz

$$\text{rot}(\vec{B}) = \mu_0 \vec{j}$$

## Das Magnetfeld ist eine Vektorgröße:

es wird durch **Stärke** und **Richtung** vollständig beschrieben

F Totalintensität (Magnetfeldstärke)

X Nordkomponente

Y. Ostkomponente

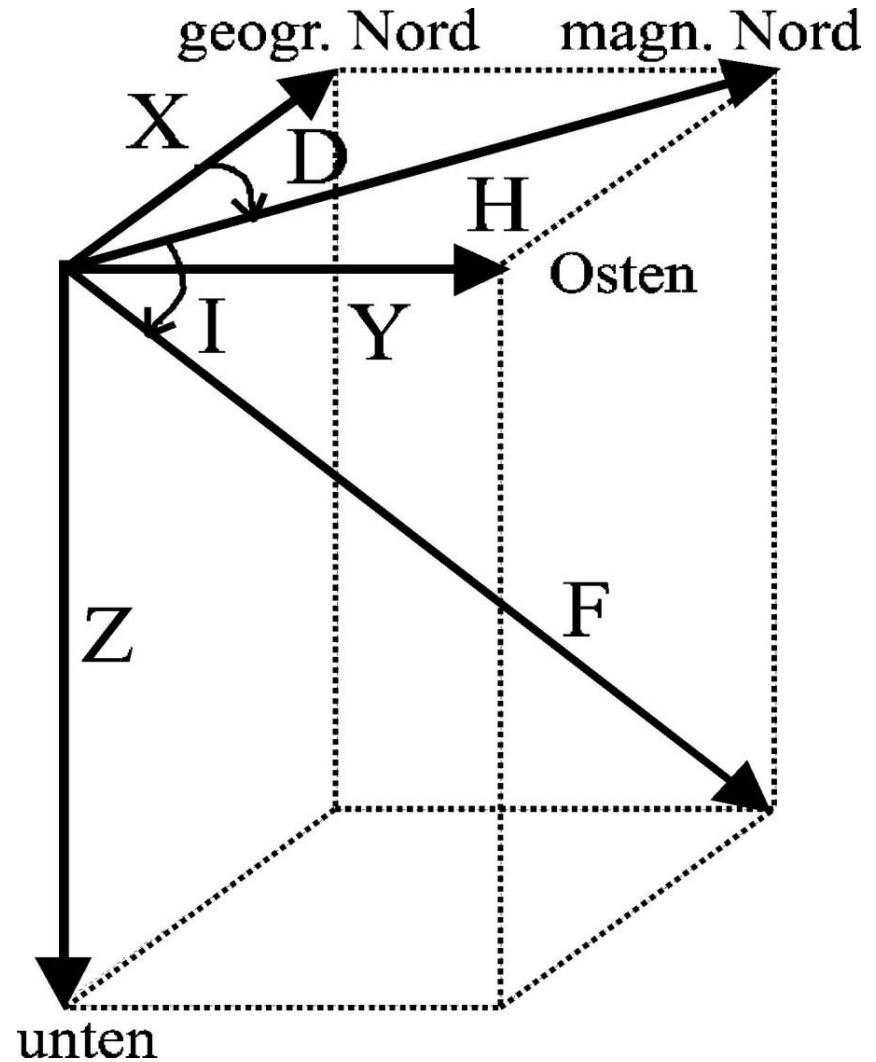
Z. Vertikalintensität

H. Horizontalintensität

D Deklination

I. Inklination

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



# Magnetfeld der Erde

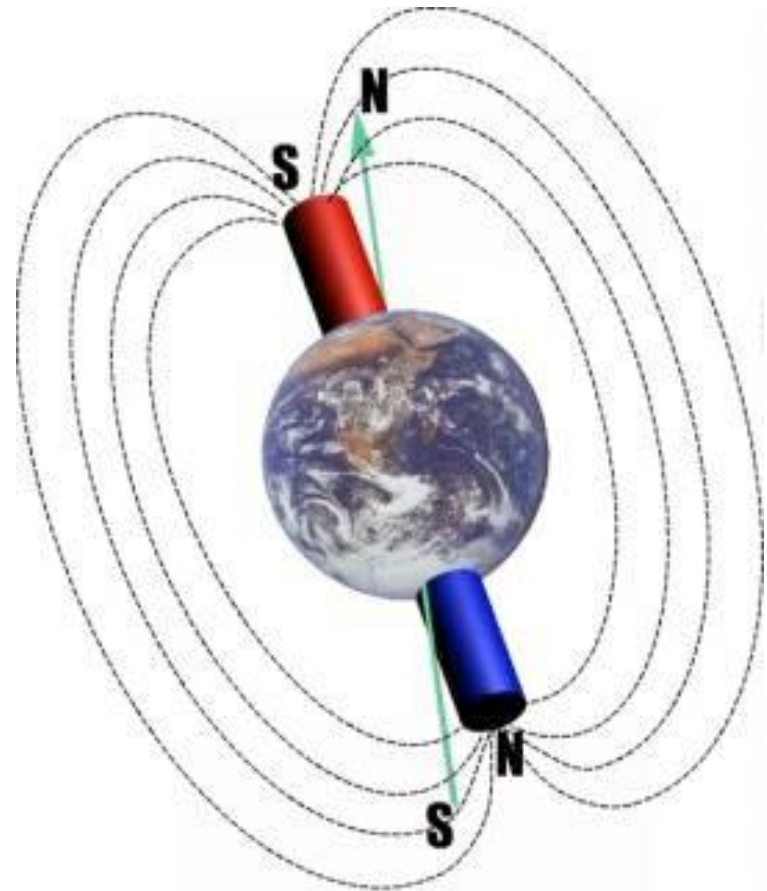
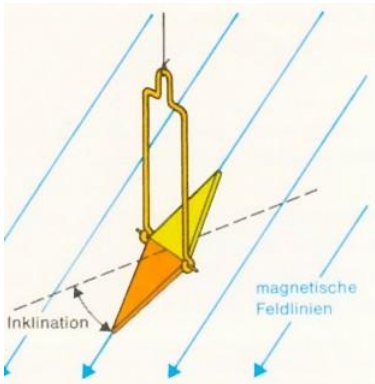
ist in **erster Approximation** als Dipolfeld beschrieben

Inklination zur Erdachse: ca.  $11^\circ$

Stärke des Dipols:

am Äquator 25,000 nT

An den Polen: 60,000 nT



# Geschichte des Nutzung und Beschreibung des Magnetfeldes durch den Menschen:

## Navigation:

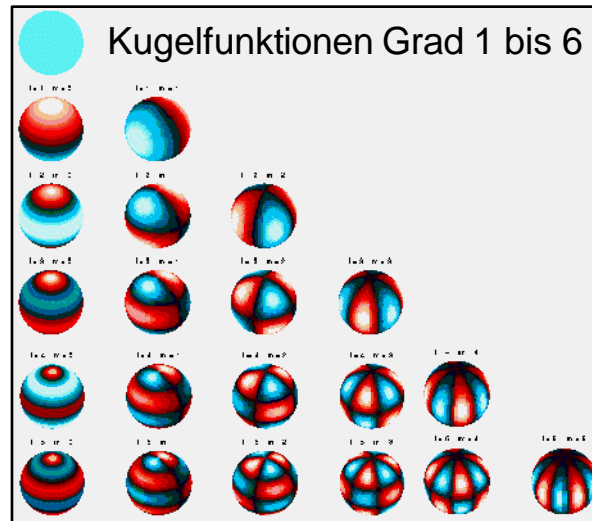
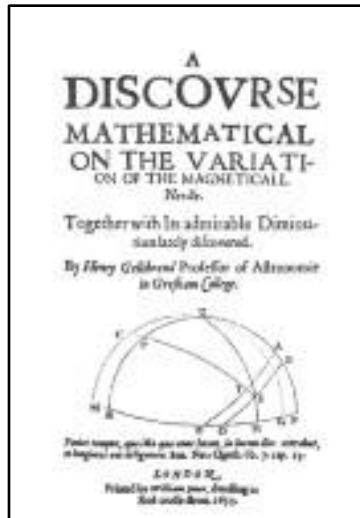
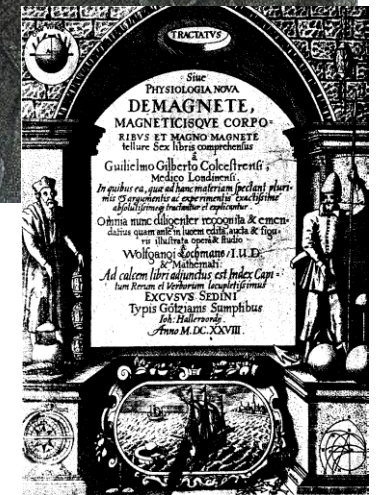
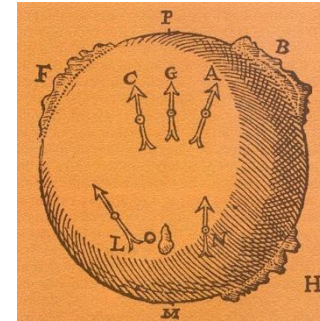
- Kompass in China schon im 11. Jahrhundert bekannt
- Ab dem 12. Jahrhundert Kompass auf Schiffen benutzt
- Moderne Autopiloten in der Marine und in der Luftfahrt



# Geschichte des Nutzung und Beschreibung des Magnetfeldes durch den Menschen:

## Physik und Mathematische Beschreibung:

- William Gilbert: “De Magnete”, 1600
- Henry Gellibrand: Säkularvariation, 1634
- Carl Friedrich Gauss: Kugelfunktionsanalyse, 1835



# Geschichte des Nutzung und Beschreibung des Magnetfeldes durch den Menschen:

## Bedeutende Erdmagnetfeldforscher Deutschlands



Alexander von Humboldt  
(1769-1859):  
Geomagnetische  
Observatorien



Carl Friedrich Gauss  
(1777-1855):  
Messung der Intensität,  
Kugelfunktionsanalyse

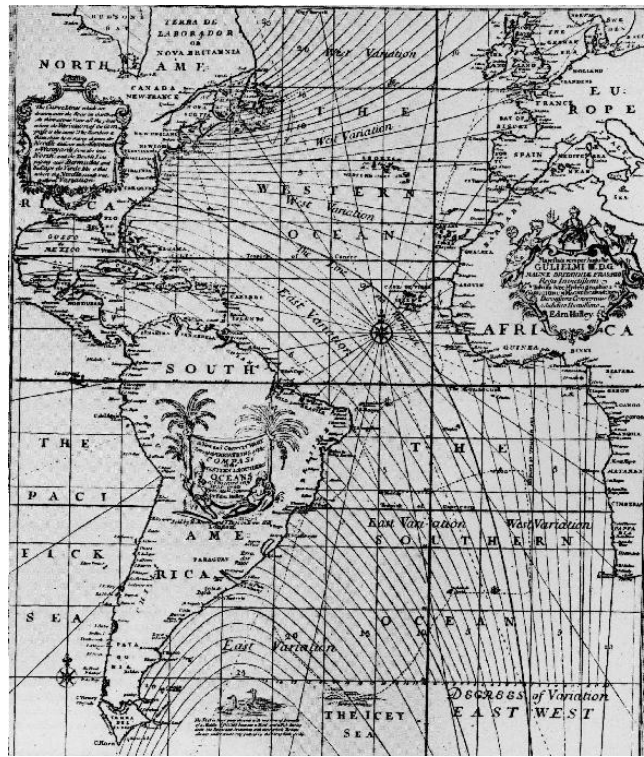
Adolf Schmidt  
(1860-1944):  
Geomagnetische  
Koordinaten



