



# Amateurfunk Prüfungsvorbereitung Klasse A

5.8 Ionosphäre und Wellenausbreitung

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

Methodik und Hinweis auf mögliche Fehler

Die richtigen Lösungen zu den Prüfungsfragen sind aus dem Fragenkatalog bekannt, hier geht es nur um den Weg dorthin.

- Bei Rechenaufgaben bekommst Du einen hoffentlich hinreichend nachvollziehbaren Lösungsweg präsentiert, der Dir zeigt, wie Du auf den richtigen Wert kommst.
- Bei Wissensfragen in Textform bekommst Du eine Argumentation, warum die richtige Lösung richtig und die anderen Lösungsvorschläge falsch sind.
- Außerdem bekommst Du die Hintergrundinformationen, die Du benötigst, um die Wissens-/Textaufgaben lösen zu können. Dies kann in vielen Fällen ausreichend sein, hängt aber auch von Deinen persönlichen Kenntnissen in Mathematik und Physik ab.
- Dieses Lernmaterial kann einen Amateurfunk-Prüfungsvorbereitungskurs vor Ort oder Online und/oder ein Lehrbuch selbstverständlich nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.

**Die Unterlage wurden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Fehler sind jedoch nicht gänzlich auszuschließen ...**

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## Überblick

<u>Kapitel</u>	<u>Thema</u>	<u>Fragen</u>	<u>Anzahl</u>
5.8.1	Ionosphäre	AH101 – AH108	8
5.8.2	Kurzwellenausbreitung	AH201 – AH223	23
5.8.3	Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz	AH301 – AH311	11
Summe			42

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

**AH101 Welcher Effekt sorgt hauptsächlich dafür, dass ionosphärische Regionen Funkwellen zur Erde ablenken können?**

- A** Die von der Sonne ausgehende UV-Strahlung ionisiert - je nach Strahlungsintensität - die Moleküle in den verschiedenen Regionen.
- B** Die von der Sonne ausgehende Infrarotstrahlung ionisiert - je nach Strahlungsintensität - die Moleküle in den verschiedenen Regionen.
- C** Die von der Sonne ausgehende UV-Strahlung aktiviert - je nach Strahlungsintensität - die Sauerstoffatome in den verschiedenen Regionen.
- D** Die von der Sonne ausgehende Infrarotstrahlung aktiviert - je nach Strahlungsintensität - die Sauerstoffatome in den verschiedenen Regionen.

**Erklärung:**

**Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung) ionisiert nicht, sondern (die viel energiereichere) UV-Strahlung.**

Daher scheiden B und D aus.

**Sauerstoff tritt nicht als Atom (O) auf, sondern als Molekül (O<sub>2</sub> oder O<sub>3</sub> - Ozon).**

Es scheidet auch Lösung C aus.

Somit bleibt die korrekte Lösung A.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre / Solarer Flux

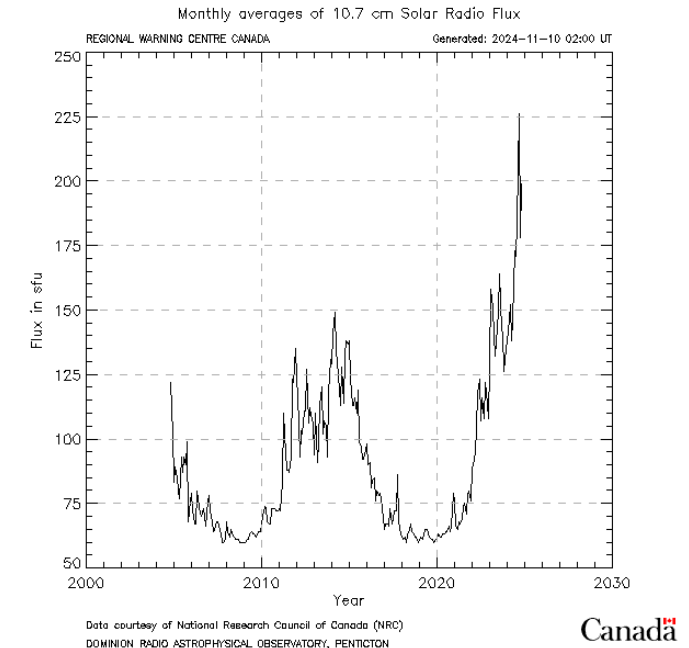
### Solar Flux (solarer Radioflussindex, auch F10.7 index)

- Spektrale Flussdichte der **solaren Radiostrahlung bei der Frequenz 2800 MHz**, entsprechend einer **Wellenlänge von 10,7 cm – (2800 MHz: also GHz-Bereich)**.
- Proportional zur Sonnenaktivität.  
Die Radiowellenstrahlung der Sonne bei 10,7 cm Wellenlänge korreliert sehr stark mit der Sonnenfleckenzahl  $R$ , ist aber einfacher zu messen als  $R$ , die sich aus einer subjektiven, manuellen Zählung der Sonnenflecken ergibt.

- Einheiten:

$$1 \text{ sfu (Solar Flux Units)} = 10^4 \text{ Jy (Janzky)} = 10^{-22} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{Hz}}$$

- **Fluxwerte > 100 führen zu einer starken Ionisation der Ionosphäre und damit zu besseren KW-Ausbreitungsbedingungen.**
- **Der solare Flux wird täglich von Stationen am Erdboden gemessen** und wird zur Vorhersage der Ausbreitungsbedingungen im Kurzwellenfunk verwendet, da die Ionisation der Ionosphäre, die für die Rückreflexion der Kurzwellen zur Erde nötig ist, direkt mit der Sonnenaktivität zusammenhängt.



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

### AH102 Der solare Flux F ...

**A** ist die gemessene Energieausstrahlung der Sonne im GHz-Bereich. Fluxwerte über 100 führen zu einem stark erhöhten Ionisationsgrad in der Ionosphäre und zu einer erheblich verbesserten Fernausbreitung auf den höheren Kurzwellenbändern.

**B** ist die gemessene Energieausstrahlung der Sonne im Kurzwellenbereich. Fluxwerte über 60 führen zu einem stark erhöhten Ionisationsgrad in der Ionosphäre und zu einer erheblich verbesserten Fernausbreitung auf den höheren Kurzwellenbändern.

