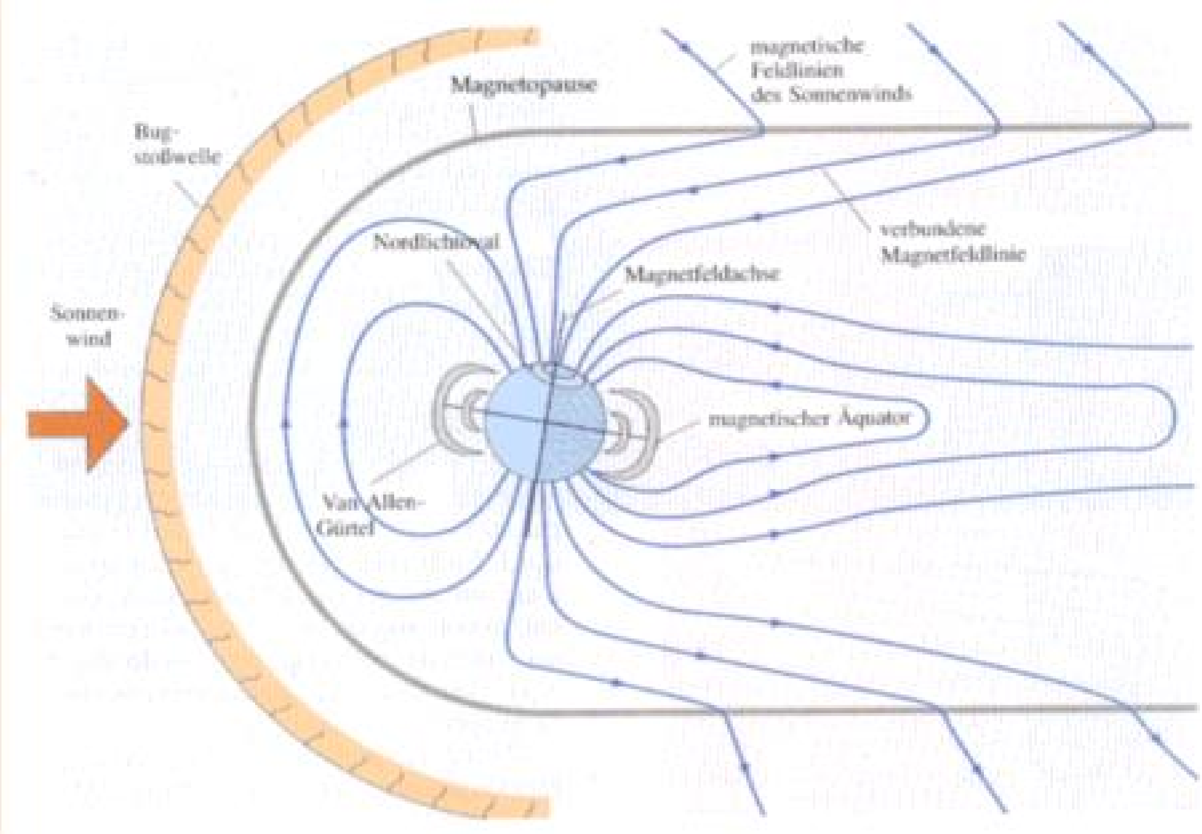
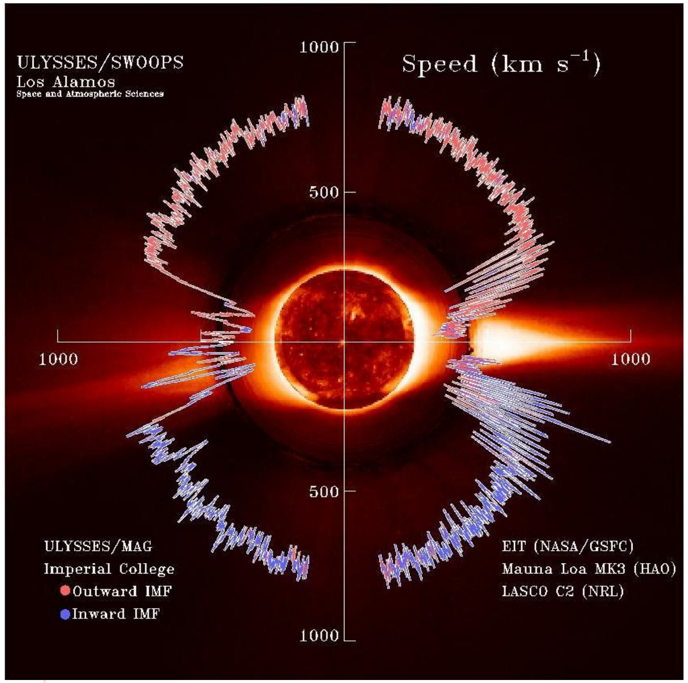
12. Vertiefungen und Anwendungen

Felder um die Erde!