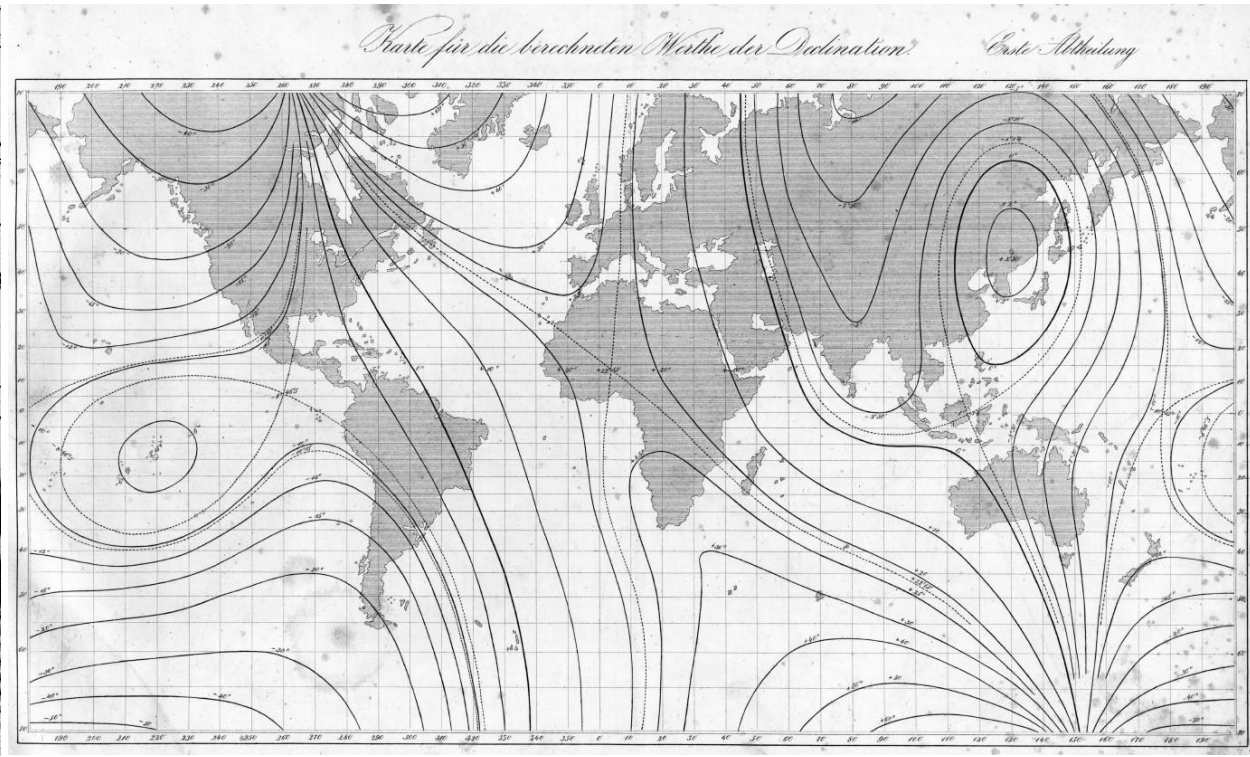
# Geschichte des Nutzung und Beschreibung des Magnetfeldes durch den Menschen:

## Erste globale Kartierungen des Erdmagnetfeldes

Deklination, Halley (1700)

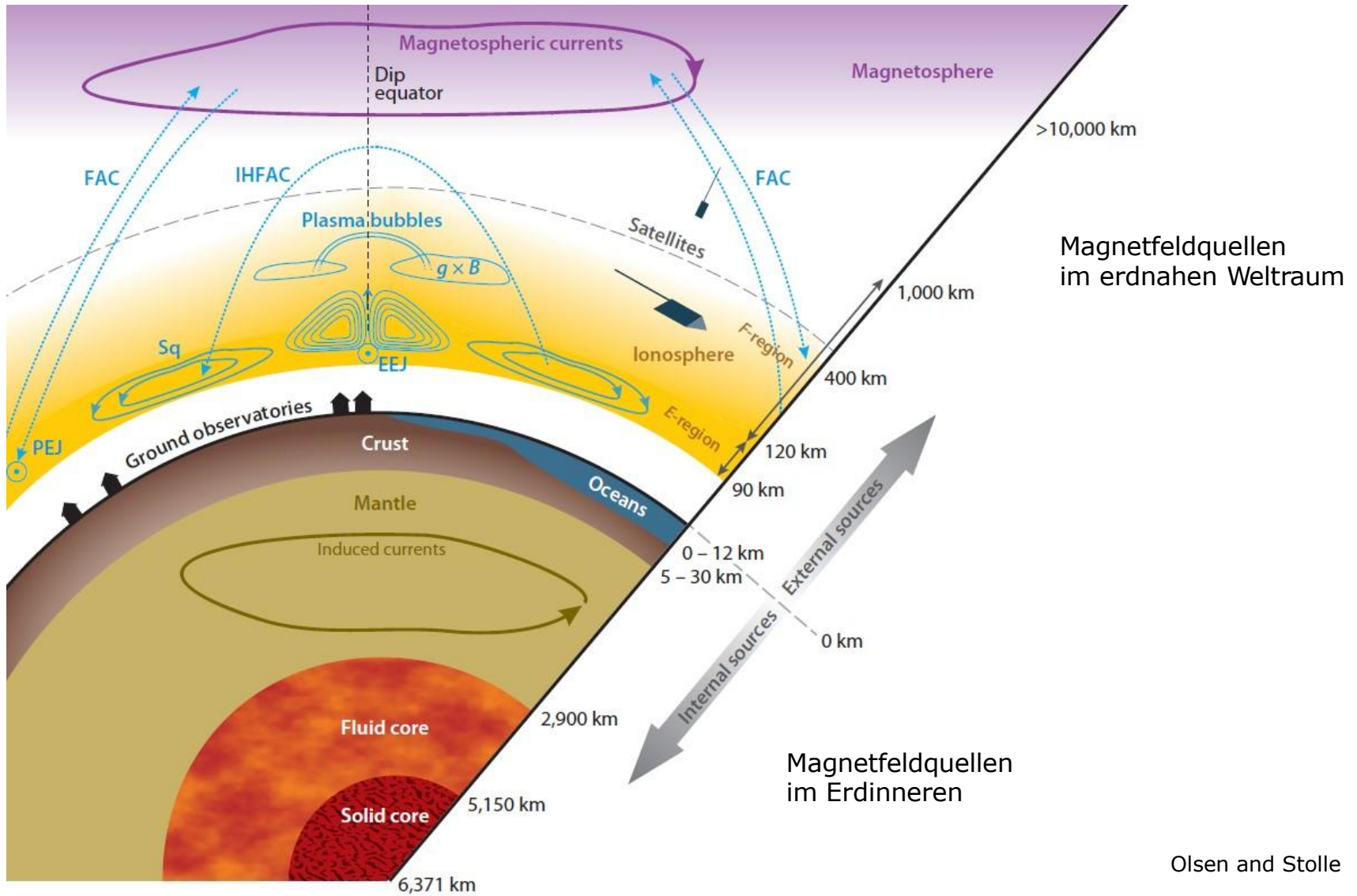


Gauss and Weber (1839)





# Quellen des Erdmagnetfeldes



Olsen and Stolle (2012)

# Quellen des Erdmagnetfeldes

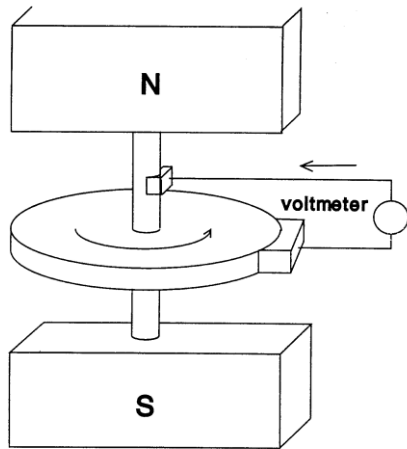
## 95% des Erdmagnetfeldes entstehen im Äußeren Erdkern

### Ursache:

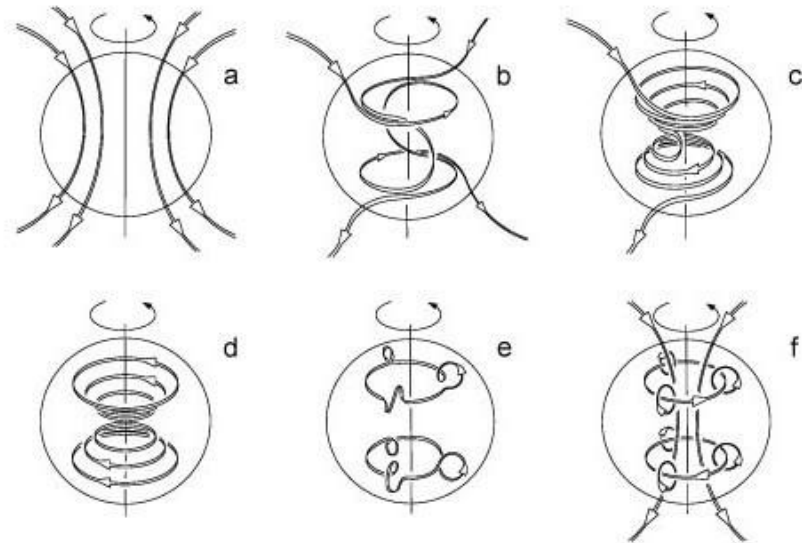
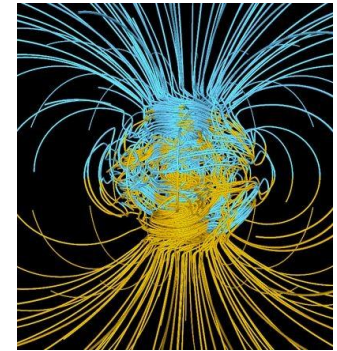
„Selbsterhaltender Geodynamo“  
im äußeren, metallischen,  
flüssigen Erdkern.