**C** wird aus der Sonnenfleckenzahl  $R$  abgeleitet und ist ein Indikator für die Aktivität der Sonne. Fluxwerte über 100 führen zu einem stark erhöhten Ionisationsgrad der D-Region und damit zu einer erheblichen Verschlechterung der Fernausbreitung auf den Kurzwellenbändern.

**D** wird aus der Sonnenfleckenzahl  $R$  abgeleitet und ist ein Indikator für die Aktivität der Sonne. Fluxwerte über 60 führen zu einem stark erhöhten Ionisationsgrad in der Ionosphäre und zu einer erheblich verbesserten Fernausbreitung auf den höheren Kurzwellenbändern.

### Erklärung:

**A:**

Fluxwerte  $> 100$   
und gemessene  
Energieausstrahlung.  
Lösung A ist korrekt.

**B:**

Fluxwerte  $> 100$ , nicht 60 –  
B scheidet aus.

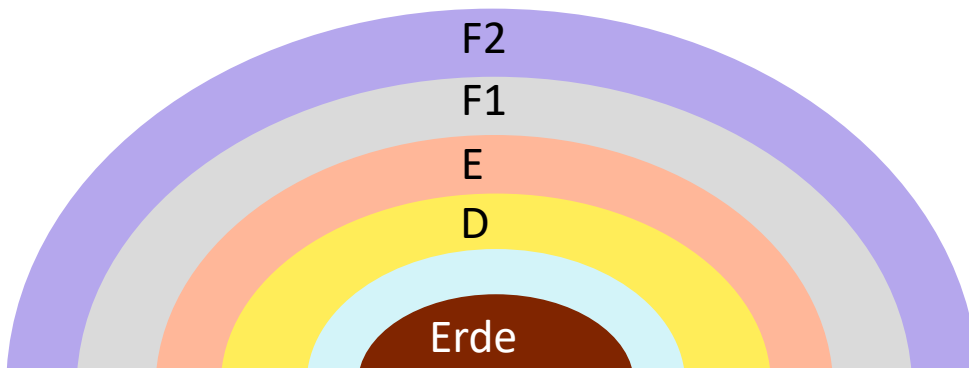
**C, D:**

Keine Ableitung aus der  
Sonnenfleckenzahl,  
sondern Messung –  
C und D scheiden aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

### Regionen der Ionosphäre



Region	Von ... Bis ...
F2	250 – 450 km
F1	130 – 200 km
E	90 – 130 km
D	50 – 90 km
Troposphäre	bis 10 km

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre / D-Region und Mögel-Dellinger-Effekt

### D-Region

- der Erde am nächsten gelegene Region in einem Höhenbereich zwischen **50 und 90 km**.
- **existiert nur am Tage** - sie löst sich bei Sonnenuntergang binnen weniger Minuten nahezu auf. In der Nacht verbleibt durch die kosmische Strahlung eine geringe Restionisation.
- Hohe Kollisionsfrequenz (Elektronen und andere Teilchen) **sorgt für starke Dämpfung der Radiowellen. Dadurch tagsüber kaum Nutzung der Raumwelle < 10 MHz (ionosphärischer Wellenleiter) möglich.**
- UKW-Signale können an der D-Region gestreut werden (Ionoscatter).

### Mögel-Dellinger-Effekt

- **D-Region reagiert besonders empfindlich auf erhöhte Strahlung. Bei starker Sonneneruption wird diese Region durch UV- und Röntgenstrahlung stark ionisiert, was zu einer massiven Dämpfung der Kurzwellensignale führt.**
- **Dieser Effekt wird auch als Mögel-Dellinger-Effekt bezeichnet und beschreibt den temporären Ausfall von Funkverbindungen.**
- Die starke Dämpfung in der D-Region verhindert, dass die Kurzwellensignale die höheren Regionen der Ionosphäre (E- und F-Regionen) erreichen können, wodurch die Ausbreitung über die Raumwelle unmöglich wird.



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre / E-Region

**E-Region** (Kennelly-Heaviside-Region, Heaviside-Region, E(lektrische) Region (Appelton, 1927))

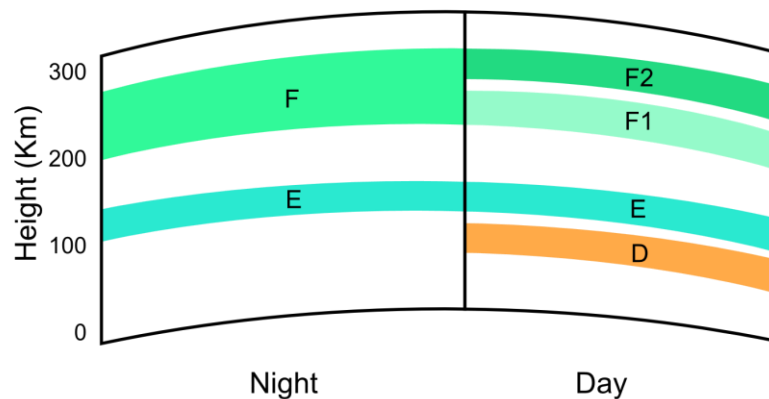
- mittlere Ionosphärenregion in einer **Höhe zwischen 90 und 130 km**
- Ionisation durch weiche Röntgenstrahlung und UV-Strahlung von Stickstoff- und Sauerstoffmolekülen ( $N_2$ ,  $O_2$ )
- bildet sich auf der Tagseite der Erde aus, erreicht Ionisationsmaximum in der Mittagszeit und verschwindet nach Sonnenuntergang + 1 Std. fast vollständig
- Im Sonnenfleckenmaximum liegt die Region höher als im Minimum.
- Es kommt häufig, aber nicht regelmäßig, zu starken lokalen Ionisationen in einer nur wenige Kilometer dicken Region, die als sporadische E-Region bezeichnet wird
- Für KW ist Spiegelung hier nur im Nahverkehr interessant, da  $2 \text{ MHz} < \text{kritische Frequenz} < 4 \text{ MHz}$

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre / F1-Region

### F1-Region

- Ist der erdnahe Teil der F-Region (oder Appleton-Region) – **130 bis 200 km über dem Erdboden.**
- **ausschließlich tagsüber vorhanden – verschmilzt Nachts mit der F2-Region**
- **intensive Sonneneinstrahlung führt tagsüber zu einer erhöhten Ionisation in der F1-Region, wodurch mehr freie Elektronen entstehen**



Die F1-Region liegt unterhalb der F2-Region und deckt diese vom Erdboden aus gesehen ab.