Masse:332000m$_e$

28g

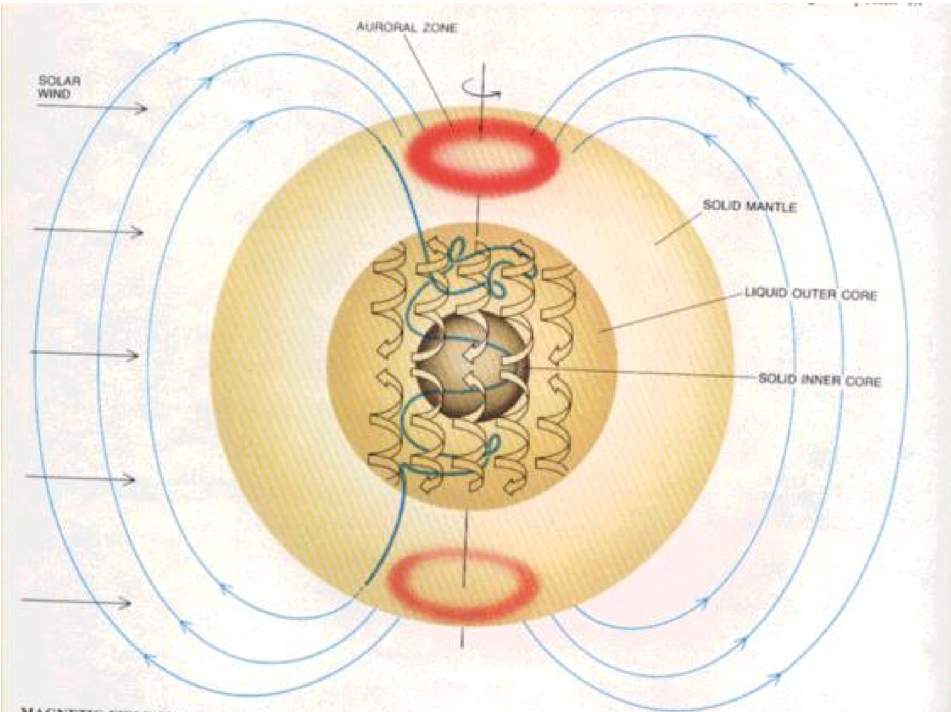
Tag:25d

Entf.:150Mkm

Sonnenwind: Protonen, Elektronen

Quellen für die Felder!

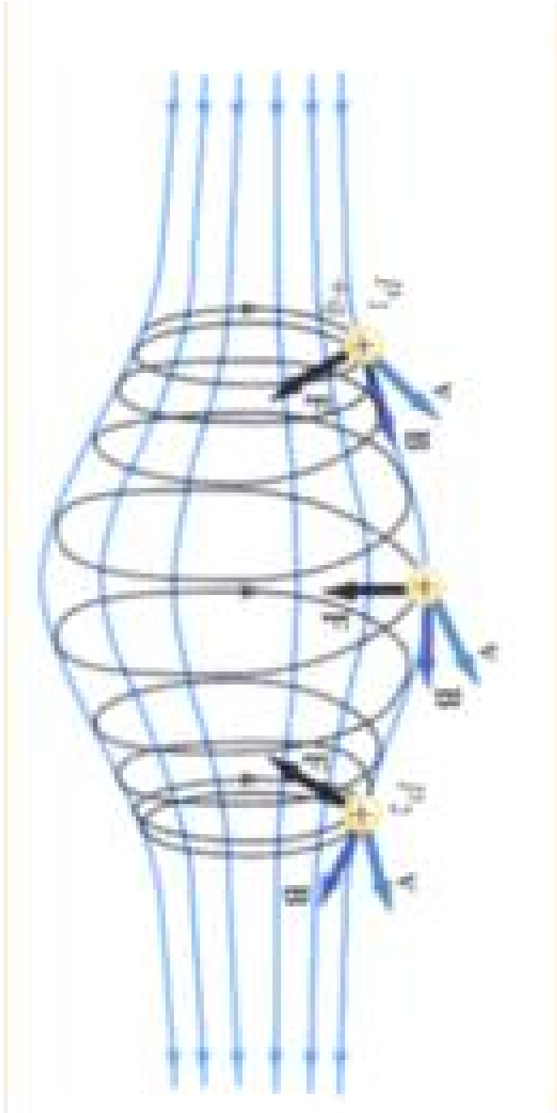
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I + \mu_0 \cdot \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

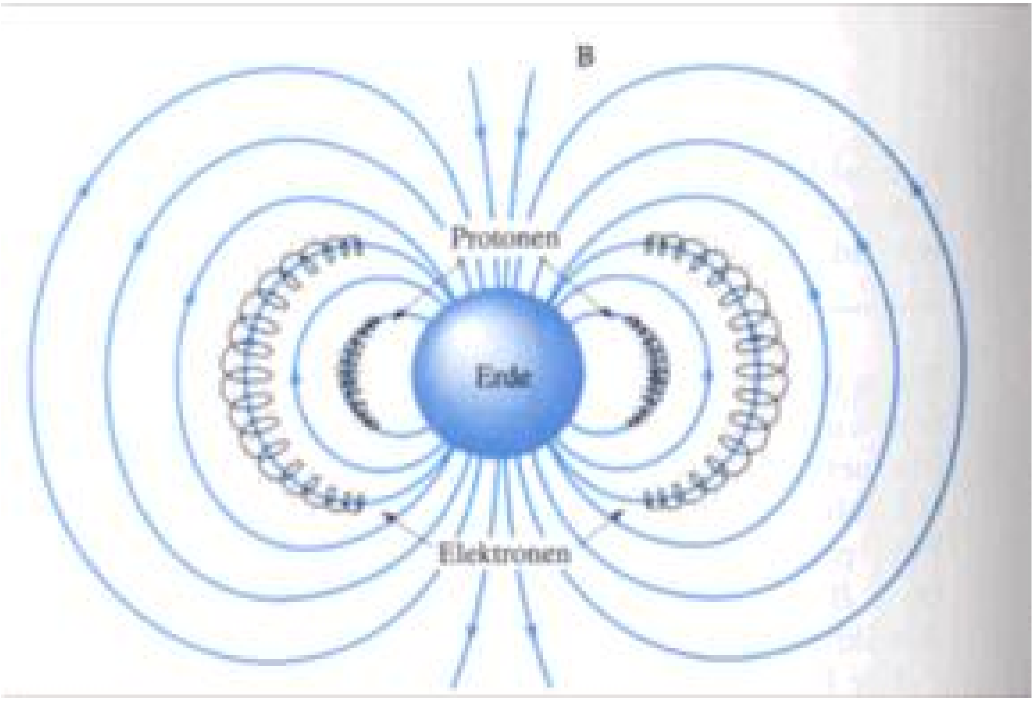


MAGNETIC FIELD IS GENERATED by a dynamo in the core.

N?