Zusammenwirken von

- Erdrotation (Corioliskraft)
- Magnetfeld und Elektr. Leitfähigkeit (Induktion)
- Konvektionsströme



### Moderne Magnetfeldmodellierung:

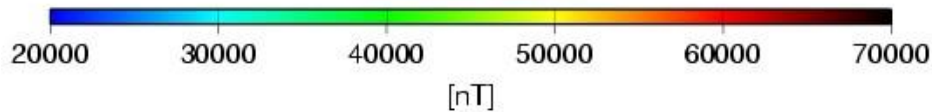
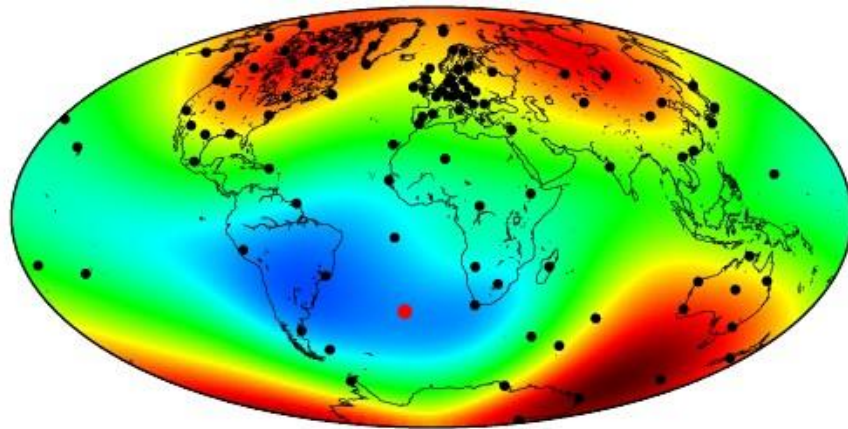


a-effect dynamo: a) initial, poloidal magnetic field; b,c) differential rotation; d) quadrupolar toroidal field; e) helical upwelling; f) loops reinforce original field

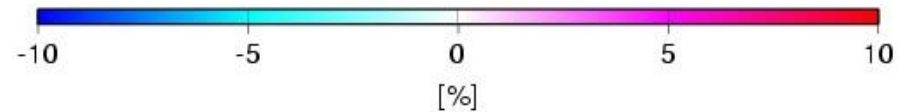
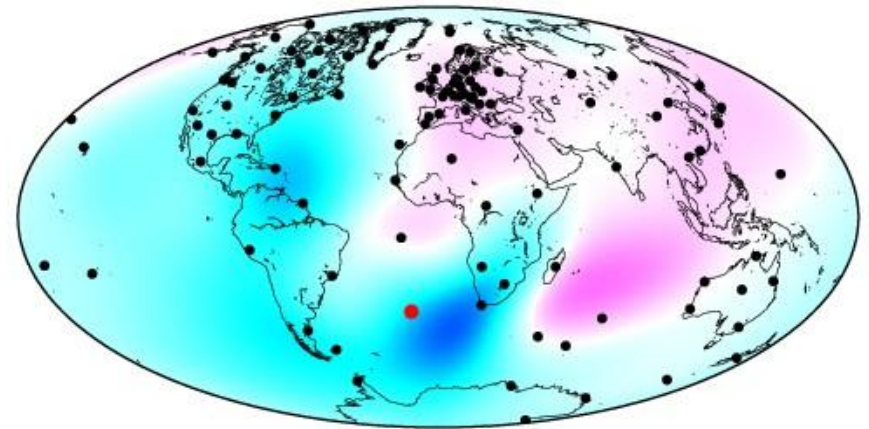
# Quellen des Erdmagnetfeldes

95% des Erdmagnetfeldes entstehen im Äußeren Erdkern

Feldstärke in nT



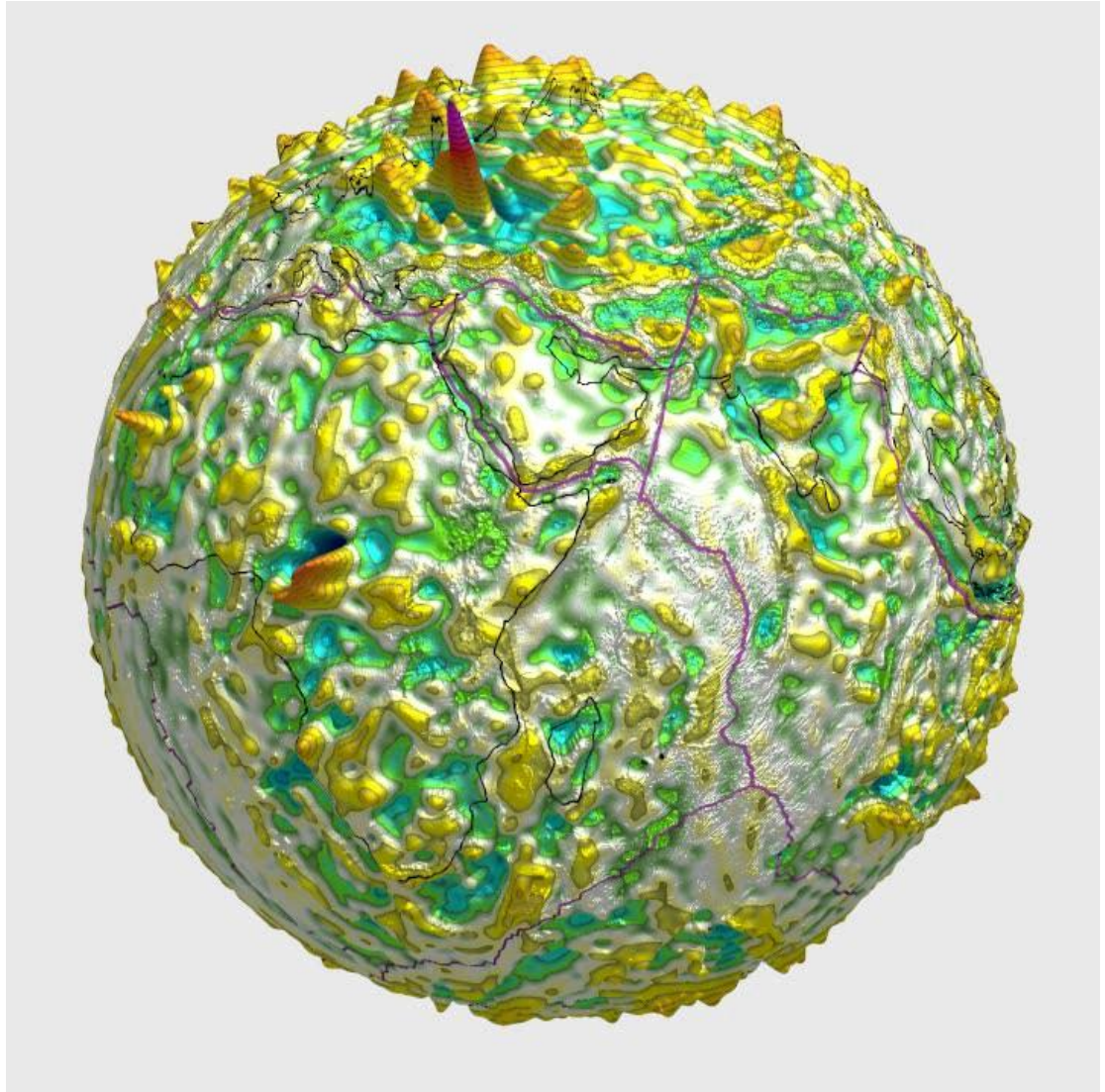
Variation der letzten 20 Jahre in %



# Quellen des Erdmagnetfeldes

## Magnetfeld der Erdkruste

(Erdmagnetfeldmodell von S. Maus)

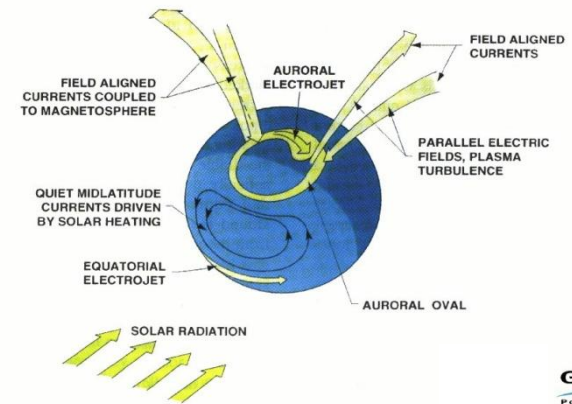
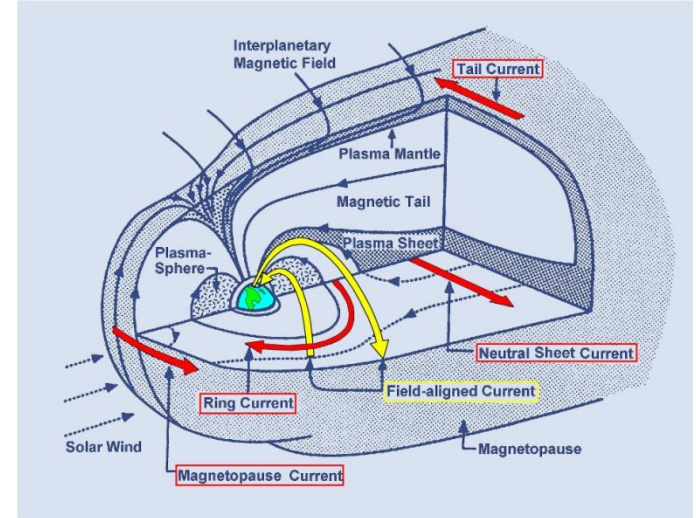


# Quellen des Erdmagnetfeldes

## Magnetfelder durch elektrische Ströme im erdnahen Weltraums

Elektrische Ströme in der Magnetosphäre (1-30 Erdradien) und Ionosphäre (100 – 1000km)

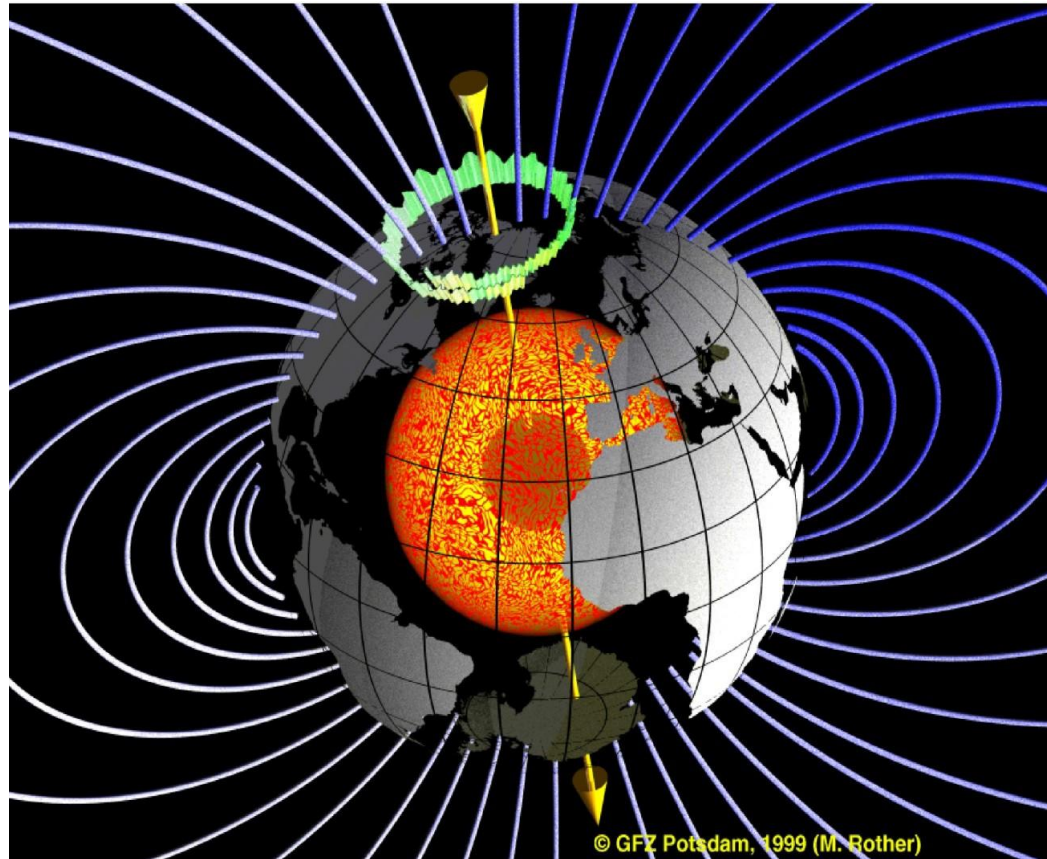
- **Amplitude:** Bruchteile von bis wenige tausend Nanotesla (20,000 – 60,000 nT)
- **Zeitliche Variation:** von Millisekunden bis wenige Jahre
- **Lokale Variation:** wenige bis einige tausend Kilometer