Für DX (Langstrecken)-Ausbreitung der Kurzwelle kann das störend wirken, denn durch die Brechung / Refraktion an der F2-Region lassen sich größere Reichweiten erreichen.

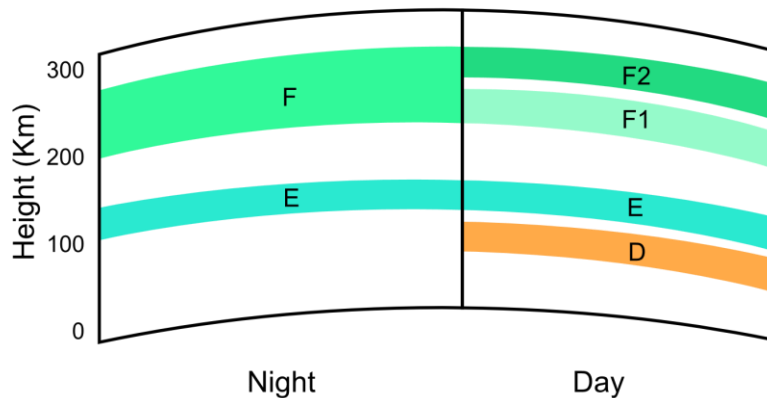
- besteht aus positiv geladenen  $O^+$ ,  $O_2^+$  und  $NO^+$  Ionen, die sich aufgrund extremer UV-Strahlung bilden

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre / F2-Region

### F2-Region

- Ist der erdferne Teil der F-Region (oder Appleton-Region) – **250 bis 450 km über dem Erdboden.**
- **Ionosphären-Region mit der höchsten Konzentration an freien Elektronen und Ionen**
- zuverlässiger Reflektor für KW und ist somit entscheidend für die Langstreckenkommunikation (DX-Kommunikation)



**Die F2-Region hat ihre größte Höhe im Sommer zur Mittagszeit.**

- Die Eigenschaften der F2-Region können je nach Sonnenaktivität, Tageszeit, Jahreszeit und geografischer Lage stark variieren.
- besteht aus positiv geladenen  $O^+$  Ionen, die sich aufgrund extremer UV-Strahlung bilden

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

**AH103** In welcher Höhe befindet sich die für die Fernausbreitung wichtige D-Region? Sie befindet sich in ungefähr ...

**A** 50–90 km Höhe.

**B** 9–130 km Höhe.

**C** 130–200 km Höhe.

**D** 250–450 km Höhe.

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folien

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

**AH104** In welcher Höhe befindet sich die für die Fernausbreitung wichtige E-Region? Sie befindet sich in ungefähr ...

**A** 90–130 km Höhe.

**B** 50–90 km Höhe.

**C** 130–200 km Höhe.

**D** 250–450 km Höhe.

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folien

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

**AH105 In welcher Höhe befindet sich die für die Fernausbreitung (DX) wichtige F1-Region während der Tagesstunden? Sie befindet sich in ungefähr ...**

**A** 130–200 km Höhe.

**B** 90–130 km Höhe.

**C** 50–90 km Höhe.

**D** 200–450 km Höhe

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folien

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

**AH106** In welcher Höhe befindet sich die für die Fernausbreitung (DX) wichtige F2-Region während der Tagesstunden an einem Sommertag? Sie befindet sich in ungefähr ...

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folien

**A** 250–450 km Höhe.

**B** 130–200 km Höhe.

**C** 90–130 km Höhe.

**D** 50–90 km Höhe.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

**AH107 Für die DX-Kurzwellenausbreitung über die Raumwelle ist die F1-Region ...**

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folien

**A** meist unerwünscht, weil sie durch Abdeckung die Ausbreitung durch Refraktion (Brechung) an der F2-Region verhindern kann.

**B** erwünscht, weil sie durch zusätzliche Reflexion die Wirkung der F2-Region verstärken kann.

**C** nicht von großer Bedeutung, weil sie vor allem für die höheren Frequenzen durchlässig ist.

**D** von großer Bedeutung, weil sie die Dämpfung in der E-Region senkt und damit die Sprungdistanz vergrößert.



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.1 Ionosphäre

**AH108** Zu welcher Jahres- und Tageszeit hat die F2- Region ihre größte Höhe? Sie hat ihre größte Höhe ...

**A** im Sommer zur Mittagszeit.

**B** im Sommer um Mitternacht.

**C** im Frühjahr und Herbst zur Dämmerungszeit.

**D** im Winter zur Mittagszeit

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folie

Überlege:

Wann ist die UV-Intensität am höchsten?  
(Wann holt man sich einen Sonnenbrand?)

- Bei voller Sonneneinstrahlung
- D.h. nicht im Frühjahr, Herbst oder Winter, sondern im Sommer
- D.h. nicht Nachts, sondern Mittags

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH201** Welches der nachstehend aufgeführten Bänder ist für KW-Verbindungen zwischen Hamburg und München um die Mittagszeit herum üblicherweise gut geeignet?

- A** 40 m-Band
- B** 160 m-Band
- C** 80 m-Band
- D** 15 m-Band

### Erklärung:

160 m-Band ist MW, nicht KW. Es wird aber auch tagsüber extrem gedämpft, so dass es sich nur abends und nachts eignet – B scheidet aus.

Das 80 m-Band wird tagsüber weniger gedämpft als das 160 m-Band. Die Ausbreitung erfolgt aber vorwiegend über Bodenwelle bis 200 km. Die Entfernung M-H ist größer – C scheidet aus.

Das 15 m-Band ist im Sonnenfleckenmaximum tagsüber sehr gut für DX-Verbindungen geeignet – oft nur in den Sommermonaten für kurze Zeiträume. M und H liegen wechselseitig jeweils in der toten Zone im 15m-Band – D scheidet aus.

Mittags ist die Ionisation der F2-Region am stärksten, das führt zu einer höheren Reflexion von KW-Signalen und begünstigt die Ausbreitung des 40 m-Bands.

Die Entfernung M-H ist ca. 500-600 km. Dafür ist das 40 m-Band gut geeignet. Es wird durch die D-Region weniger gedämpft als das 80 m- und 160 m-Band.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH202** Welches dieser Frequenzbänder kann im Sonnenfleckennminimum am ehesten für tägliche Weitverkehrsverbindungen verwendet werden?