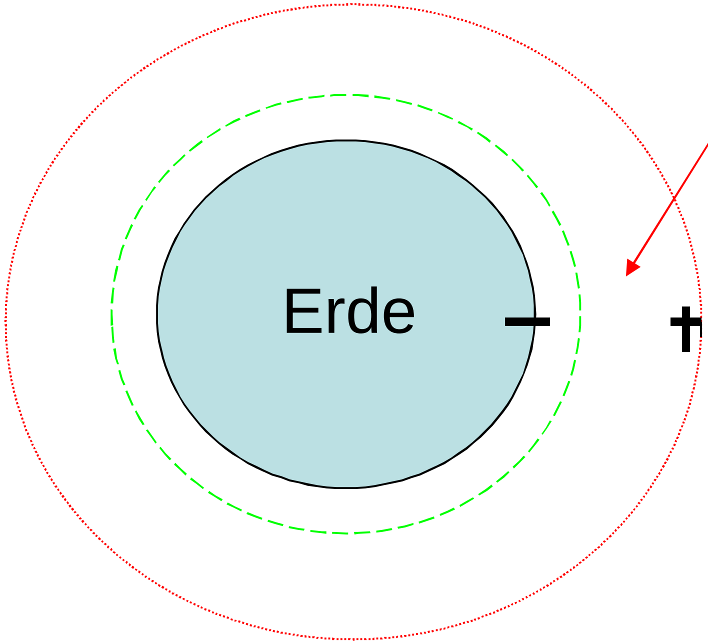
S?





Elektronen/Protonen werden an den Polen reflektiert

Wie sieht es mit elektrischen Feldern aus?



Ca. 300000V
Bei schönem
Wetter

Elektrische Felder entstehen durch Ladungstrennung

Aus den Maxwell Gleichungen:

$$\oint \vec{E} \bullet d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \qquad \vec{\nabla} \bullet \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

?

Magnetische Felder Entstehen durch Strom von geladenen Teilchen

Kräfte?

Aus den Maxwell Gleichungen E und B

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\varepsilon_0} \longrightarrow \vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r} \frac{\vec{r}}{r}$$ oder da $$\vec{E} = -\vec{\nabla}\Phi$$

$$div\vec{E} = -\Delta\Phi = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad -\Delta\Phi = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

Poisson - Gleichung

$$L\ddot{o}sung : \Phi(\vec{r}) = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \int \frac{\rho(\vec{r}\,')}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|} d^3 r'$$

Ladungsverteilung → Feld

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I \longrightarrow ?$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{j} \qquad \vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \qquad \vec{A} : Vektorpotential$$

da $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \qquad \vec{\nabla} \cdot \vec{A} = 0 \qquad \vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{A} = grad \cdot div\vec{A} - \Delta\vec{A}$

$$\Delta\vec{A} = -\mu_0 \cdot \vec{j} \qquad \Delta A_i = -\mu_0 \cdot j_i, i = x, y, z$$

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}\,')}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|} d^3 r' \qquad \vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \vec{\nabla} \times \frac{\vec{j}(\vec{r}\,')}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|} d^3 r'$$

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \vec{\nabla} \times \frac{\vec{j}(\vec{r}\,')}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|} d^3 r' \quad \rightarrow \vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}\,') \times \vec{e}}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|^2} d^3 r'$$

$$\vec{e} = \frac{\vec{r}-\vec{r}\,'}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|}$$

bei dünnen Drähten!

$$\vec{j} \cdot d^3 r' = \vec{j} \cdot d\vec{A} \cdot d\vec{s} = I \cdot d\vec{s}$$

$$\boxed{\rightarrow \vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{\vec{e} \times d\vec{s}}{|\vec{r}-\vec{r}\,'|^2}}$$

Biot- Savart- Gesetz

Ladungsverteilungen, Stromverteilungen
→ Maxwell Gleichungen liefern die Felder

Kräfte?

Rezept, liegt schon der Definition
der Felder zugrunde

$$\vec{F} = \overrightarrow{Feld} \bullet probeladung(Skalar)$$

$$\vec{F} = \overrightarrow{Feld} \times \overrightarrow{probestrom(Vektor)}$$

$$\rightarrow \overrightarrow{F(elektrisch)} = \vec{E} \bullet q(probeladung)$$

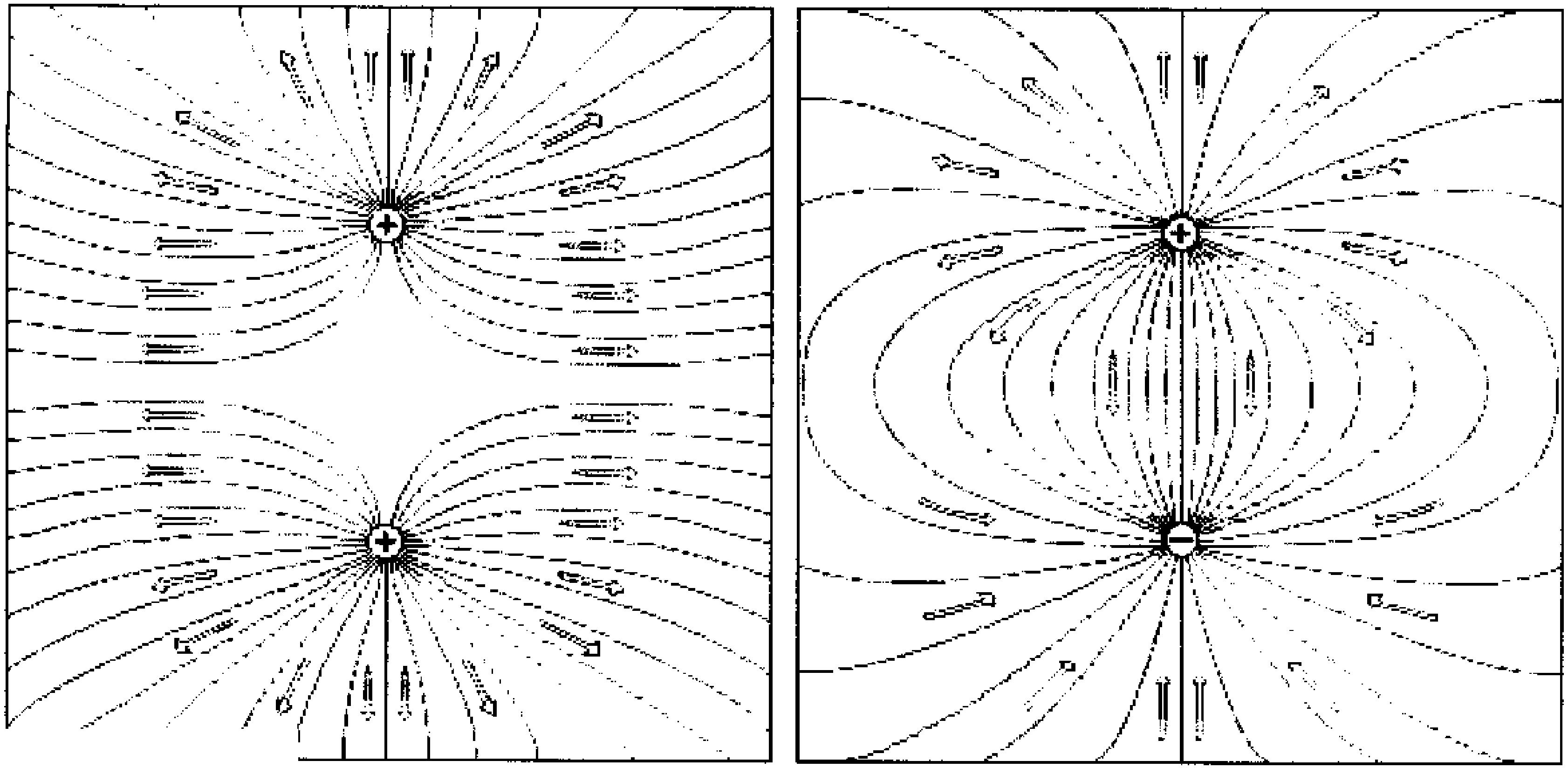
$$\rightarrow \overrightarrow{F(magnetisch)} = I(d\ddot{u}nner.Draht) \oint d\vec{s} \times \vec{B}$$

