

# Afu-Kurs

## Technik Klasse A 08: Das elektromagnetische Feld

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

Raumwelle

Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

DL0XK

AmateurfunkForschungsGruppe der TU Kaiserslautern

<https://www.amateurfunk.uni-kl.de/home/>



This work is licensed under the *Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License*.

Amateurfunkgruppe der Technische Universität Kaiserslautern, DL0XK, Stand: Thu May 2 13:53:53 2019 +0200  
basierend auf dem Kurs der Amateurfunkgruppe der Technische Universität Berlin (AfuTUB), DKØTU

# Wiederholung

## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

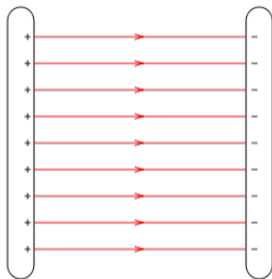
## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen



- Was für ein Feld ist das?
- von wo nach wo gehen die Linien?

# Wiederholung - Elektrisches Feld

Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

Raumwelle

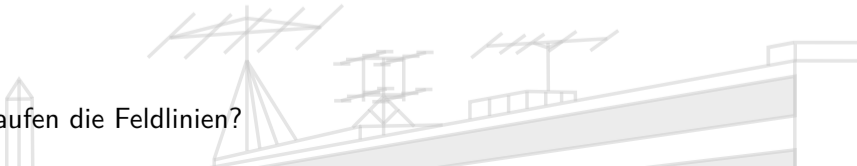
Ionisationsschichten

Besondere Effekte

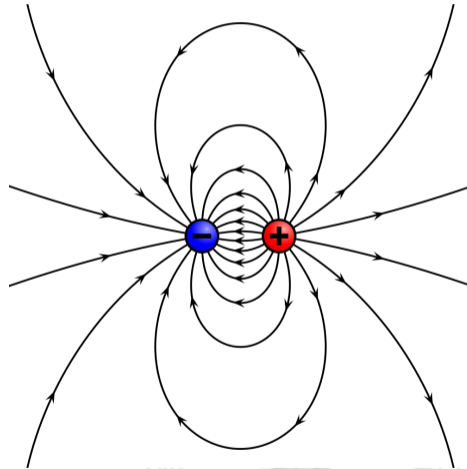
Referenzen



- Wie verlaufen die Feldlinien?



# Wiederholung - So verlaufen die Feldlinien



Wiederholung

- Elektrisches Feld
- Magnetfeld
- Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

- Raumwelle
- Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

# Wiederholung - Elektrisches Feld

Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

Raumwelle

Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

## Homogenes elektrisches Feld

$$E = \frac{U}{d}$$

Gilt näherungsweise auch am Wickelkondensator oder zwischen Innen- und Außenleiter von Koaxleitungen.

# Wiederholung - Starkes elektrisches Feld



Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

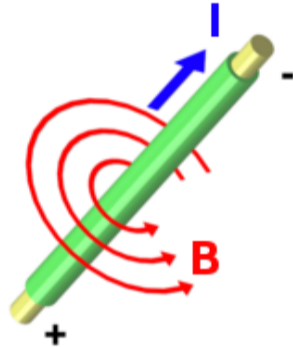
Raumwelle

Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

# Wiederholung - Magnetisches Feld



- Rechte-Hand-Regel
- Magnetfeld um stromdurchflossenen Leiter

## Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

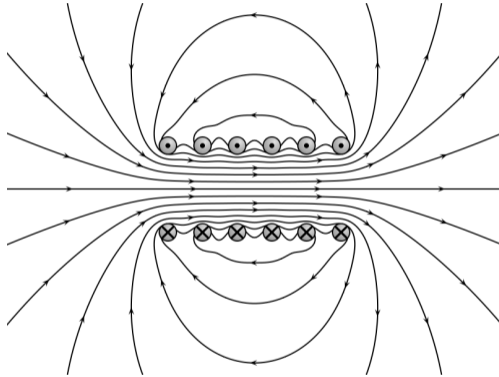
Raumwelle

Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen

# Wiederholung - Stromdurchflossene Spule



- im Inneren ein homogenes magnetisches Feld
- Flussrichtung durch Rechte-Hand-Regel

## Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle

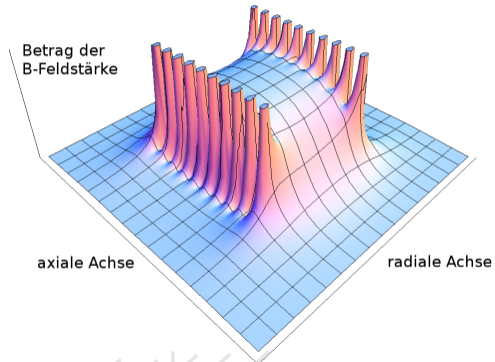
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen



# Wiederholung - 3D-Darstellung



- Was ist das? Gibt es homogene Bereiche?

## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen

# Wiederholung - Formeln aus der Formelsammlung

## Formeln zur Spule

$$\text{Feldstärke Leiter: } H = \frac{I}{2\pi r} \quad (r = \text{Abstand vom Leiter})$$

$$\text{Feldstärke Spule: } H = \frac{I \cdot N}{\ell_m} \quad (\ell_m = \text{mittlere Spulenlänge})$$

$$\text{Flussdichte Spule: } B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H$$

$$\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \right]$$

$$\mu_r \approx 1 \text{ bei Luft}$$

# Wiederholung - Induktionsofen



- $B = \mu \cdot H$
- 15kW bei 450 kHz
- Spule ist wassergekühlt

Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

Raumwelle

Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

# Hysterese

Wiederholung

- Elektrisches Feld
- Magnetfeld
- Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

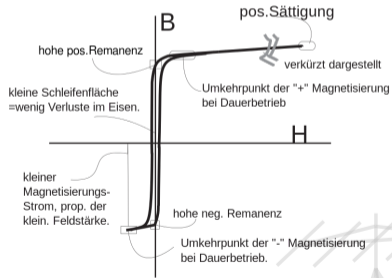
- Raumwelle
- Ionisationsschichten

Besondere Effekte

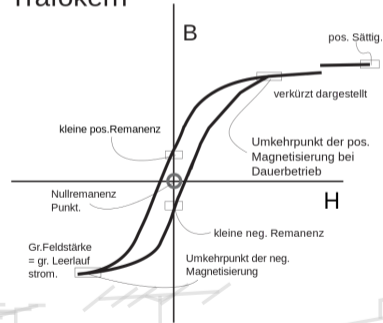
Referenzen

## Hysteresekurve

bei Ringkern-Trafos  
luftspaltfrei deshalb hohe Remanenz



## Hysteresekurve geschweißter Trafokern



# Wiederholung - Verständnis Dipol

## Wiederholung

- Elektrisches Feld
- Magnetfeld
- Elektromagnetisches Feld

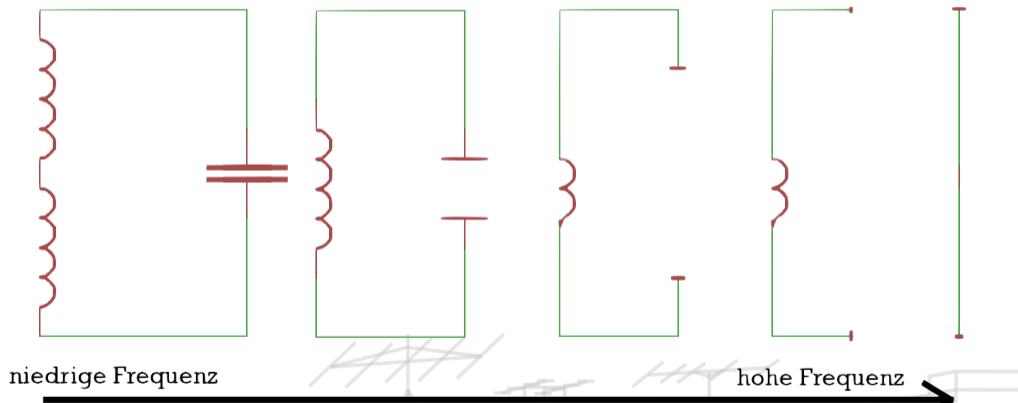
## Fernfeld

## Wellenausbreitung

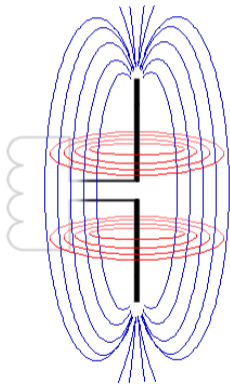
- Raumwelle
- Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen



# Wiederholung - Das elektromagnetische Feld



- elektromagnetisches Feld bildet sich durch ein sich änderndes elektrisches und ein sich änderndes magnetisches Feld
- zieht man die Kondensatorplatten auseinander und streckt die Spule, erhält man eine Dipolantenne

## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

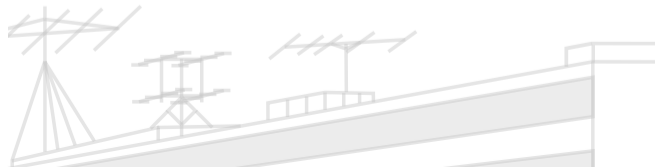
## Fernfeld

## Wellenausbreitung

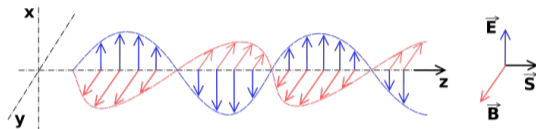
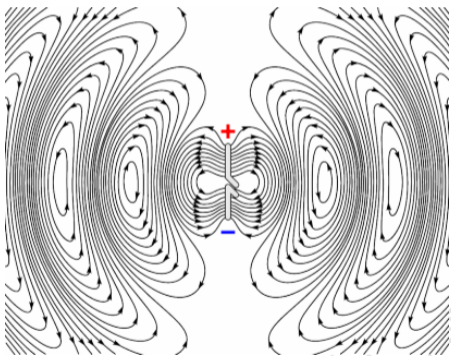
Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen



# Wiederholung - Polarisation



- E-Feld bestimmt die Richtung der Polarisation
- magnetisches Feld ist um  $90^\circ$  gedreht
- Im Amateurfunk horizontal oder vertikal

## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen

# Poynting-Vektor (nicht prüfungsrelevant)

$$S = E \times H$$

Der Poynting-Vektor  $S[\frac{W}{m^2}]$  ist das Kreuzprodukt aus dem  $E$  und  $H$  Feld gibt die Energierichtung, so wie die Wirkleistung des Signals an dem berechneten Punkt.

Darüber lässt sich erklären, warum außerhalb eines Koaxialleiters keine elektromagnetischen Felder existieren.

## Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle

Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen



# Der Feldwellenwiderstand

## Feldwellenwiderstand

$$E = Z_0 \cdot H \quad (\text{analog zu } U = R \cdot I)$$

Im Freiraum ist  $Z_0$  eine Konstante:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 376,7\Omega$$

### Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

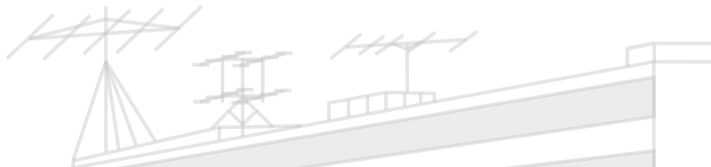
### Fernfeld

### Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

### Besondere Effekte

### Referenzen



# Die Ersatzfeldstärke

## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen

## Ersatzfeldstärke des E-Feldes

Im Fernfeld bei  $> \frac{\lambda}{2\pi}$  (Herleitung nicht prüfungsrelevant)

$$E = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{Z_0}{4 \cdot \pi}} \cdot P_s$$

Mit Freiraumdämpfung  $Z_0 = 376,7\Omega$

$$\rightarrow E \approx \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_s}}{r}$$