GFZ  
POTSDAM

# Topthema 1: Polumkehr

Doch dieser Vortrag handelt um:  
**Variationen des Hauptmagnetfeldes  
(Magnetfeld des Erdkerns):**

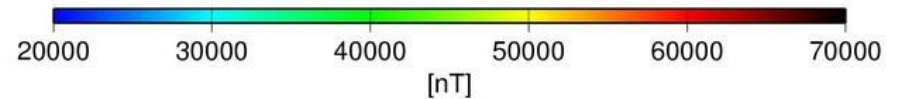
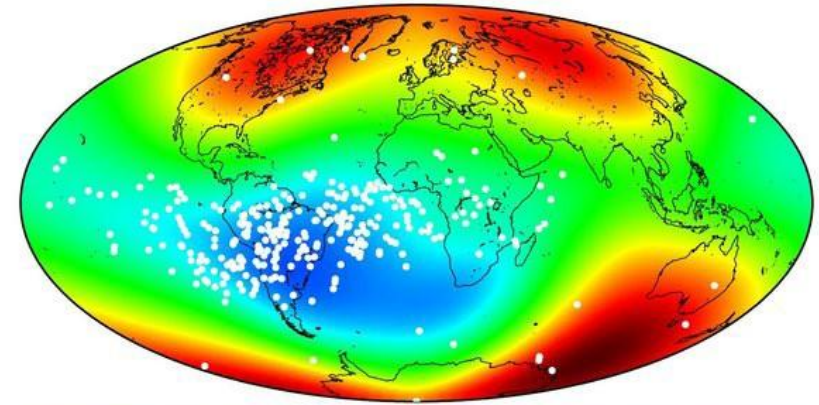