- A** 14 MHz (20 m-Band)
- B** 3,5 MHz (80 m-Band)
- C** 28 MHz (10 m-Band)
- D** 1,8 MHz (160 m-Band)

**Erklärung:**

**A:**

**Das 20-Meter-Band (14 MHz) zeichnet sich durch seine Zuverlässigkeit und Stabilität aus, selbst während des Sonnenfleckennminimums.** Es stellt einen guten Kompromiss zwischen Reichweite und Verbindungsqualität dar und eignet sich hervorragend für Weitverkehrsverbindungen (DX).

**B, D:**

Während niedrige Bänder wie 80 m und 160 m oft von starkem atmosphärischem Rauschen betroffen sind, bleibt das 20-m-Band vergleichsweise störungsarm – B und D scheiden aus.

**C:**

Gleichzeitig ist es während des Sonnenfleckennminimums häufig das höchste nutzbare Band für DX-Verbindungen, da höhere Bänder wie 10 m (28 MHz) in dieser Phase meist geschlossen und somit unzuverlässig sind – C scheidet aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH203 Welche der folgenden Frequenzbänder können in den Nachtstunden am ehesten für weltweite Funkverbindungen genutzt werden?**

**A** 160 m, 80 m und 40 m

**B** 40 m, 20 m und 15 m

**C** 40 m, 17 m und 6 m

**D** 30 m, 12 m und 10 m

**Erklärung:**

**A:**

Das 160 m-, 80 m- und 40 m-Band profitieren von der Auflösung der D-Region nach Sonnenuntergang – Reichweiten bis 1000 km (160m) und bis 4000 km (80m) über Raumwelle.

**B:**

**20 m-Band:** im Sonnenfleckenminimum nur tagsüber bzw. bis in die frühen Abendstunden nutzbar – B scheidet aus.

**C:**

**6 m-Band:** Braucht Nachts Sonderbedingungen (Sporadic-E, Sonnenfleckenmaximum, Sommer) – Primär ein Tagband – C scheidet aus.

**D:**

**12 m-Band:** Das Band ist nachts fast nicht nutzbar. D scheidet aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

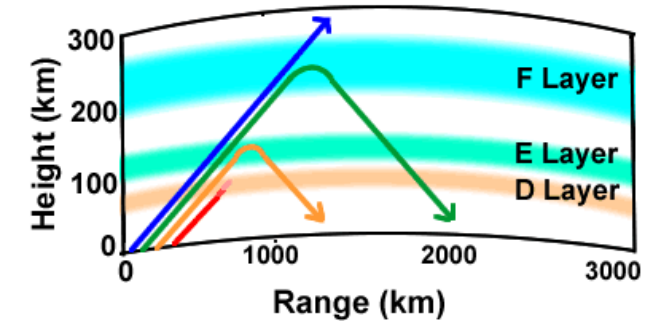
## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung / Die Maximum Usable Frequency MUF

### Maximum Usable Frequency (MUF)

- **höchste für eine Kurzwellen-Funkverbindung zwischen zwei Orten verwendbare Frequenz**
- **d.h. höchste Frequenz bei der eine Reflexion an der Ionosphäre möglich ist**
- ermöglicht in mindestens 50% der Empfangszeit eine zuverlässige Verbindung.  
50 Prozent ist relativ wenig, daher wurde die FOT definiert ... ein paar Folien weiter.

### Abhängigkeiten

- Tageszeit
- Jahreszeit
- Sonnenaktivität
- Sonnenfleckenzyklus
- Region der Ionosphäre – MUF für F-Region ist anders als MUF für E-Region
- gewünschte Sprungweite – die MUF für 3000 km ist eine andere als für 2500 km



$f_{\text{blau}} > \text{MUF}_{\text{F-Region}}$	Keine Refraktion
$f_{\text{grün}} < \text{MUF}_{\text{F-Region}}$ $f_{\text{grün}} > \text{MUF}_{\text{E-Region}}$	Refraktion an der F-Region
$f_{\text{orange}} < \text{MUF}_{\text{E-Region}}$ $f_{\text{orange}} > \text{LUF}$	Refraktion an der E-Region
$f_{\text{rot}} < \text{LUF}$	Absorption durch die D-Region

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung / Die Least Usable Frequency LUF

### Least Usable Frequency (LUF)

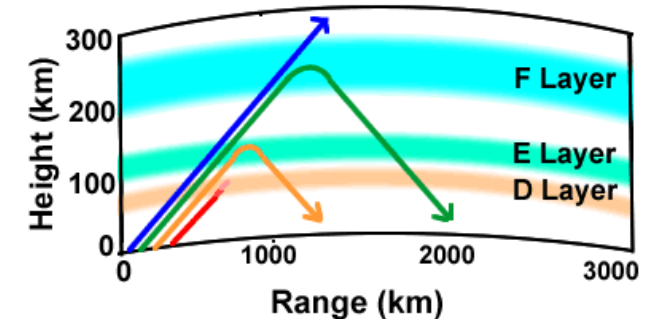
- **niedrigste brauchbare Frequenz, bei der eine Verbindung über die Raumwelle hergestellt werden kann.**
- **Untere Grenzfrequenz, unterhalb derer die Dämpfung für eine Funkverbindung zu stark ist.**

### Faktoren

- Die LUF kann durch bessere Ausrüstung (Sendeleistung, Antenne und Empfängerempfindlichkeit) nach unten verschoben werden – im Gegensatz zur MUF.

### Veränderlichkeit

- Mittags in Jahren aktiver Sonne erreicht die LUF-Werte um 10 MHz.
- Im Sonnenfleckeminimum kann sie unter 7 MHz liegen, was ganztägige DX-Verbindungen auf 40 m ermöglicht.
- Nachts, wenn die D-Region verschwindet, sinken die LUF-Werte in den MW-Bereich oder darunter (160 m-Band!)



$f_{\text{blau}} > \text{MUF}_{\text{F-Region}}$	Keine Refraktion
$f_{\text{grün}} < \text{MUF}_{\text{F-Region}}$ $f_{\text{grün}} > \text{MUF}_{\text{E-Region}}$	Refraktion an der F-Region
$f_{\text{orange}} < \text{MUF}_{\text{E-Region}}$ $f_{\text{orange}} > \text{LUF}$	Refraktion an der E-Region
$f_{\text{rot}} < \text{LUF}$	Absorption durch die D-Region

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung / Die kritische Frequenz $f_oF2$ oder $f_{krit}$

### Die kritische Frequenz $f_oF2$ (oder $f_{krit}$ )

- **höchste Frequenz, bei der ein senkrecht in die F2-Region der Ionosphäre einfallender Strahl noch reflektiert wird, d.h. Frequenzen oberhalb der  $f_oF2$  durchdringen die Ionosphäre und werden nicht reflektiert.**
- beschreibt den Höchstwert der Elektronen-Dichte in der F2-Region, welche für die Reflexion von Kurzwellensignalen entscheidend ist.