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

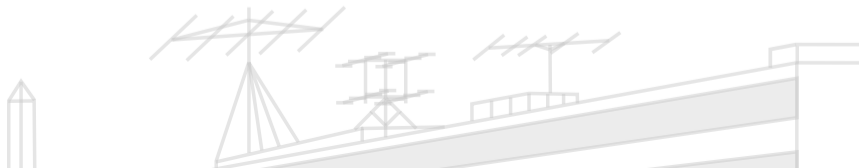
Raumwelle

Ionisationsschichten

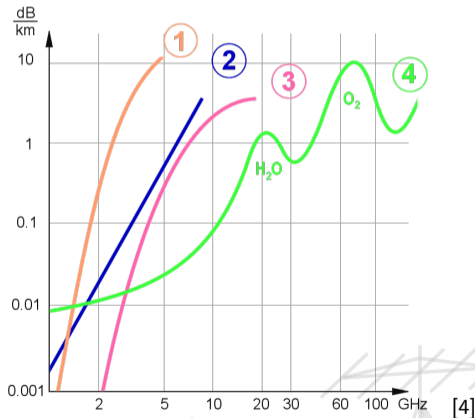
Besondere Effekte

Referenzen

# Wellenausbreitung in der Atmosphäre



# Atmosphärische Dämpfungsverluste (Zusatzinfo)



## Dämpfungsverluste durch Absorption

- ① starker Regen
- ② Nebel, Wolken
- ③ mäßiger Regen
- ④ molekulare Streuung

Erst praktisch relevant ab UHF++<sup>1</sup>

<sup>1</sup>23 cm (1–2 GHz L-Band), 13 cm, 9 cm (2–4 GHz S-Band), ...

# Wiederholung - Wellenlänge

Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

Raumwelle

Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

## Wie lautet die Formel zum Umrechnen von Frequenz auf Wellenlänge?<sup>2</sup>

<sup>2</sup>zum "Einbrennen" ;-)

# Wiederholung - Wellenlänge

$$\lambda = \frac{300}{f} \text{ mit } f \text{ in MHz}$$

Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

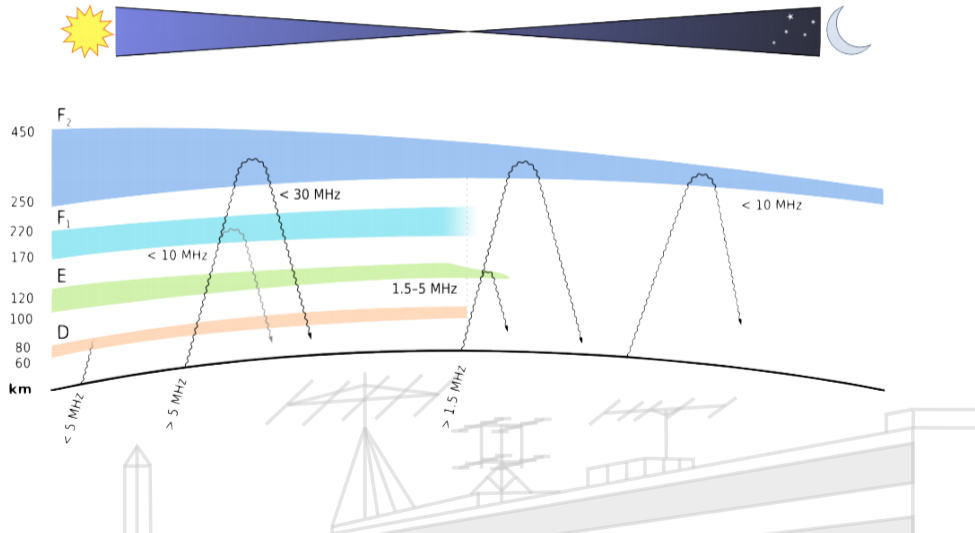
Raumwelle

Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

# Wiederholung - Raumwelle



Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

Wellenausbreitung

Raumwelle

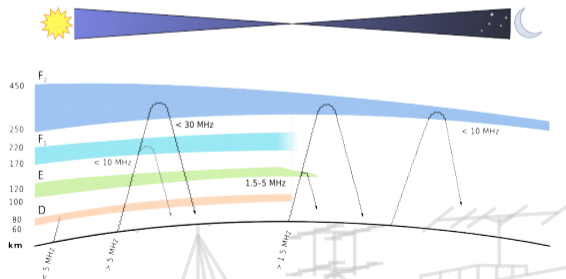
Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