$$\rightarrow \overrightarrow{F(magnetisch)} = \int \vec{j} \times \vec{B} d^3 x$$

$$d\vec{F} = I_0 \bullet d\vec{s} \times \vec{B}$$

$$\rightarrow d\vec{F} = dq \bullet \frac{d\vec{s}}{dt} \times \vec{B} = dq \bullet (\vec{v} \times \vec{B})$$

Lorentz-Kraft auf eine Ladung!

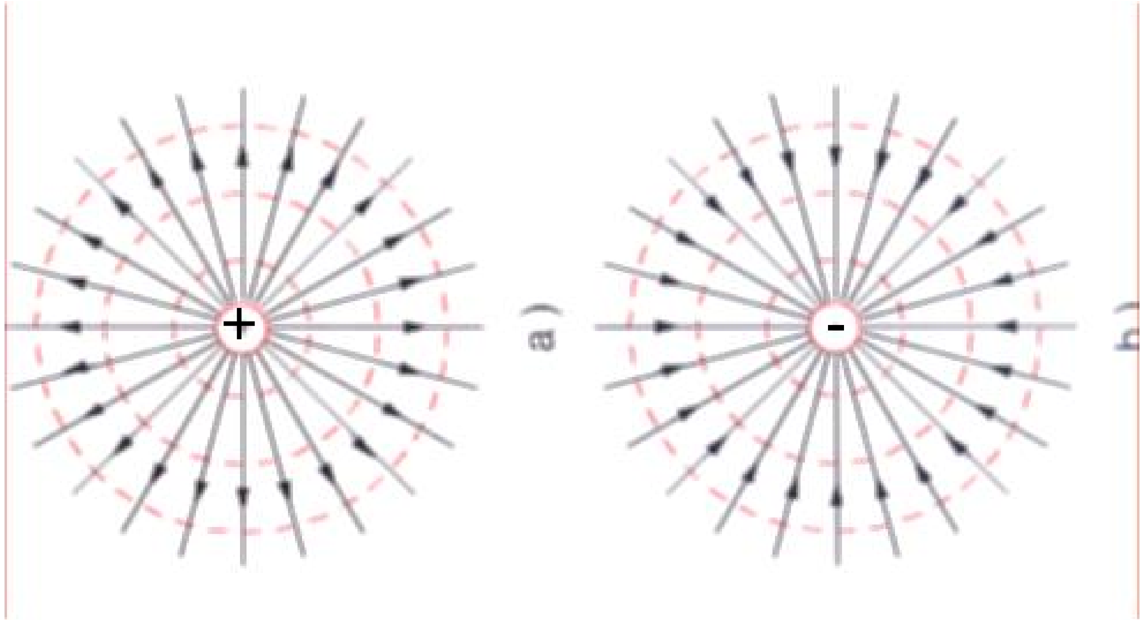


Feldlinienbild Ladungen zweier Ladungen: ++, -+

Sieht man aus diesem Bild an, dass die
Kräfte vom Betrag her gleich groß sind?

Warum nicht?

Punktladungen ,+ und -



Das sind die Felder, die eine Probeladung sieht.

Hier sieht man sofort, dass Anziehung und Abstoßung gleich sind!

Wie kommt das elektrische Feld der Erdatmosphäre zustande?

Nachladung:
Gewitter

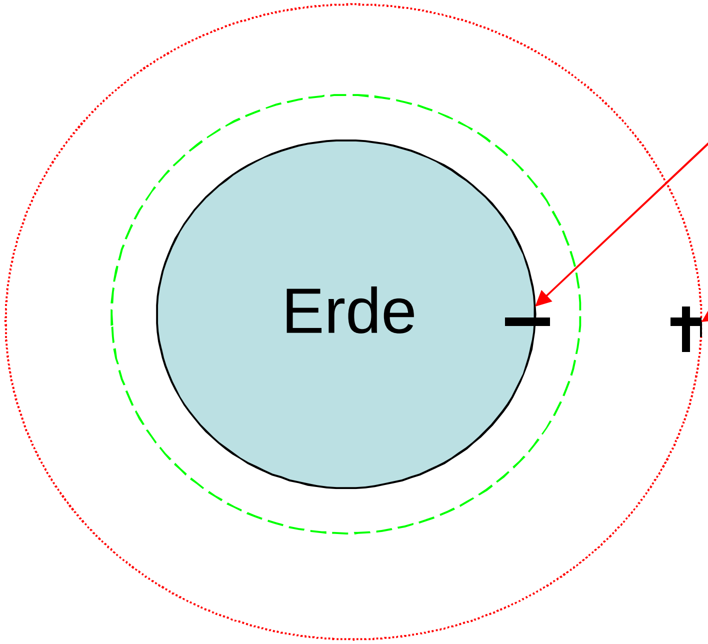
1800 Gewitter, bzw. 300000 Blitze stündlich!