# Topthema 1: Polumkehr

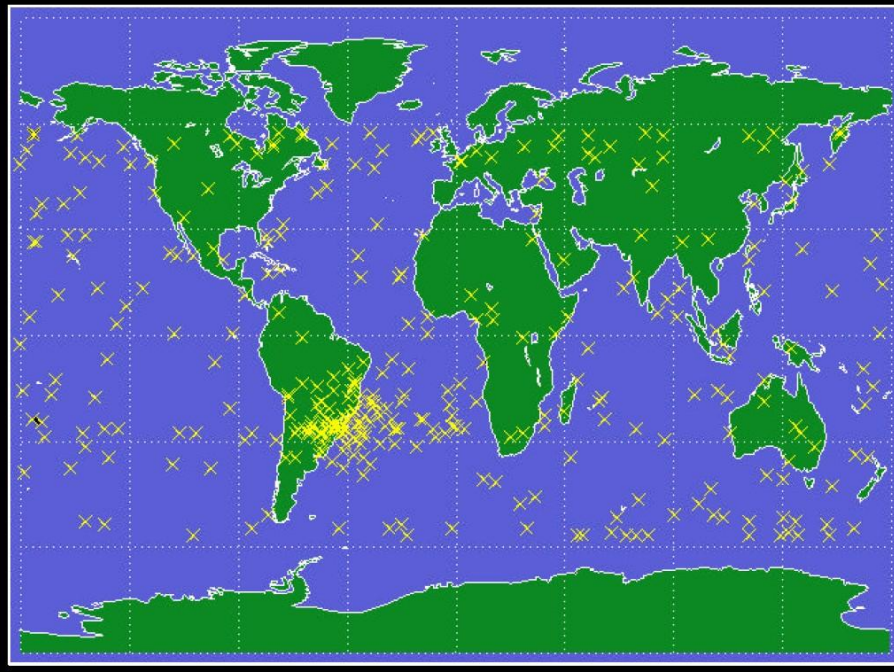
## Bedeutung

Strahlungseffekte auf Satelliten durch niedrige Magnetfeldstärke

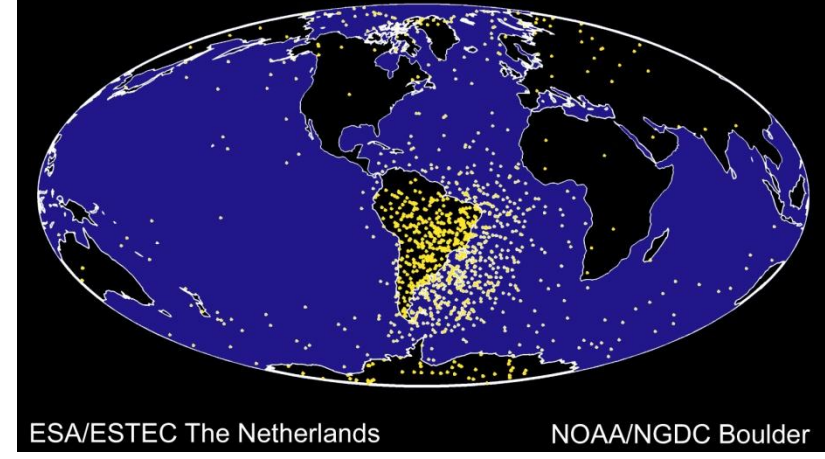
Bilder: NOAA, ESA, ESA/DTU Space



Computer Upsets on Shuttle Missions STS-37, 39, 43 & 44



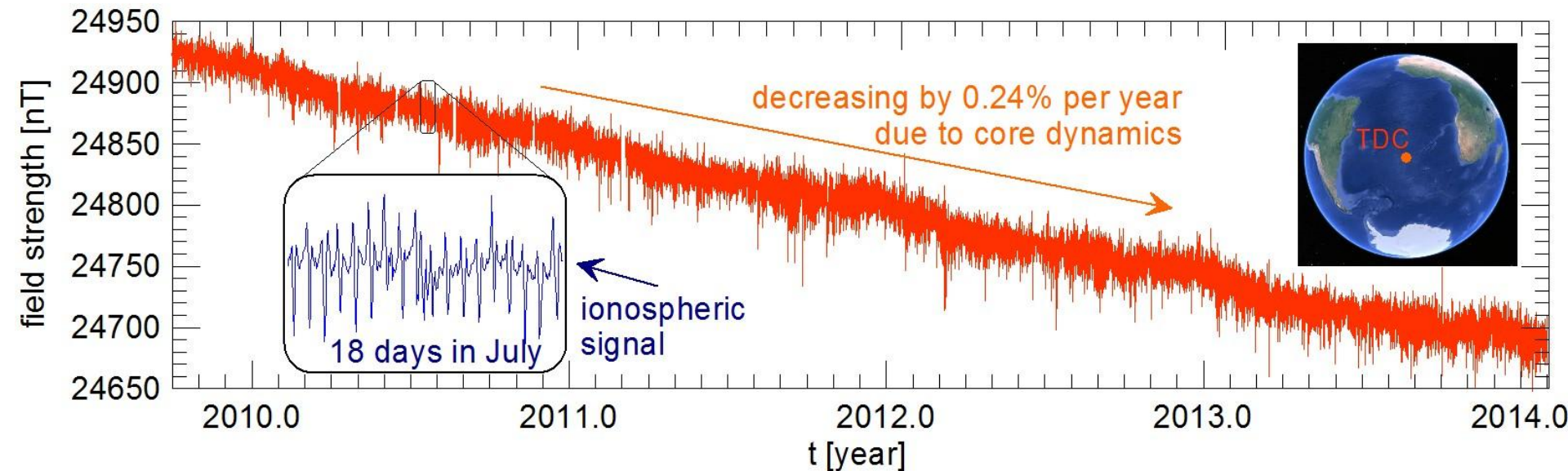
UOSAT-2 Memory Upsets



# Topthema 1: Polumkehr

## Beobachtung heutiger Variationen

### Schnelle Abnahme in der Südatlantischen Anomalie



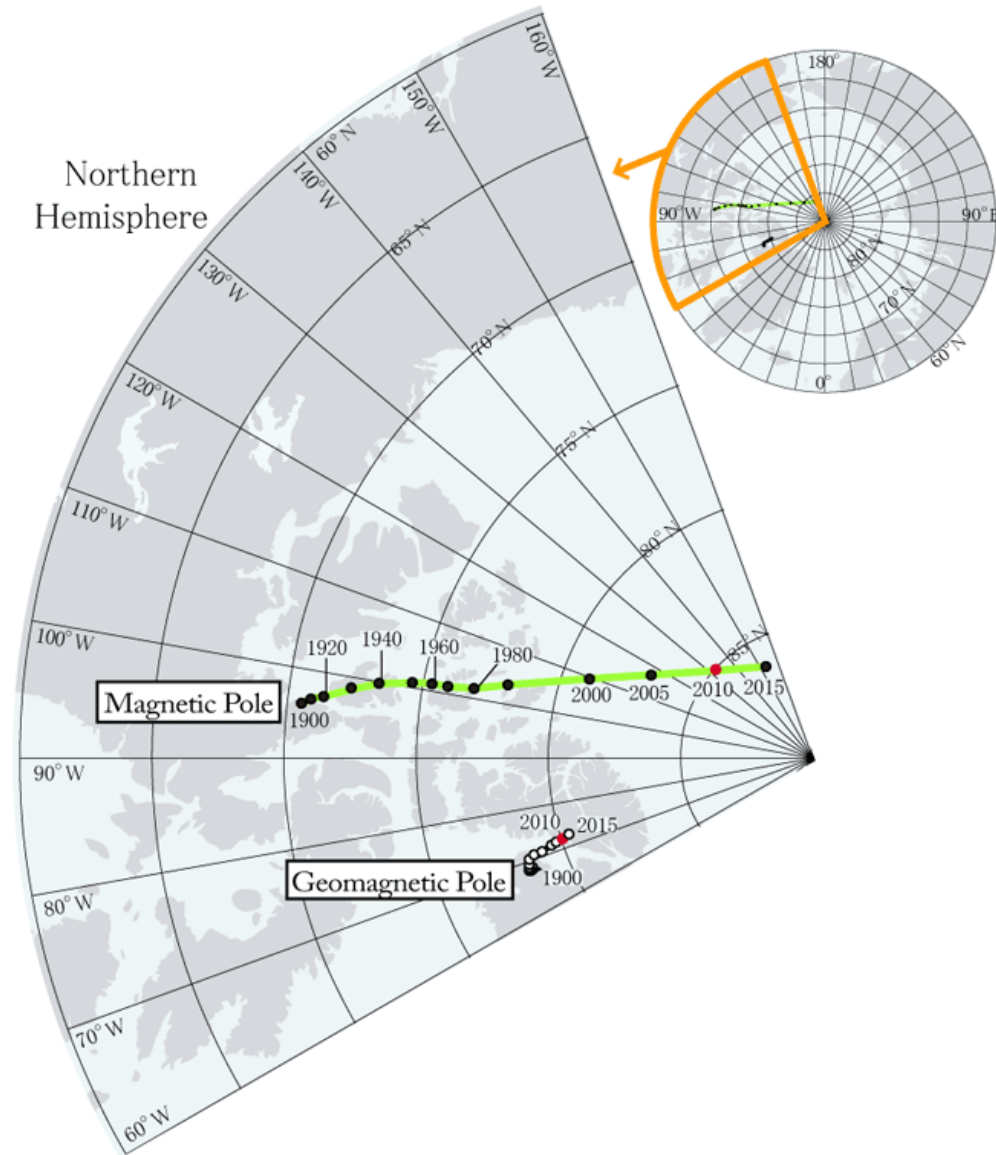


# Topthema 1: Polumkehr

## Beobachtung heutiger Variationen

## Polwanderung

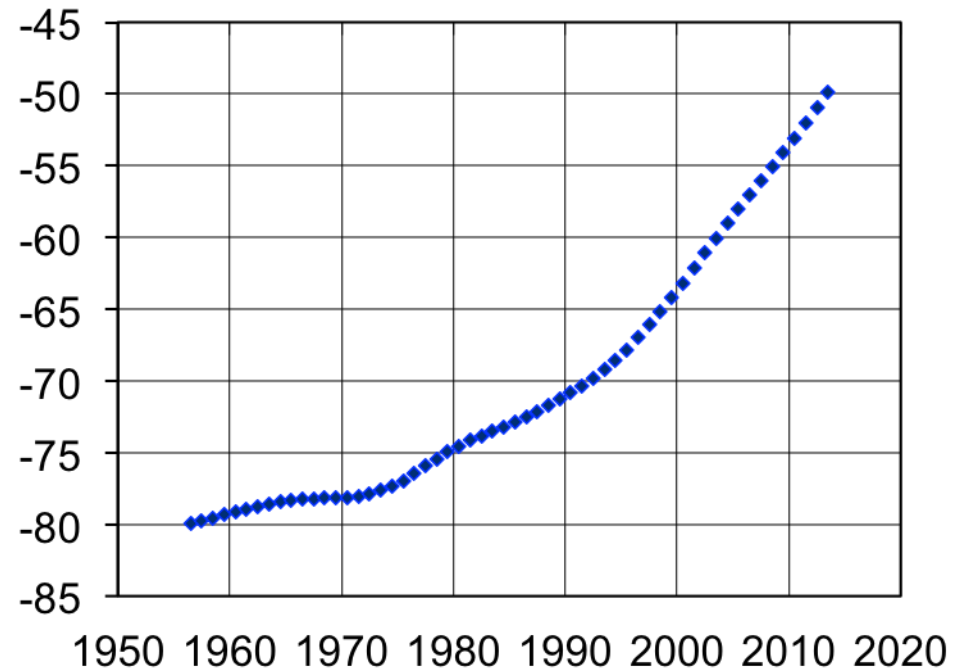
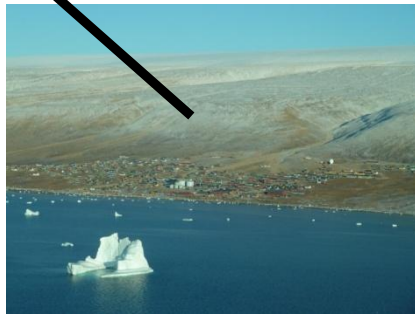
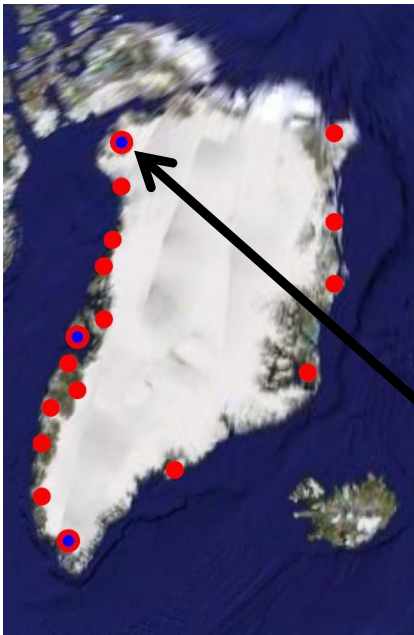
Bildquelle:  
Weltdatenzentrum für Geomagnetismus,  
Kyoto, Japan



# Topthema 1: Polumkehr

## Beobachtung heutiger Variationen

## Schnelle Variation der Deklination in polaren Gebieten

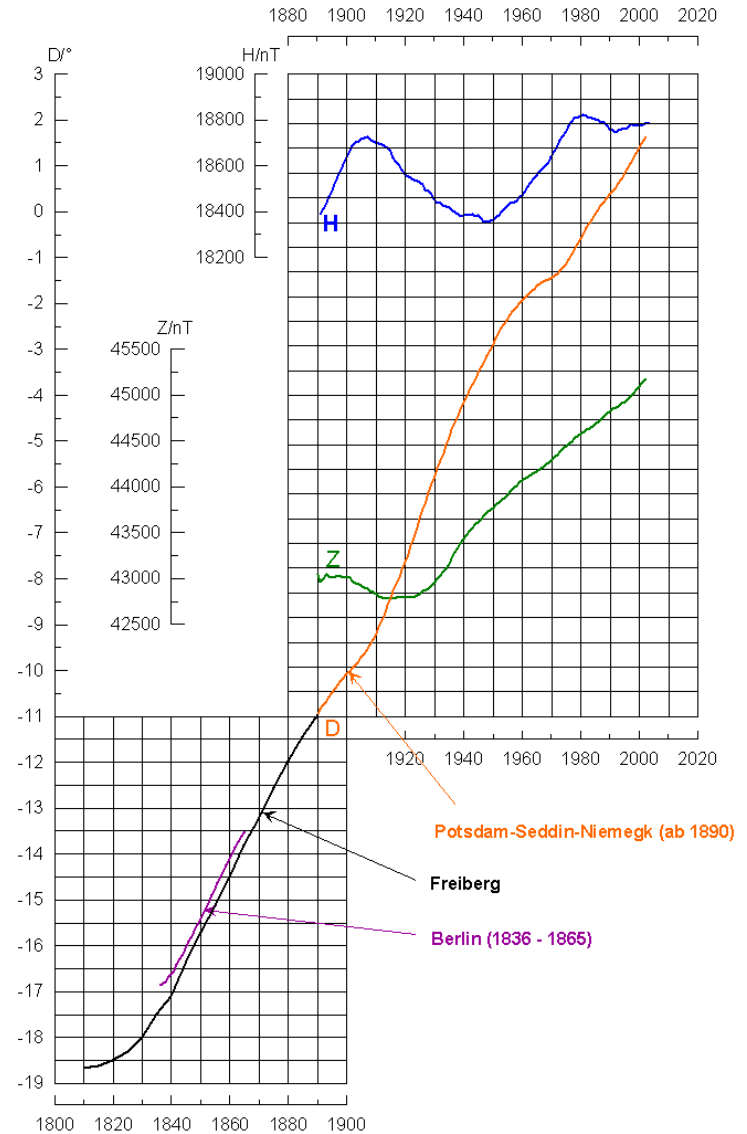


# Topthema 1: Polumkehr

## Beobachtung heutiger Variationen

## Sekularvariation auch in den mittleren Breiten (Potsdam)

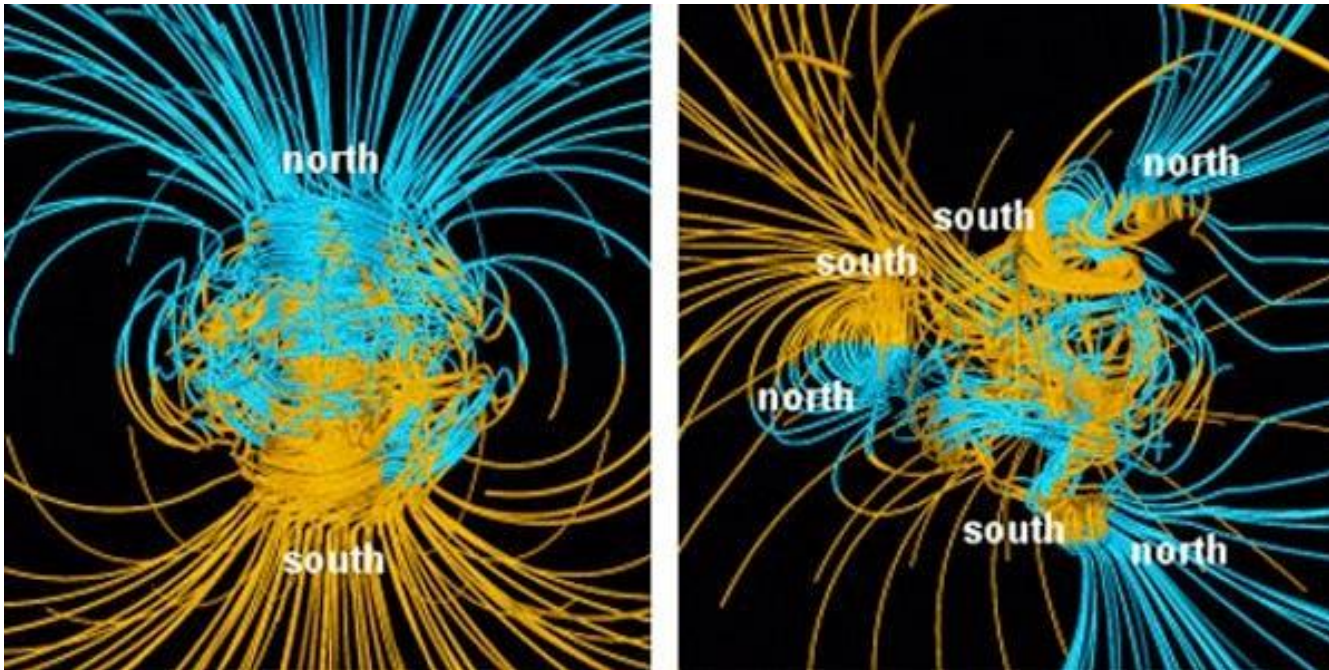
Bildquelle:GFZ Potsdam



# Topthema 1: Polumkehr

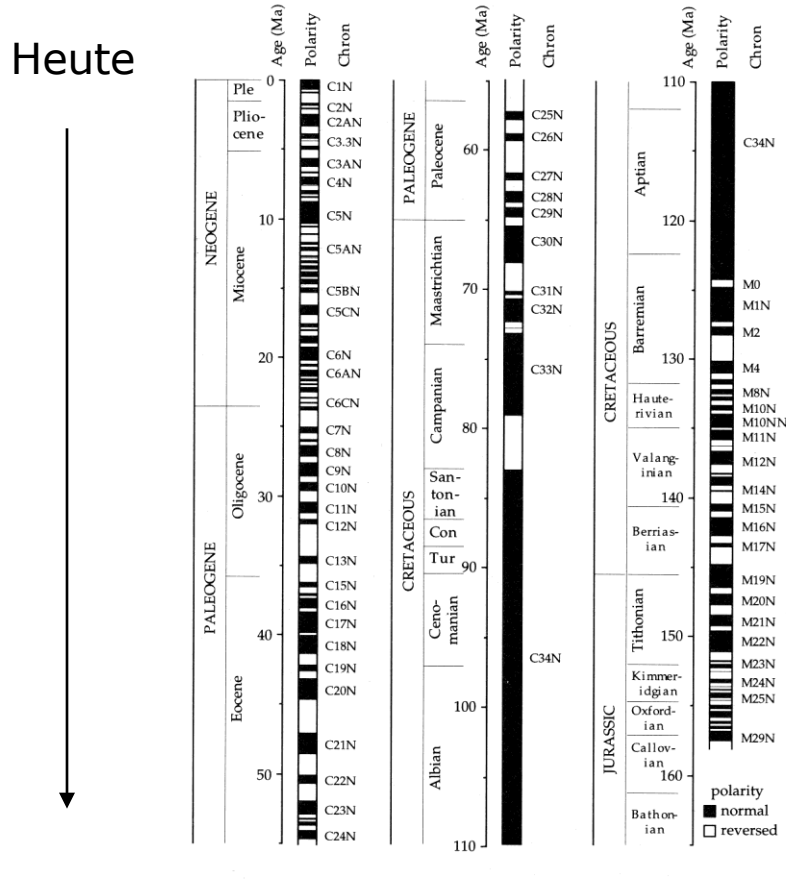
## Modellierung einer Polumkehr (Stand der Wissenschaft)