# Wiederholung - D-Schicht

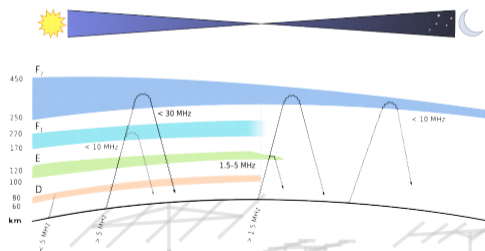
- entsteht tagsüber, verschwindet nach Sonnenuntergang sehr schnell
- dämpft Frequenzen unter 5 MHz (160 m und 80 m unbenutzbar)
- HF-Frequenzen ab ca 20 MHz sind bei Sonnenflecken-Minimum nicht verwendbar
- bei hoher Sonnenaktivität Mögel-Dellinger-Effekt (kommt später)





# Wiederholung - E-Schicht

- tagsüber
- reflektiert HF-Bänder 10m, 6m
- reflektiert gelegentlich 2m (Sporadic-E) <sup>3</sup>
- mit sehr starken Signalen zwischen 750 und 2200 km (Short-Skip)



<sup>3</sup> [Youtube-Video](#)

## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

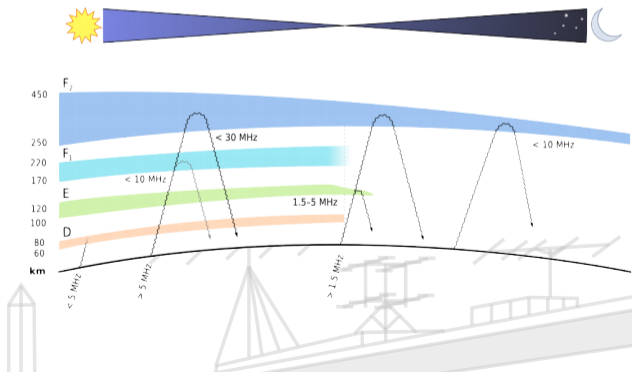
Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen

# Wiederholung - F-Schichten

- F1 und F2 Schicht
- F2 Schicht besteht auch Nachts (langsame Rekombination)
- beständigste Schichten für KW
- mit sehr starken Signalen zwischen 750 und 2200 km (Short-Skip)



## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

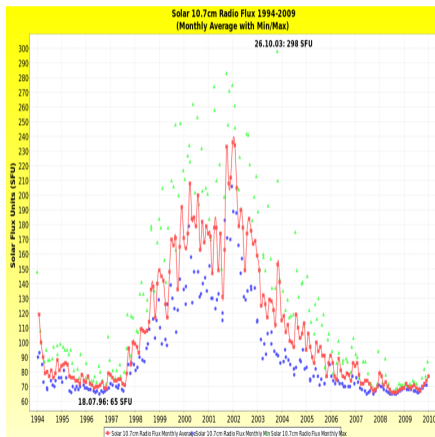
## Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen

# Solarer Flux



- Messwert der solaren Radiostrahlung bei  $2800\text{MHz}$
- Werte über 100 stehen für große Ionisation und somit gute Fernausbreitung von KW

Afu-Kurs

Technik A 08

Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

Fernfeld

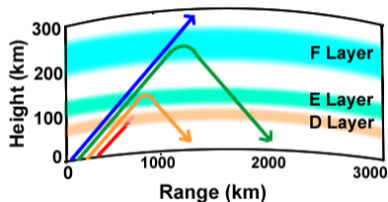
Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

Besondere Effekte

Referenzen

# MUF (Maximum Usable Frequency)



- **MUF**: größte noch nutzbare Frequenz für Reflexion bei gegebenem Winkel
- $MUF \approx \frac{f_{kritisch}}{\sin \alpha} = \frac{f_{kritisch}}{\cos \varphi}$
- $\alpha$ : Abstrahlwinkel vom Boden
- $\varphi$ : Auftreffwinkel auf die Schicht
- $f_{kritisch}$ : höchste Frequenz, die bei  $\alpha = 90^\circ$  gerade noch reflektiert wird
- $f_{opt} = 0.85 \cdot MUF$