### Messung

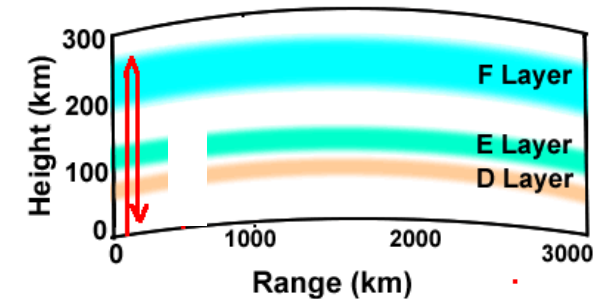
- wird mithilfe von Ionosonden gemessen und in Ionogrammen dargestellt
- Die weltweite Veränderung der  $f_oF2$  wird in Ionisationskarten erfasst

### Variation von $f_oF2$

- stark mit der Tageszeit, Jahreszeit und Sonnenaktivität.

### Bedeutung

- **$MUF \approx 3 \cdot f_oF2$  d.h.  $MUF > f_{krit}$**
- Die  $f_oF2$  bildet die Grundlage für die Berechnung der MUF und LUF (lowest usable frequency) in der KW-Kommunikation.
- wichtiger Parameter für die Planung und Durchführung von Kurzwellenverbindungen, da sie maßgeblich die nutzbaren Frequenzbereiche für die Fernkommunikation bestimmt.



	Tag	Nacht
Winter	$\leq 15$ MHz	2-4 MHz
Sommer	7-11 MHz	4-5 MHz

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung / Zusammenhang $f_{krit}$ – MUF und Winkel $\alpha$

### Abstrahlwinkel, kritische Frequenz und MUF

- Die MUF ist die höchste für eine Kurzwellen-Funkverbindung zwischen zwei Orten verwendbare Frequenz.
- Sie hängt vom Abstrahlwinkel ab und ist bei flacherer Abstrahlung höher als die kritische Frequenz.

### Zusammenhang

$$MUF = \frac{f_{krit}}{\sin(\alpha)}$$

- Bei flachem Abstrahlwinkel  $\alpha$  (relativ zum Horizont) steigt die MUF an.
- Je niedriger der Abstrahlwinkel, desto höhere Frequenzen können für die Funkverbindung genutzt werden

### Nur für Interessierte ... keine Prüfungsrelevanz.

#### Herleitung des Zusammenhangs $MUF = \frac{f_{krit}}{\sin(\alpha)}$

1. Ausgangspunkt ist die kritische Frequenz  $f_{krit}$ , die für senkrechte Einstrahlung ( $90^\circ$ ) gilt.
2. Bei flacheren Einstrahlwinkeln kann eine höhere Frequenz reflektiert werden. Dies wird durch das Brechungsgesetz von Snellius beschrieben:

$$\frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Wobei  $\alpha_1$  der Eintreffwinkel,  $\alpha_2$  der Brechungswinkel und  $n_1$ ,  $n_2$  die Brechungsindizes sind.

3. Für die Totalreflexion an der Ionosphäre gilt  $\alpha_2 = 90^\circ$ , also  $\sin(\alpha_2) = 1$ . Damit vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$\sin(\alpha) = \frac{n_2}{n_1}$$

4. Der Brechungsindex in der Ionosphäre hängt von der Frequenz ab:

$$n = \sqrt{1 - \left(\frac{f_p}{f}\right)^2}$$

Wobei  $f_p$  die Plasmafrequenz ist.

5. An der Reflexionsgrenze gilt  $f = MUF$  und  $n = 0$ . Einsetzen in die Gleichung aus Schritt 3 ergibt:

$$\sin(\alpha) = \sqrt{1 - \left(\frac{f_{krit}}{MUF}\right)^2}$$

6. Auflösen nach MUF führt zu:

$$MUF = \frac{f_{krit}}{\sin(\alpha)}$$



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung / Die optimale Frequenz $f_{opt}$ (auch: optimale Arbeitsfrequenz)

### Die optimale Frequenz $f_{opt}$ oder FOT (Frequency of Optimum Traffic)

#### Zusammenhang MUF und optimale Frequenz

$$f_{opt} = 0,85 \cdot MUF \quad (\text{d.h. die optimale Frequenz ist kleiner/niedriger als die MUF})$$

#### Eigenschaften

- Die Frequenz für die in der Praxis beste Übertragungsqualität für Funkverbindungen über die Ionosphäre.
- Ermöglicht in 90% der Zeit eine verlässliche Funkverbindung.
- $f_{opt} < f_{krit}$

Differenz ist umso größer, je flacher der Abstrahlwinkel der Sendeantenne ist bzw. der Einstrahlwinkel der Empfangsantenne.

Bei der Wahl der Sendefrequenz im Amateurfunk ist es wichtig, die optimale Frequenz zu berücksichtigen, um zuverlässige Verbindungen herzustellen und gleichzeitig die Bandpläne und zulässigen Frequenzbereiche für Amateurfunkbetrieb zu beachten

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

### AH204 Die kritische Frequenz der F2-Region ( $f_oF2$ ) ist die ...

- A** höchste Frequenz, die bei senkrechter Abstrahlung von der F2-Region noch zur Erde zurückgeworfen wird.
- B** niedrigste Frequenz, die bei senkrechter Abstrahlung von der F2-Region noch zur Erde zurückgeworfen wird.
- C** höchste Frequenz, die bei waagerechter Abstrahlung von der F2-Region noch zur Erde zurückgeworfen wird.
- D** niedrigste Frequenz, die bei waagerechter Abstrahlung von der F2-Region noch zur Erde zurückgeworfen wird.

### Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

Es geht um die Abfrage der  $f_oF2$ -Definition ...

Siehe Hilfsmittel:

$f_c, f_k, f_{krit}, f_{oF2}$	Höchste Frequenz, bei der senkrecht in die Ionosphäre eintretende Strahlung von der gegebenen Region noch gebrochen wird
-------------------------------	--

Also ist A die richtige Lösung.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH205** Angenommen, die kritische Frequenz der F2-Region ( $f_oF2$ ) liegt bei 12 MHz. Welche Aussage ist dann richtig?  
Bei Einstrahlung in die Ionosphäre unter einem Winkel von ...