Zeitweiser Abschwächung der Dipolstärke Ausbildung von Multipolen



# Topthema 1: Polumkehr

## Polumkehr in der Erdgeschichte



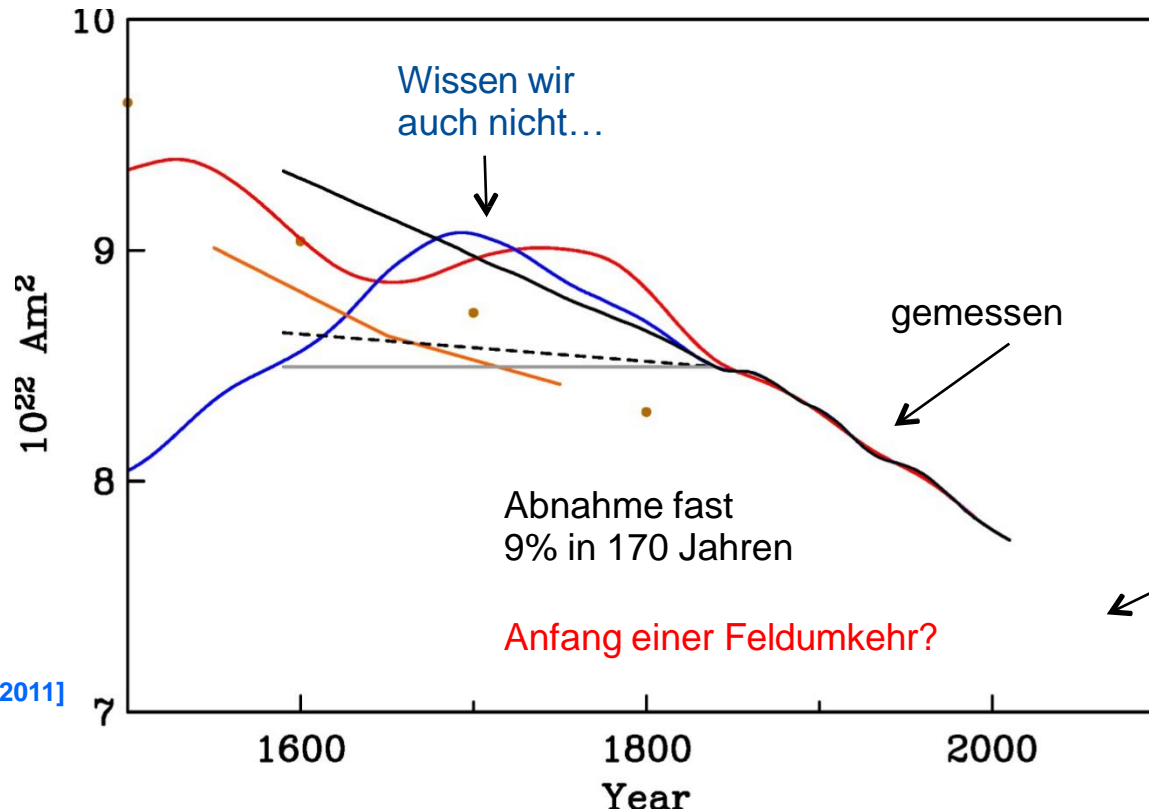
Schwarz: heutige (normale)  
Polarität  
Weiß: umgekehrte (inverse)  
Polarität

Vor 160 Millionen Jahren

Fig. 5.78 The geomagnetic polarity timescale since the late Jurassic (based upon Harland *et al.*, 1990). Designations for normal polarity chrons are listed.

# Topthema 1: Polumkehr

## Dipolabschwächungen der jüngeren Erdgeschichte



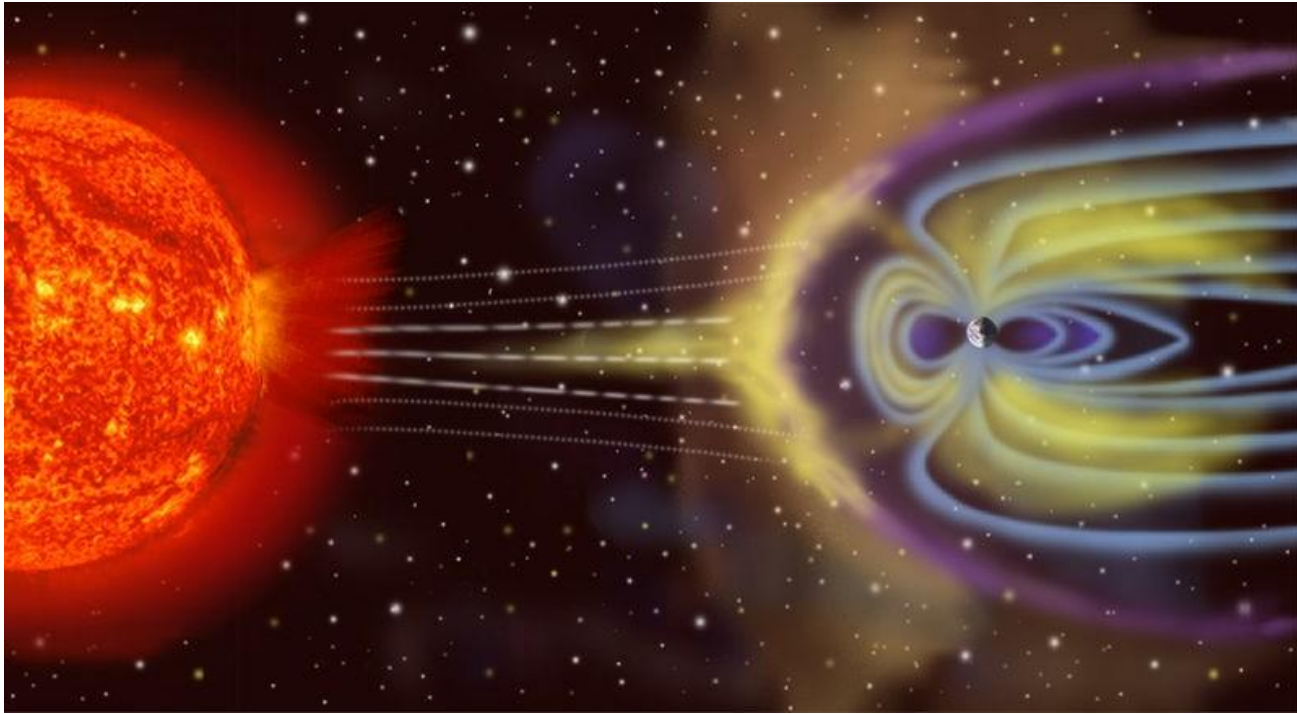
[Jackson et al., 2000]  
[Gubbins et al., 2006]  
[Finlay, 2008]  
[Knudsen et al., 2008]  
[Genevey et al., 2008]  
[Korte et al., 2009]  
[Korte and Constable, 2011]

Wüssten wir gerne

# Topthema 2: Weltraumwetter

## Welche Bedeutung hat das Erdmagnetfeld für das Weltraumwetter?

- Schützt uns vor kosmischer Strahlung
- Schützt uns vor Partikelstrahlung von der Sonne (Sonnenwind)
- Regulär und erhöht bei Sonnenstürmen
- Sonnenstürme -> Geomagnetische Stürme



# Topthema 2: Weltraumwetter

## Polarlichter

- Höhe: zwischen 100 und 500 km
- Farben: grün, rot, violett
- Formen: diffus, diskret



nsspheonix.wordpress.com  
(Südpollicht - ISS)



aten.igpp.ucla.edu  
(Diffuses Polarlicht – Poker Flat)



designzzz.com



starobserver.org  
(Norwegen)

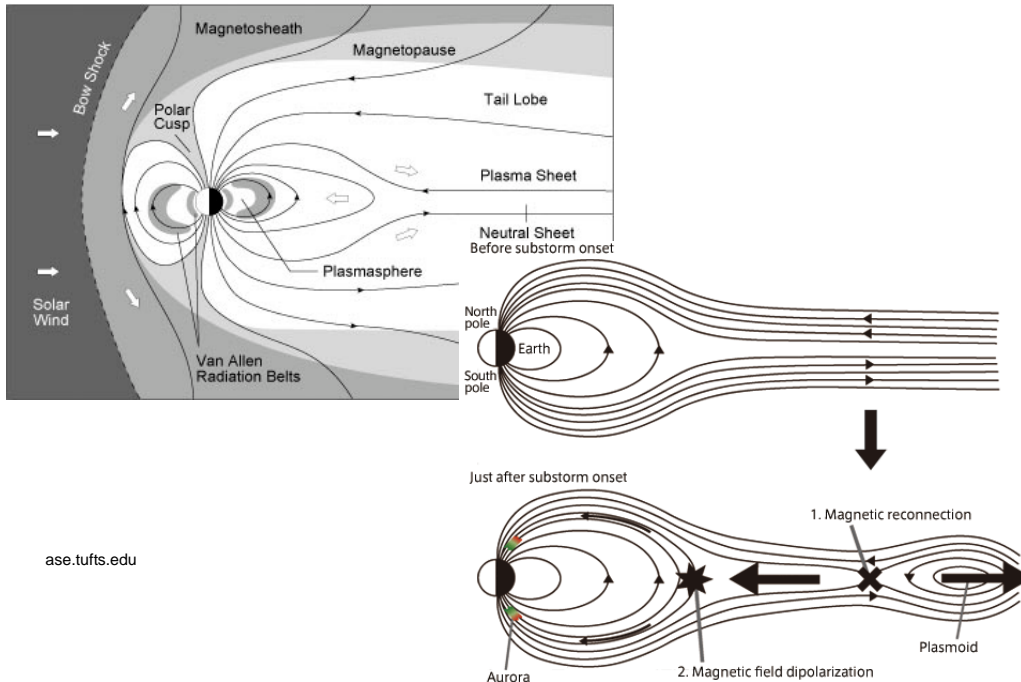
28



# Topthema 2: Weltraumwetter

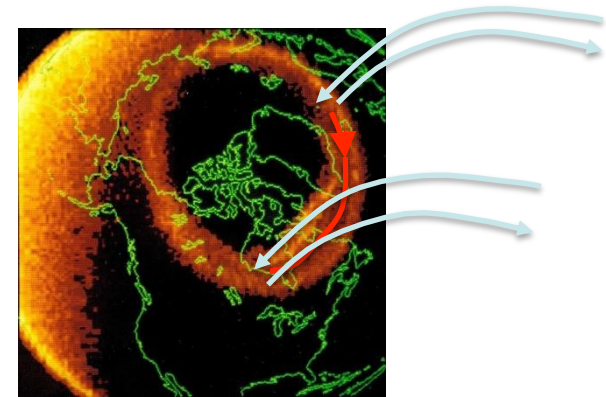
## Wie entstehen Polarlichter?