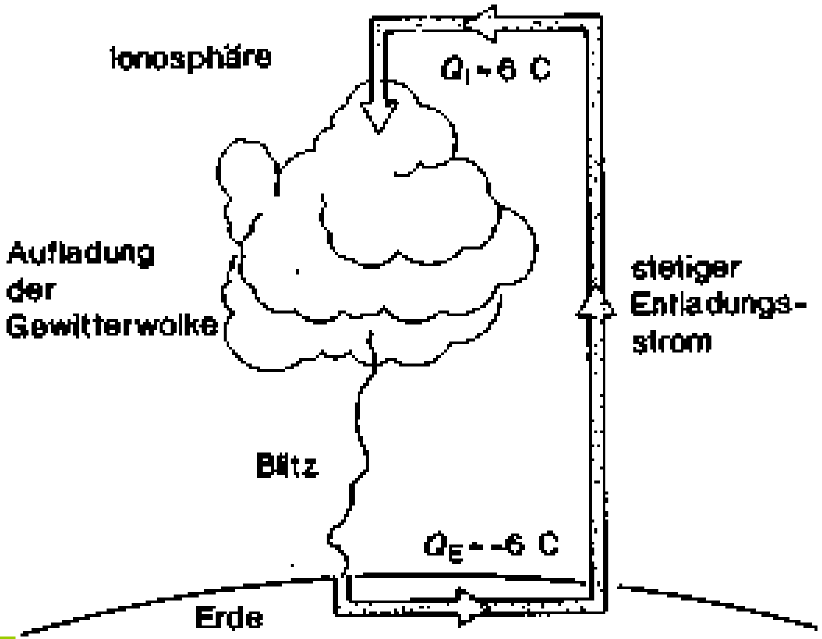
ca -100C

ca +100C

Atmosphäre leitet

Es fließen ständig: 2000A



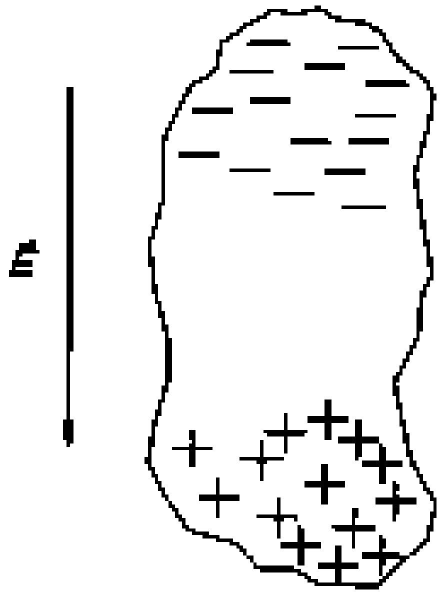


Wie entstehen die Ladungen in einer Wolke?

Bisher noch nicht genau bekannt!!

2 Theorien

1. Induktive Prozesse



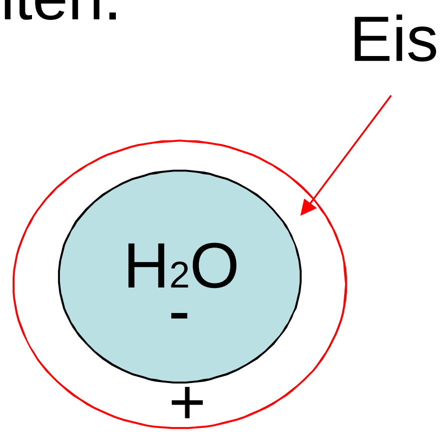
In großen Regentropfen
Ladungstrennung!

Aber Aufwinde: Kleine Tröpfchen
nehmen pos. Ladung mit nach oben!

Große neg. geladene Tropfen fallen nach unten.

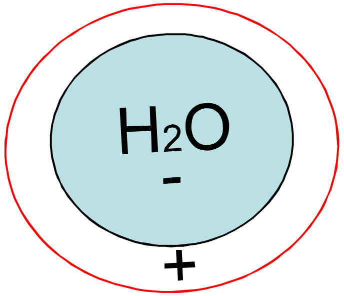
Kann nicht alles sein!

2. Nichtinduktive Prozesse

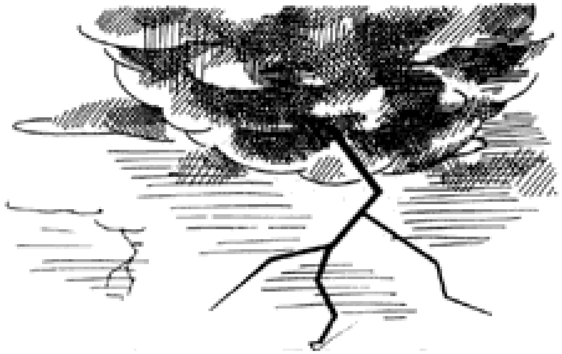


Auseinanderfallen von Eiskristallen!