# Fading, Backscatter

**Fading** (*dt*: Schwund) Schwankung der Empfangsfeldstärke durch:

- Interferenz Boden-/Raumwelle
- Veränderung der Ionisierung während eines Durchgangs

**Backscatter** Rückstreuung von Wellen.

- Voraussetzungen: inhomogene Ionosphäre und Frequenzen weit über MUF
- Nutzung für (Wetter-)Radar
- Flutterfading

## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

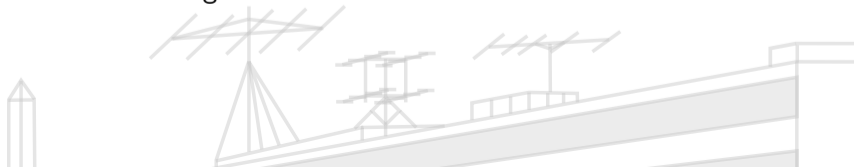
## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle  
Ionisationsschichten

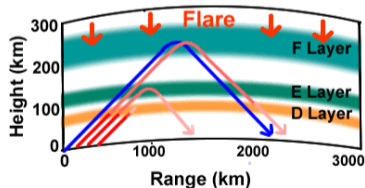
## Besondere Effekte

## Referenzen



# Mögel-Dellinger

- Ionisierung der D-Schicht durch Flares (Sonneneruptionen)
- Dämpfung aller Frequenzen unter 300 MHz (Totalausfall der KW)
- entdeckt um 1930 von Hans Mögel, 1935 von John Howard Dellinger dem US-Standardisierungsamt (National Bureau of Standards) vorgestellt



## Wiederholung

Elektrisches Feld  
Magnetfeld  
Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

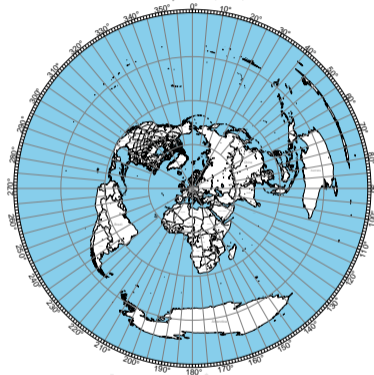
Raumwelle  
Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen

## DKØTU Beamkarte

Center: 52°31'12"N 13°22'48"E  
Courtesy of Tom (NS6T)



Map from <http://ve3i.net/>

### Wiederholung

- Elektrisches Feld
- Magnetfeld
- Elektromagnetisches Feld

### Fernfeld

### Wellenausbreitung

- Raumwelle
- Ionisationsschichten

### Besondere Effekte

### Referenzen

# Reichweite der Bänder

- Welche Bänder tagsüber?
- Welche Bänder nachts?
- Greyline: ↗ <http://dx.qsl.net/propagation/greyline.html>
- Womit geht mehr DX?
- ↗ <http://www.dr1a.com/pages/de/dx-propagation.php>
- Ausführlich auch in E-Technik E09

## Wiederholung

Elektrisches Feld

Magnetfeld

Elektromagnetisches Feld

## Fernfeld

## Wellenausbreitung

Raumwelle

Ionisationsschichten

## Besondere Effekte

## Referenzen



# Referenzen/Links

- [1] DARC Online-Lehrgang Lektion A08:  
<https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/lehrgang-ta/a08/>
- [2] Wikipedia - Die freie Enzyklopädie: [https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrisches\\_Feld](https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrisches_Feld)
- [3] Fragenkatalog Bundesnetzagentur Technik Klasse A: [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Frequenzen/Amateurfunk/Fragenkatalog/TechnikFragenkatalogKlasseAf252rId9014pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Amateurfunk/Fragenkatalog/TechnikFragenkatalogKlasseAf252rId9014pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3)
- [4] Atmosphärische Dämpfungsverluste: (© ⓘ ⓘ)  
<http://www.radartutorial.eu/07.waves/wa13.de.html>