**A** 90° liegt die höchste noch zur Erde zurückgeworfene Signalfrequenz bei 12 MHz.

**B** 90° liegt die niedrigste noch zur Erde zurückgeworfene Signalfrequenz bei 12 MHz.

**C** 45° liegt die höchste noch zur Erde zurückgeworfene Signalfrequenz bei 12 MHz

**D** 45° liegt die niedrigste noch zur Erde zurückgeworfene Signalfrequenz bei 12 MHz.

**Erklärung:**

Es geht um die Abfrage der  $f_oF2$ -Definition ...

**Senkrecht**, also 90° – C und D scheiden aus.

Es geht um die **höchste zurückgeworfene Frequenz**, also scheidet B aus und Lösung A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH206 Die höchste Frequenz, bei der eine Kommunikation zwischen zwei Funkstellen über Raumwelle möglich ist, wird als ...**

**A** höchste nutzbare Frequenz bezeichnet (MUF).

**B** optimale Arbeitsfrequenz bezeichnet ( $f_{opt}$ , FOT).

**C** kritische Frequenz bezeichnet ( $f_{krit}$ , foF2).

**D** höchste durchlässige Frequenz bezeichnet (LUF)

### Erklärung:

Es geht um die Abfrage der MUF-Definition.

Siehe Hilfsmittel:

MUF	Höchste brauchbare Frequenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen infolge ionosphärischer Brechung
-----	---

Ionosphärische Brechung meint Raumwelle, nicht Bodenwelle.

Also ist A ist korrekte Lösung.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH207** Wenn sich elektromagnetische Wellen zwischen zwei Orten durch ionosphärische Brechung ausbreiten, dann ist die MUF ...

- A** die höchste brauchbare Frequenz.
- B** der Mittelwert aus der höchsten und niedrigsten brauchbaren Frequenz.
- C** die niedrigste brauchbare Frequenz.
- D** die vorgeschriebene nutzbare Frequenz.

### Erklärung:

Es geht um die Abfrage der MUF-Definition.

Siehe Hilfsmittel:

MUF	Höchste brauchbare Frequenz bei der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen infolge ionosphärischer Brechung
-----	---

Also ist A ist korrekte Lösung.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

### AH208 Die höchste brauchbare Frequenz (MUF) für eine Funkstrecke

...

**A** liegt höher als die kritische Frequenz, und zwar um so mehr, je flacher die Sendeantenne abstrahlt bzw. die Empfangsantenne aufnimmt.

**B** liegt tiefer als die kritische Frequenz, und zwar um so mehr, je flacher die Sendeantenne abstrahlt bzw. die Empfangsantenne aufnimmt.

**C** liegt tiefer als die kritische Frequenz, und zwar um so mehr, je steiler die Sendeantenne abstrahlt bzw. die Empfangsantenne aufnimmt.

**D** ist nicht davon abhängig, wie flach die Sendeantenne abstrahlt bzw. die Empfangsantenne aufnimmt, sondern nur vom Zustand der Ionosphäre

### Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

Es gilt:

$$MUF \approx 3 \cdot f_{krit} > f_{krit}$$

Daher scheiden B und C aus.

Und es gibt eine Abhängigkeit zum Abstrahlwinkel, d.h. D scheidet auch aus.

Lösung A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH209** Wie groß ist die höchste nutzbare Frequenz (MUF) und die optimale Frequenz  $f_{\text{opt}}$ , wenn die Antenne in einem Winkel von  $45^\circ$  schräg nach oben strahlt und die kritische Frequenz  $f_k$  3 MHz beträgt?

**A** Die MUF liegt bei 4,2 MHz und  $f_{\text{opt}}$  bei 3,6 MHz.

**B** Die MUF liegt bei 2,1 MHz und  $f_{\text{opt}}$  bei 1,8 MHz.

**C** Die MUF liegt bei 2,1 MHz und  $f_{\text{opt}}$  bei 2,5 MHz.

**D** Die MUF liegt bei 4,2 MHz und  $f_{\text{opt}}$  bei 4,9 MHz

**Erklärung:**

Formeln siehe Hilfsmittel: ( $f_k = f_c$ )

$$MUF \approx \frac{f_c}{\sin(\alpha)} \quad \text{und} \quad f_{\text{opt}} = 0,85 \cdot MUF$$

**Ergebnis durch Rechnen:**

$$MUF \approx \frac{3 \text{ MHz}}{\sin(45)} = 4,24 \text{ MHz}$$

$$f_{\text{opt}} = 0,85 \cdot 4,24 = 3,60 \text{ MHz}$$

**Ergebnis durch Nachdenken:**

$$\sin(\alpha) \leq 1, \text{ d. h. } MUF \geq f_c > 3 \text{ MHz}$$

Daher scheiden B und C als Lösungen aus.

$f_{\text{opt}} < MUF$ , d. h. D scheidet als Lösung aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

### AH210 Die LUF für eine Funkstrecke ist ...

**A** die niedrigste brauchbare Frequenz, bei der eine Verbindung über die Raumwelle hergestellt werden kann.

**B** der Mittelwert der höchsten und niedrigsten brauchbaren Frequenz, bei der eine Verbindung über die Raumwelle hergestellt werden kann.

**C** die gemessene brauchbare Frequenz, bei der eine Verbindung über die Raumwelle hergestellt werden kann.

**D** die brauchbarste Frequenz, bei der eine Verbindung über die Raumwelle hergestellt werden kann

### Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH211 Was bedeutet die Aussage: „Die LUF für eine Funkstrecke liegt bei 6 MHz“?**

- A** Die niedrigste Frequenz, die für Verbindungen über die Raumwelle als noch brauchbar angesehen wird, liegt bei 6 MHz.
- B** Die höchste Frequenz, die für Verbindungen über die Raumwelle als noch brauchbar angesehen wird, liegt bei 6 MHz.
- C** Die mittlere Frequenz, die für Verbindungen über die Raumwelle genutzt werden kann, liegt bei 6 MHz.
- D** Die optimale Frequenz, die für Verbindungen über die Raumwelle genutzt werden kann, liegt bei 6 MHz.

**Erklärung:**

**A:**

LUF ist die Least Usable Frequency, d.h. die kleinste noch brauchbare Frequenz.  
Daher ist A die korrekte Lösung.