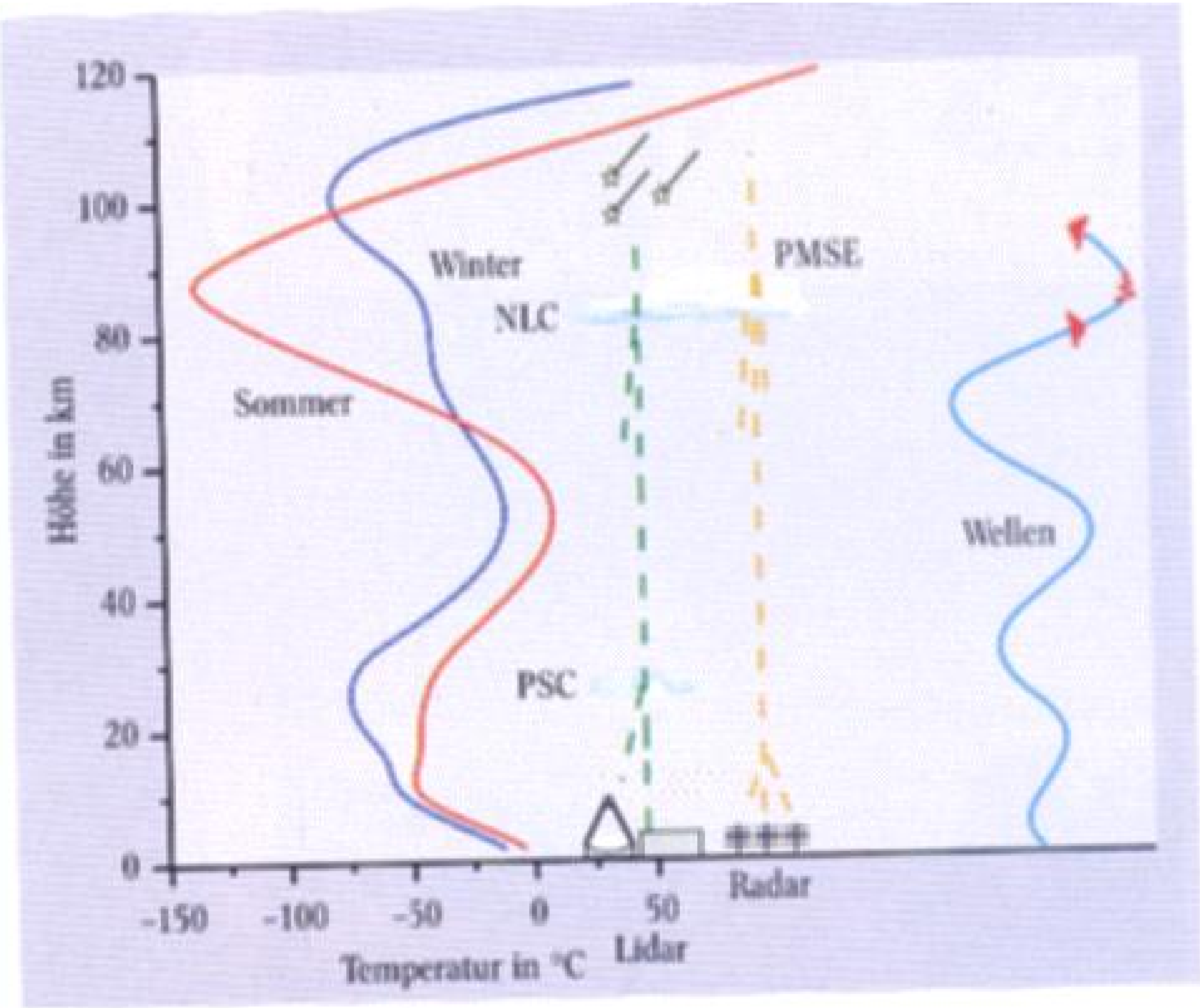
Affinität von Elektronen zu
Eis und Wasser ist verschieden!



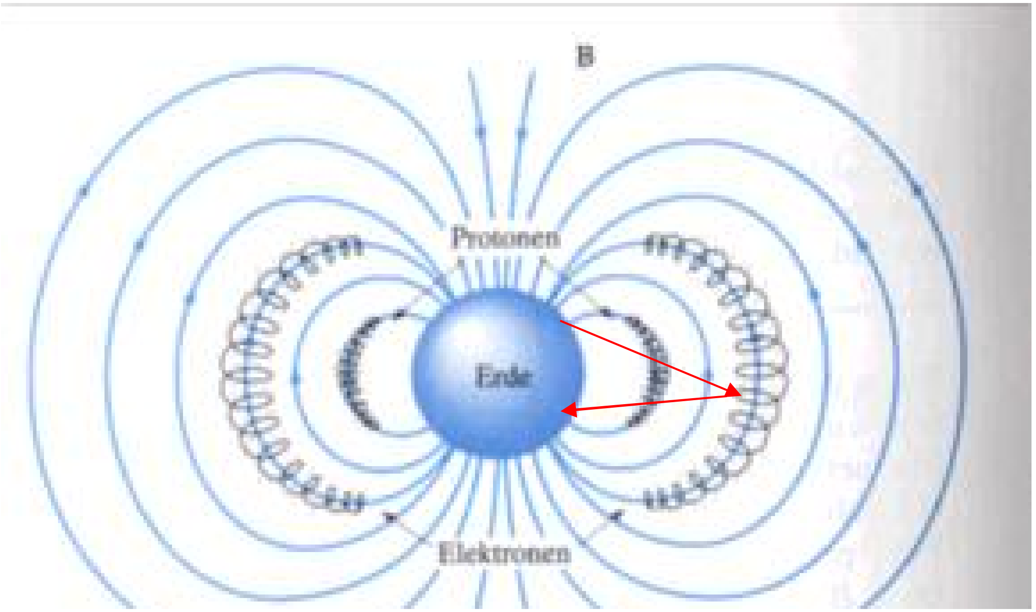
Gefriert ganz →explodiert →kleine pos. geladene Eisteilchen gehen nach oben!