1. Dissipation von Sonnenwindenergie in die Magnetosphäre
2. Dissipation magnetosphärischer Energie in die obere Atmosphäre - Geomagnetischer Teilsturm



ase.tufts.edu

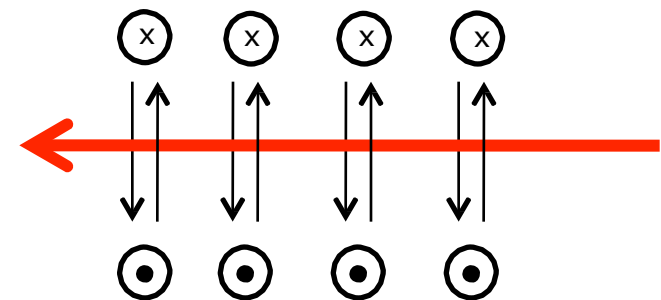
Magnetischer Teilsturm



mssl.ucl.ac.uk (Dynamic Explorer 1)

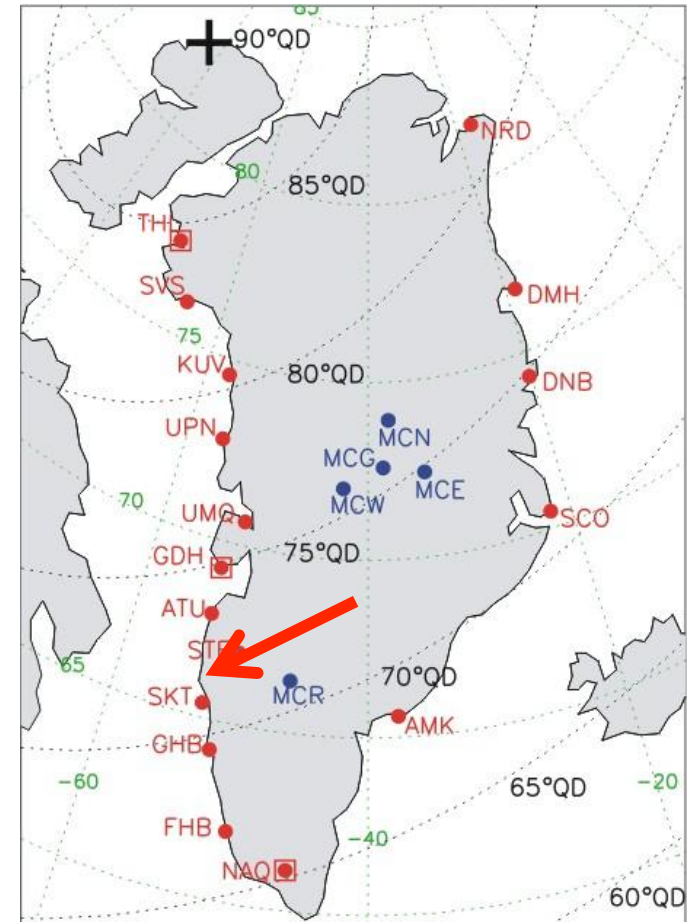
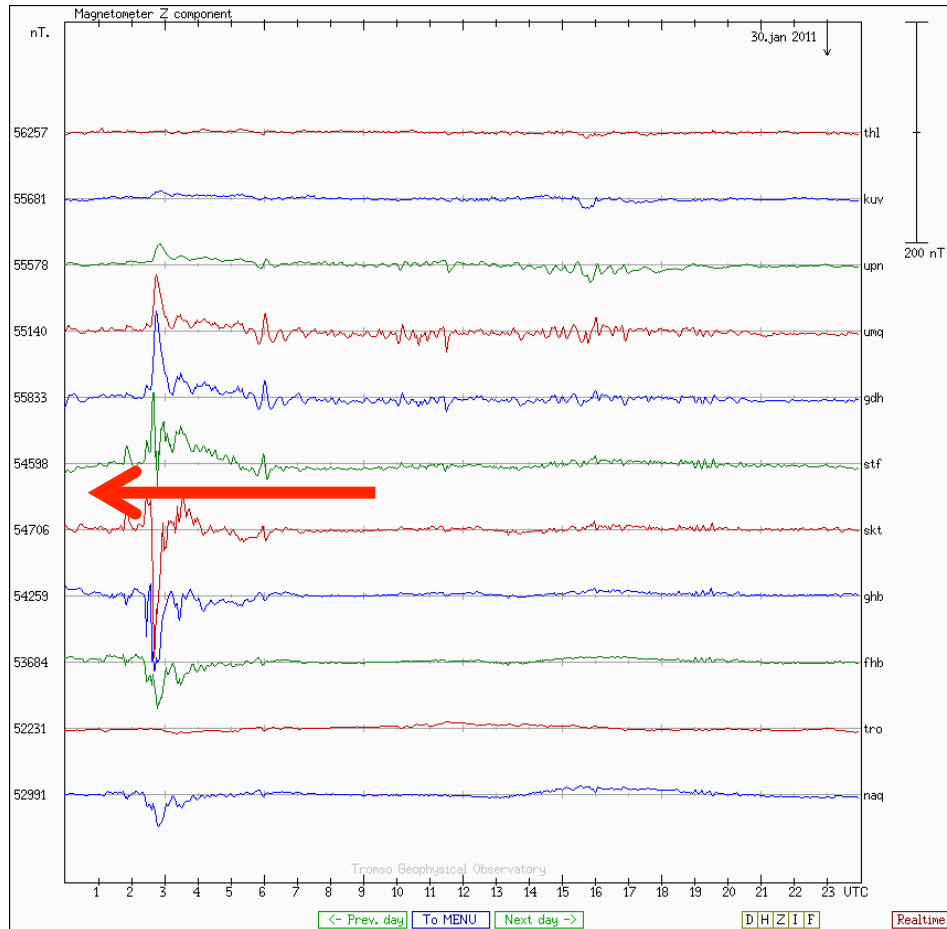
Ampèresches Gesetz:

$$\text{rot}(\mathbf{B}) = \mu_0 \mathbf{j}$$



# Topthema 2: Weltraumwetter

## Geomagnetischer Teilsturm



# Topthema 2: Weltraumwetter

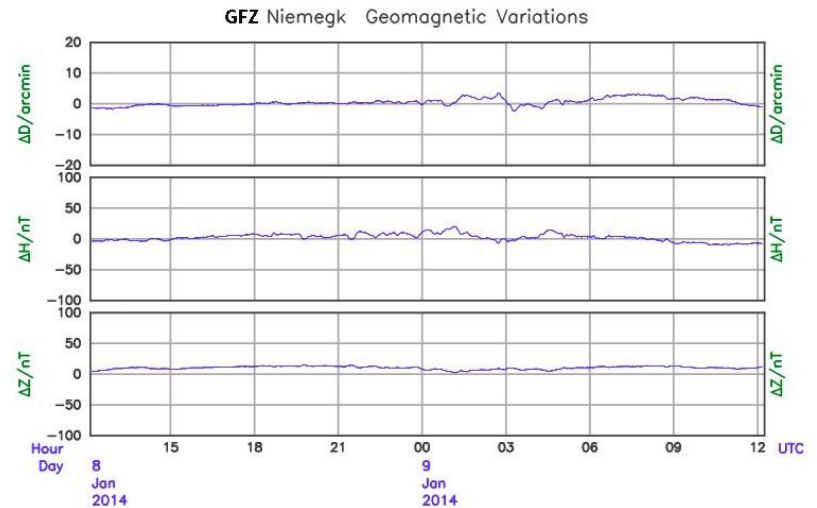
## Solarer Sturm am 09.01.2014. Was ist passiert?

Focus online: 09.01.2014, 11:55

**Sonnensturm erreicht Erde:  
Polarlichter im Norden  
Deutschlands möglich**

GFZ dpa Mitteilung: 09.01.2014,  
11:00

***Es ist allerdings eher  
wahrscheinlich, dass es keine  
großen Auswirkungen geben  
wird.***



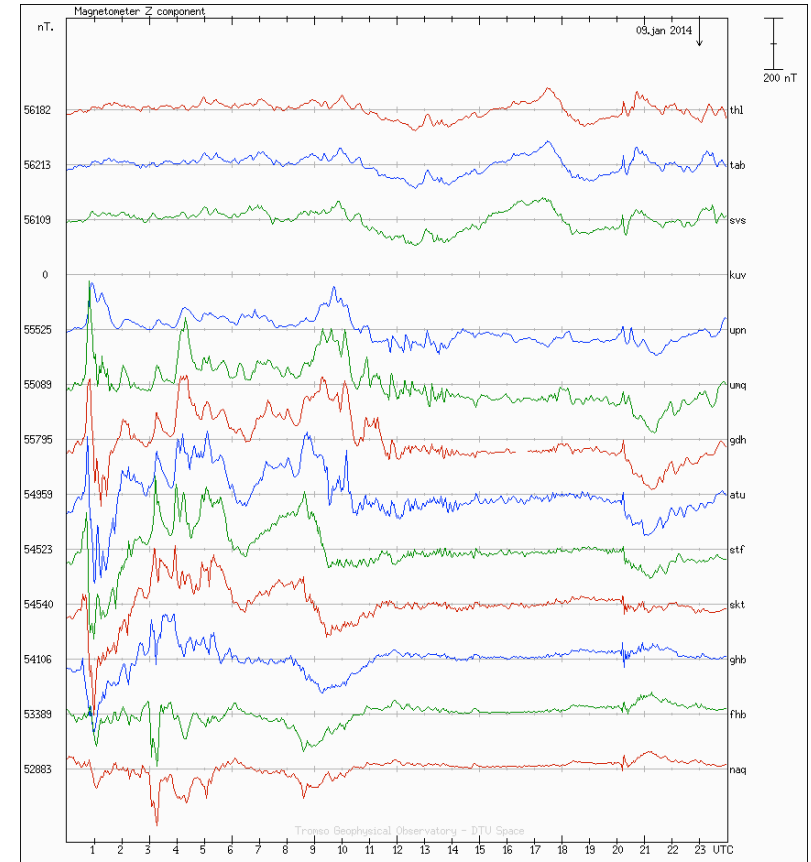
Horizontalintensität (H), Deklination (D) und Vertikalintensität (Z) (Abb. GFZ)