**B:**

Die höchste brauchbare Frequenz wird MUF (Maximum usable frequency) abgekürzt – B scheidet aus.

**C:**

Mittlere Frequenz oder medium frequency (MF) ist eine schlechte Übersetzung von „Mittelwelle“ (300 kHz – 3 MHz) sein, existiert aber nicht im Zusammenhang mit MUF, LUF, FOT, etc. – C scheidet aus.

**D:**

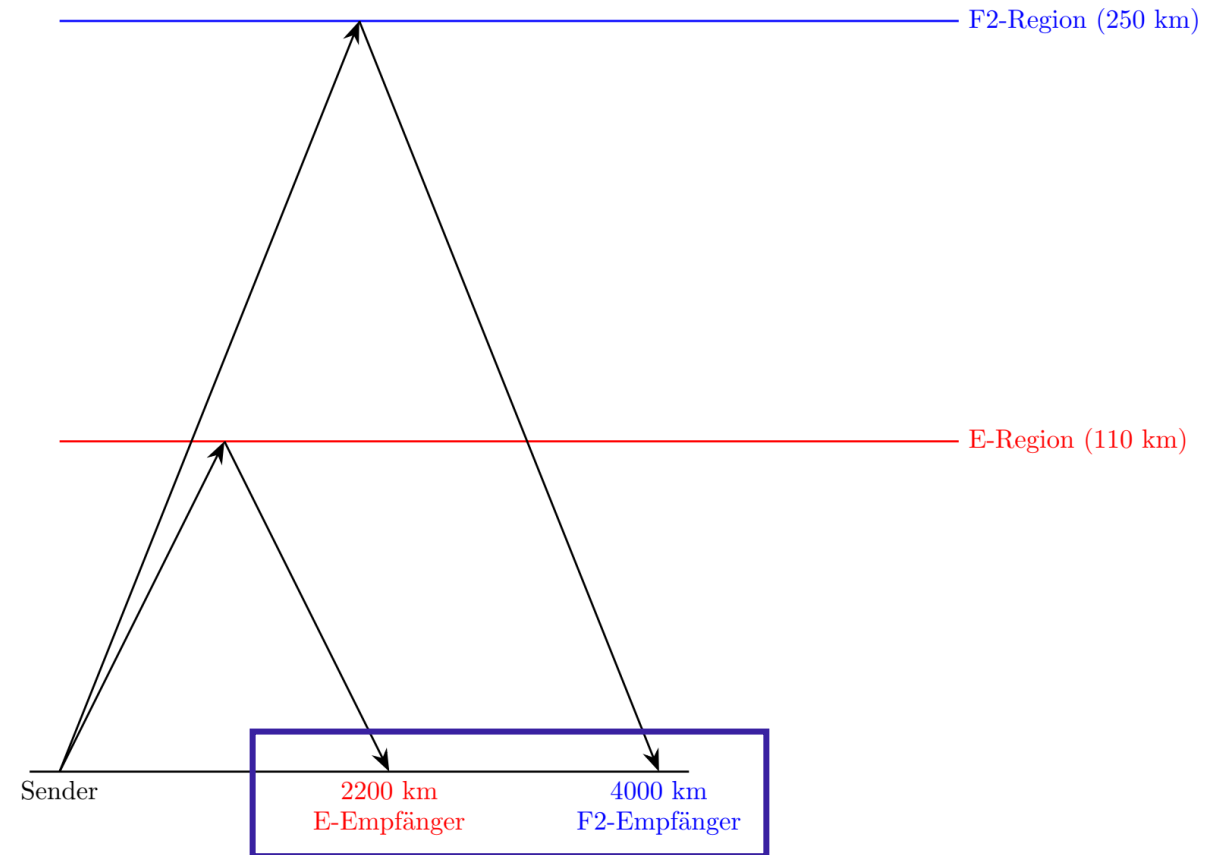
Die optimale Frequenz wird mit  $f_{\text{opt}}$  oder FOT abgekürzt – D scheidet aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung / Sprungentfernung und Einflussfaktoren

### Einflussfaktoren

- **Höhe der reflektierenden Region**  
Je höher die reflektierende Region in der Ionosphäre liegt, desto größer ist die Sprungweite.
- **Elektronendichte**  
Eine höhere Elektronendichte in der Ionosphäre ermöglicht die Reflexion höherer Frequenzen und beeinflusst damit die Sprungweite.
- **Frequenz der Funkwelle**  
Höhere Frequenzen werden bei gleichem Einfallswinkel weniger stark gebrochen als niedrigere Frequenzen.
- **Einfallswinkel**  
Flachere Einfallswinkel führen zu größeren Sprungweiten als steilere Winkel.
- **Tageszeit, Jahreszeit, Sonnenaktivität, Erdmagnetfeld, Geografische Breite**  
All das beeinflusst die Ionisation und damit die Reflexionseigenschaften der Ionosphäre



**1-Hop Sprungweiten und Regionen (schematisch)**

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH212 Was hat keine Auswirkungen auf die Sprungentfernung?**

- A** Die Änderung der Strahlungsleistung.
- B** Die Änderung der Frequenz des ausgesendeten Signals.
- C** Die Tageszeit.
- D** Die aktuelle Höhe der ionisierten Regionen.

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folie

**B, C, D:**

Frequenz, Tageszeit und Höhe beeinflussen die Sprungentfernung – B, C und D scheiden aus.

**A:**

Die Strahlungsleistung beeinflusst die Sprungentfernung nicht.

A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH213** Wie groß ist in etwa die maximale Entfernung, die ein KW-Signal bei Refraktion (Brechung) an der F2-Region auf der Erdoberfläche mit einem Sprung (Hop) überbrücken kann?

**A** Etwa 4000 km.

**B** Etwa 2000 km.

**C** Etwa 12 000 km.

**D** Etwa 8000 km.

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folie

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH214** Wie groß ist in etwa die maximale Entfernung, die ein KW-Signal bei Refraktion (Brechung) in der E-Region auf der Erdoberfläche mit einem Sprung (Hop) überbrücken kann? Sie beträgt etwa ...

**A** 2200 km

**B** 1100 km

**C** 4500 km

**D** 9000 km

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folie

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH215** Eine Aussendung auf dem 20 m-Band kann von der Funkstelle A in einer Entfernung von 1500 km, nicht jedoch von der Funkstelle B in 60 km Entfernung empfangen werden. Der Grund hierfür ist, dass ...