Eigenschaft	Durchschnittlicher Wert
Geschwindigkeit Stufenleitblitz	$1{,}5 \cdot 10^5$ m/s
Geschwindigkeit Pfeilleitblitz	$2 \cdot 10^6$ m/s
Geschwindigkeit Rückentladung	$5 \cdot 10^7$ m/s
Blitzlänge	5 km
Temperatur in einem Blitz	bis 30 000 °C
Dauer eines Blitzes	0,2 s
Zeit zw. Rückentladungen	40 m
Ladungsübertragung	25 C
Stromstärke	2000 A
Spannung (zw.den Enden)	$4 \cdot 10^8$V



120
100
80
60
40
20
0
Höhe in km
-150
-100
-50
0
50
Temperatur in °C
Winter
Sommer
NLC
PSC
PMSE
Lidar
Radar
Wellen

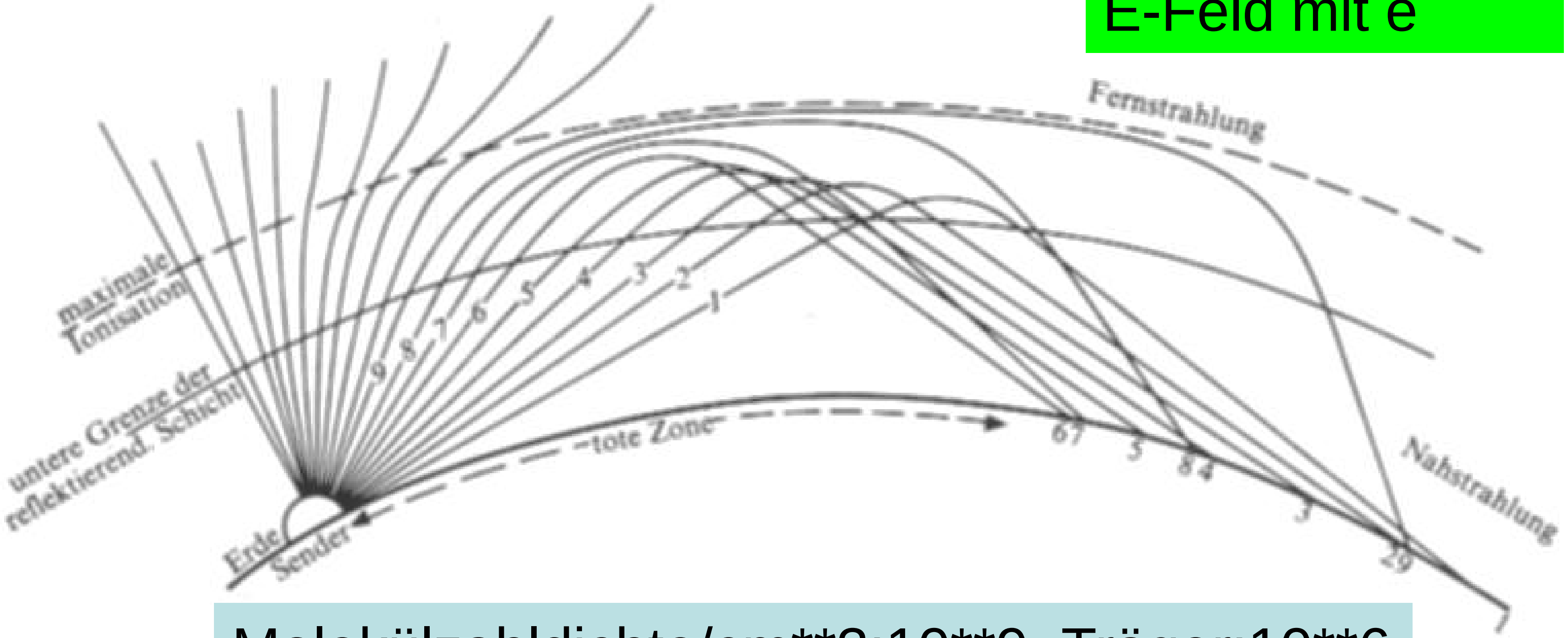


Ionosphäre

Plasma

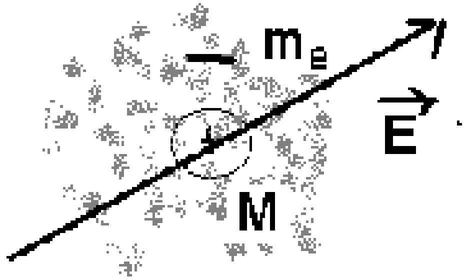
Kann man an den Elektronen reflektieren?

Wechselwirkung E-Feld mit e



Molekülzahldichte/cm**3:10**9, Träger:10**6

Polarisierbarkeit von Atomen in elektrischen Wechselfeldern:



$\vec{E}$: äußeres Feld, Massen M, m_e
mit M >>m_e

Das Elektron wird durch die Kraft $F = q \cdot E$

aus der Gleichgewichtslage gebracht

$$m_e \frac{d^2x}{dt^2} + m_e \cdot \omega_0^2 \cdot x = q \cdot E_x^0 \cdot \cos\omega t$$

Lösung mit $x=x_0$ *cosϒ t

$$\omega^2 \cdot m_e \cdot x_0 \cdot \cos\omega t + m_e \cdot \omega_0^2 \cdot x_0 \cdot \cos\omega t = q \cdot E_x^0 \cdot \cos\omega t$$

$$x_0 = \frac{q \cdot E_x^0}{m_2(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

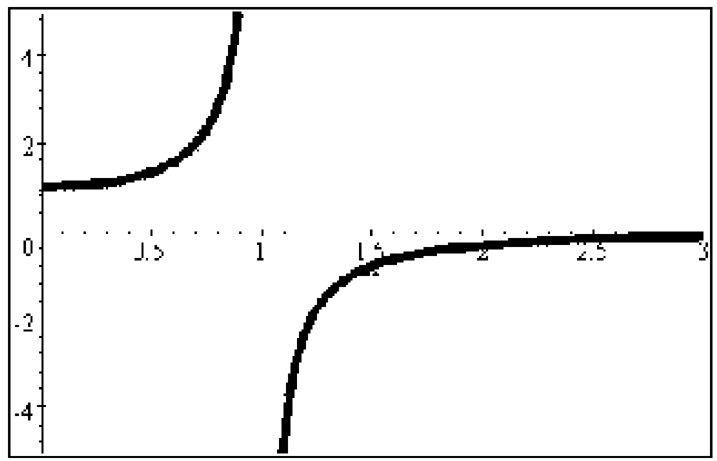
Der Auslenkung entspricht ein oszillierendes Dipolmoment

$$p_x = q \cdot x$$

$m_e=m_2$

$$\Rightarrow p_x = \frac{q^2 \cdot E_x}{m_2(\omega_0^2 - \omega^2)} = \varepsilon_0 \cdot \alpha(\omega) \cdot E_x$$