# Topthema 2: Weltraumwetter

## Solarer Sturm am 09.01.2014. Was ist passiert?

Focus online: 09.01.2014, 11:55

**Sonnensturm erreicht Erde:  
Polarlichter im Norden  
Deutschlands möglich**



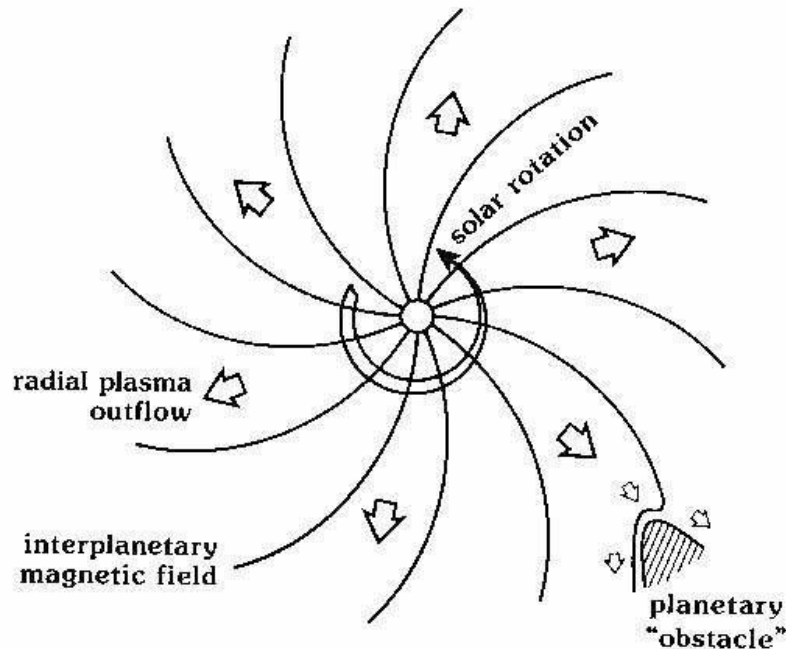
# Topthema 2: Weltraumwetter

## Solarer Sturm am 09.01.2014. Was ist passiert?

Focus online: 09.01.2014, 11:55

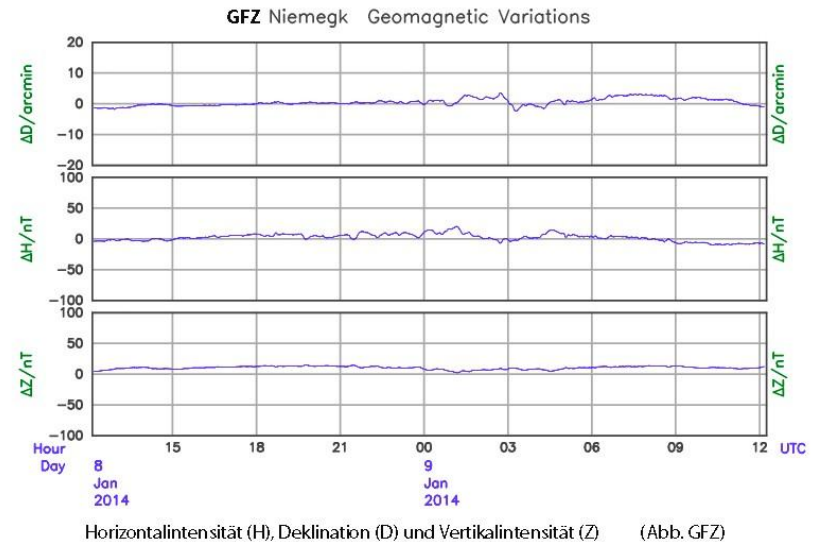
**Sonnensturm erreicht Erde:  
Polarlichter im Norden  
Deutschlands möglich**

SOLAR WIND



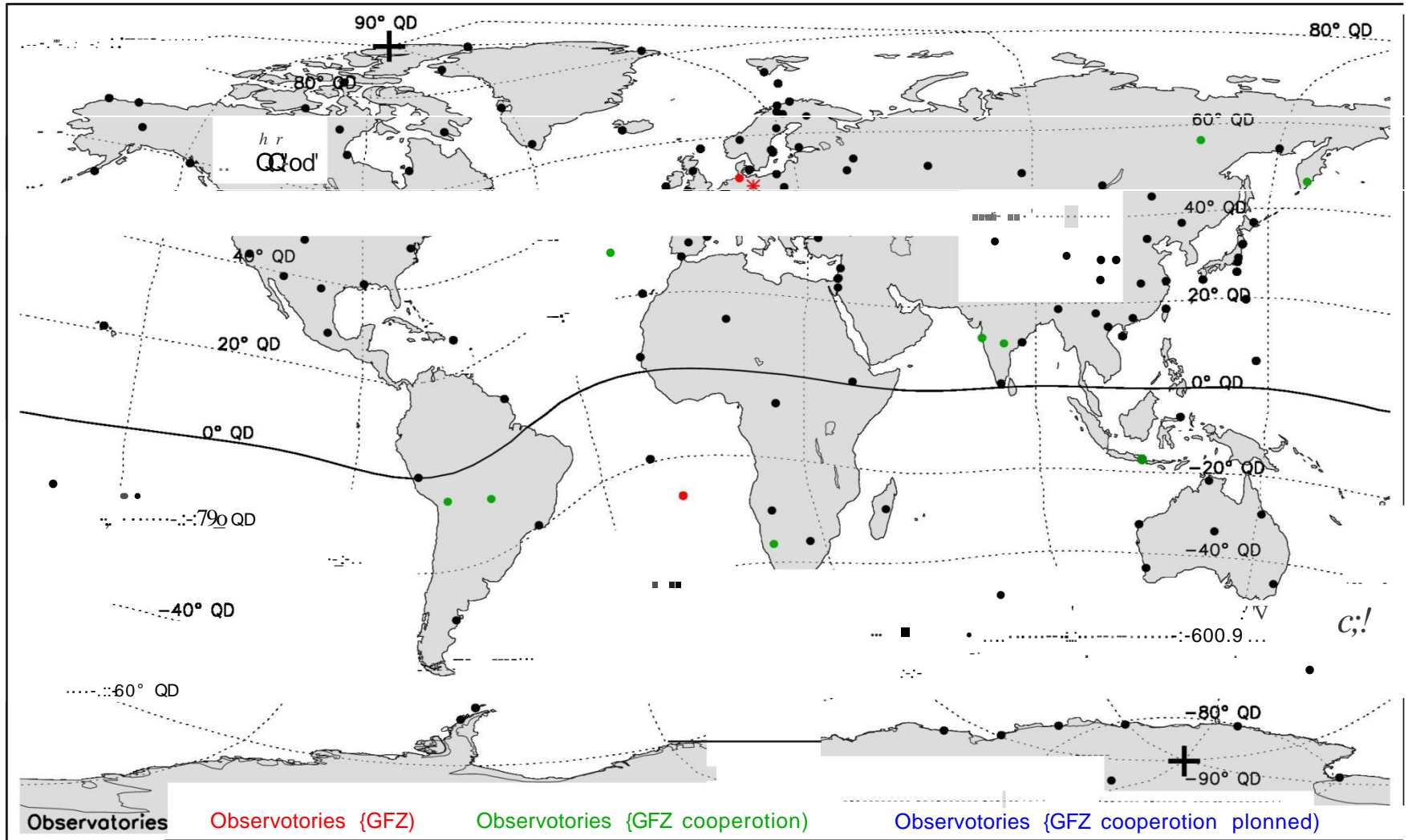
GFZ dpa Mitteilung: 09.01.2014, 11:00

***Es ist allerdings eher  
wahrscheinlich, dass es keine  
großen Auswirkungen geben  
wird.***





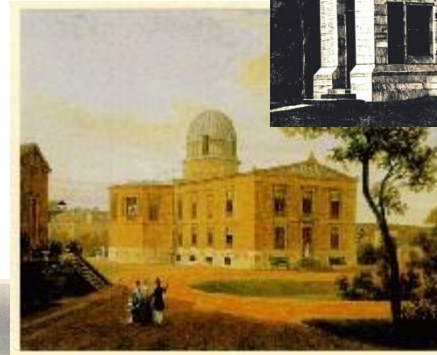
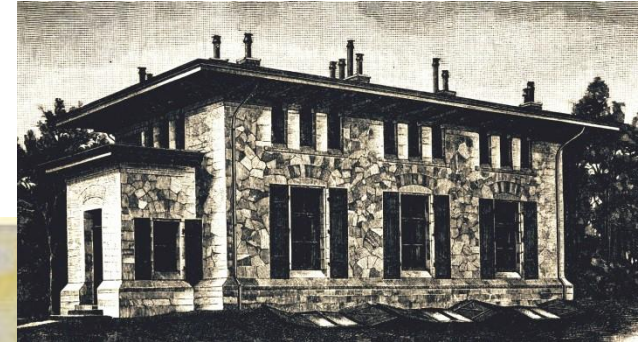
# Messungen des Erdmagnetfeldes



# Messungen des Erdmagnetfeldes

## Adolf Schmidt Geomagnetisches Observatorium in Niemegek (GFZ)

- Berlin: 1836 – 1872 geomagnetische Messungen an der Sternwarte
- Potsdam 1890 – 1906  
Störungen durch elektrischen Treidelbetrieb auf dem Teltowkanal und Elektrifizierung der Straßenbahn
- Seddin 1906 bis 1932  
Störungen durch Berliner Stadtbahn (Gleichstrom)
- Niemegek seit 1930



55



# Messungen des Erdmagnetfeldes

Reiseberichte:

Südliches Afrika: Messungen an Orten, wo keine Observatorien stehen



# Messungen des Erdmagnetfeldes

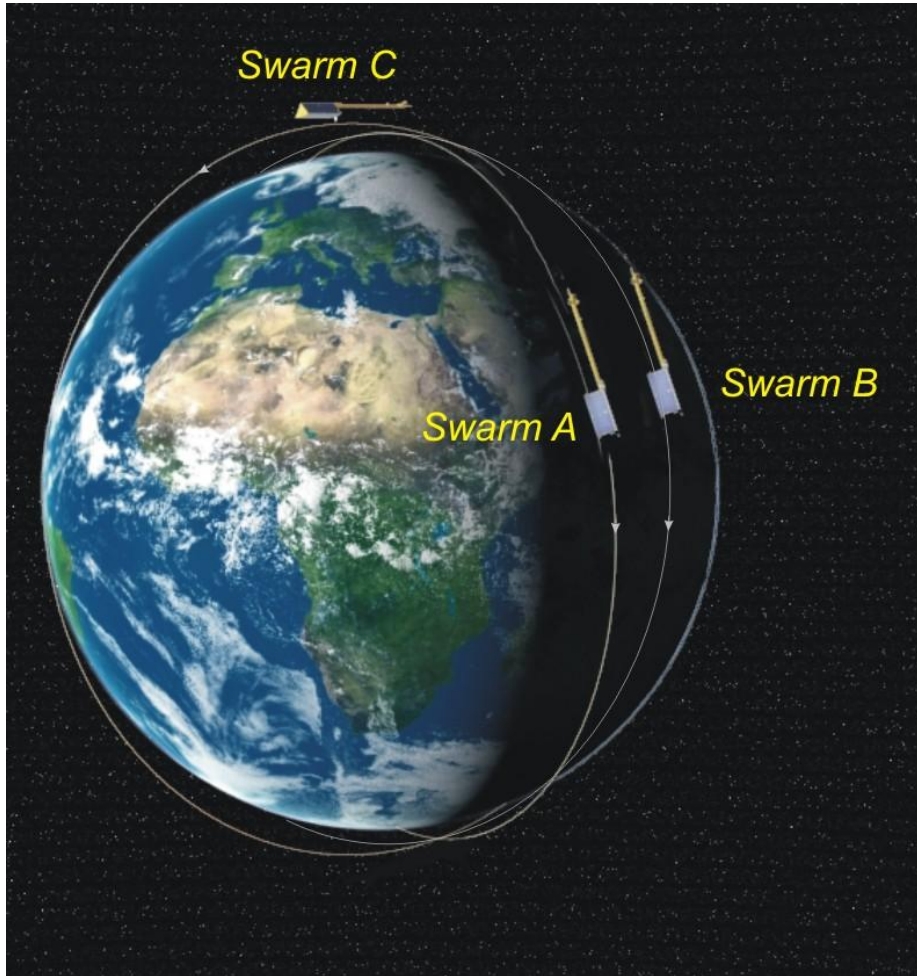
Reiseberichte:

**Südliches Afrika: Messungen an Orten, wo keine Observatorien stehen**



# Messungen des Erdmagnetfeldes

## Satelliten Missionen



### **Swarm**

- Fünfte Erdbeobachtermission der Europäischen Raumfahrtagentur (European Space Agency - ESA)
- Vorgeschlagen von einem Konsortium aus über 6 europäischen Ländern
- 3 Satelliten (490km + 510km)
- Gestartet am 22. Nov. 2013 aus Plessezk in Russland
- Bis zu 10 Jahren im Orbit
- **Ziel ist die bisher beste Vermessung des geomagnetischen Feldes.**
- Deutsches Swarm-Projektbüro am GFZ angesiedelt

<http://www.swarm-projektbuero.de>

# Messungen des Erdmagnetfeldes

## Satelliten Missionen

Spiegel Online, 22.11. 2012

"Swarm": Satelliten starten zur Magnetfeld-Inventur