Ů



$$m \cdot \ddot{x} + h \cdot \dot{x} + m \cdot \omega_0^2 = e \cdot E_x \cdot e^{i\omega t}$$

Gebundene Elektronen

$$x_0 = \frac{\frac{e}{m}}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\omega \cdot S} E_x; mit \ldots S = \frac{h}{m}$$

h: Reibung

$$j = N \cdot e \cdot \dot{x} = \frac{i \cdot \omega \cdot N \cdot \frac{e^2}{m}}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\omega \cdot S} E_x \cdot e^{i\omega t}$$

Stromdichte

$$\rightarrow \frac{D}{m} = \omega_0^2 = 0$$

Nicht gebundene Elektronen

$$\rightarrow n^2 = \varepsilon = 1 + \chi = 1 - \frac{N \cdot \frac{e^2}{\varepsilon_0 m}}{\omega^2 + S^2} \qquad S \sim Stosszahl$$

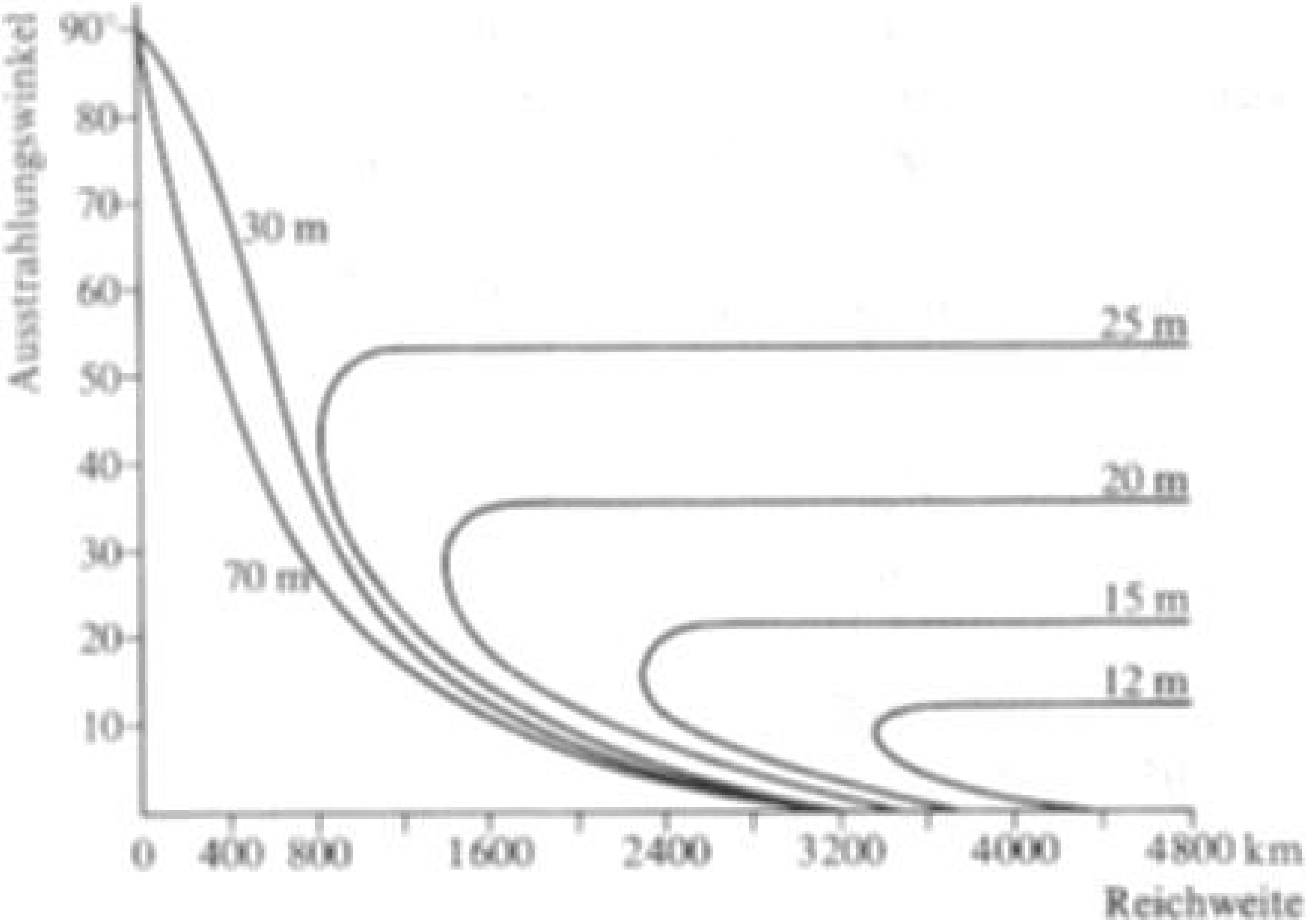
In wichtigen Breichen ω >>S

$$\rightarrow n^2 = 1 - \frac{N \cdot \frac{e^2}{\varepsilon_0 m}}{\omega^2} oder..mit..$$

$$f_k^2 = N \cdot \frac{e^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot \varepsilon_0 m} \ldots Plasmafrequenz$$

$$n^2 = 1 - \frac{f_k^2}{f^2}$$

Für $f=f_k$ $n=0$!!!!!


Ausstrahlungswinkel
90°
80
70
60
50
40
30
20
10
30 m
70 m
25 m
20 m
15 m
12 m
0
400
800
1600
2400
3200
4000
4800 km
Reichweite