**A** die Funkstelle B die Bodenwelle nicht mehr und die Raumwelle noch nicht empfangen kann.

**B** die Boden- und Raumwellen sich bei Funkstelle B gegenseitig aufheben.

**C** zwei in verschiedenen ionosphärischen Regionen reflektierte Wellen mit auslöschender Phase bei Funkstelle B eintreffen.

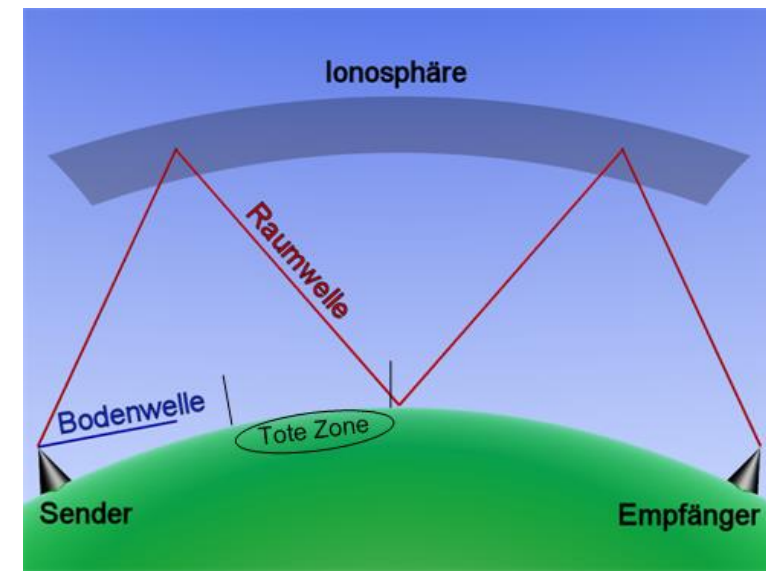
**D** bei Funkstelle B der Mögel-Dellinger-Effekt aufgetreten ist.

### Erklärung:

Die Situation beschreibt die „tote Zone“.

A liegt in der Zone, die von der Raumwelle bereits erreicht wird.

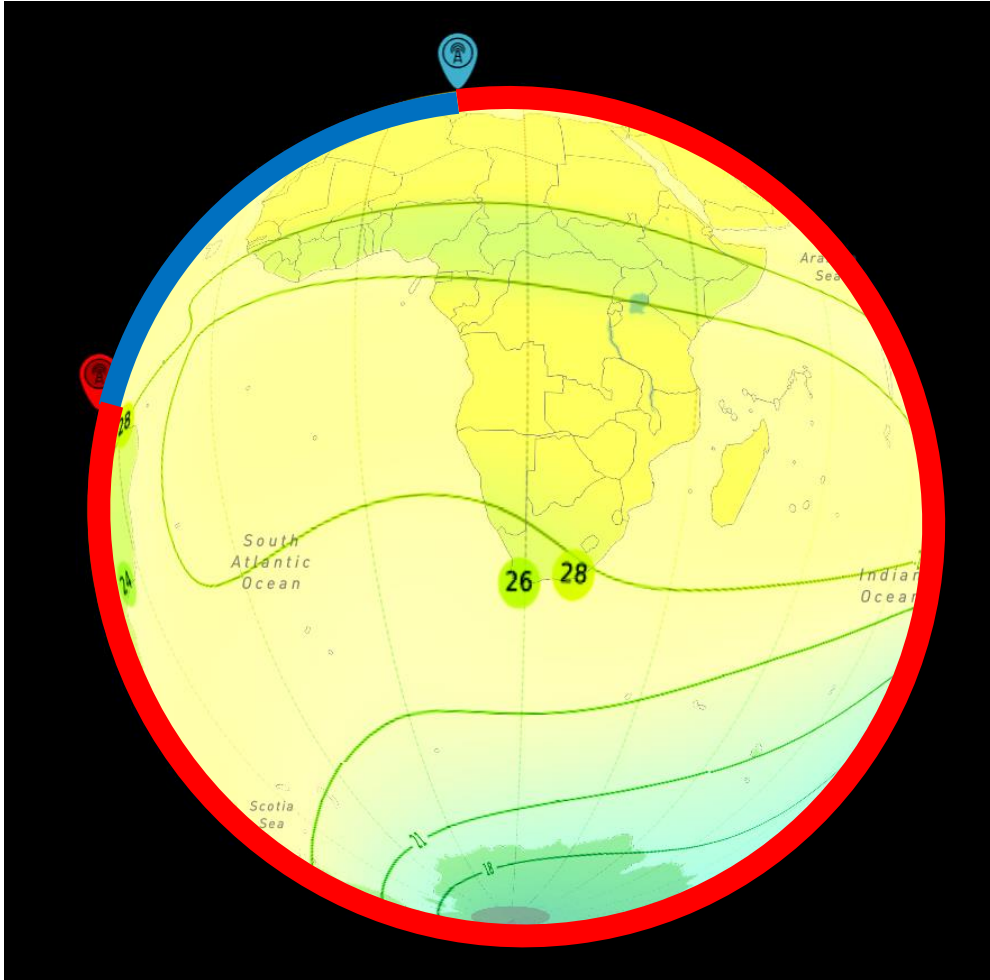
B liegt in der Zone, die von der Raumwelle noch nicht und von der Bodenwelle nicht mehr erreicht wird.



Lösung A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung / Kurzer Weg – Langer Weg



### Kurzer Weg – Verbindung auf direktem Weg

- Antenneneinstellung z.B.  $30^\circ$  (gegenüber Norden = Azimut)

### Langer Weg – Verbindung auf indirektem Weg

- Empfang und Sendung mit  $180^\circ$  Antennendrehung im Vergleich zum kurzen Weg, d.h. Antenneneinstellung  $210^\circ$  ( $30+180$ )

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH216 Wie erkennt ein Funkamateurl in der Regel, dass er mit „PY“ auf dem indirekten und somit längeren Weg gearbeitet hat?**

- A** Aus der Stellung seiner Richtantenne erkennt er, dass diese der Richtung des kürzesten Weges nach Brasilien um 180° entgegengesetzt ist. Das heißt, er hat „PY“ auf dem „langen Weg“ gearbeitet.
- B** Durch die verhallte Tonlage der Verbindung erkennt er, dass diese in zwei Richtungen nach Brasilien stattgefunden hat. Das heißt, er hat „PY“ nicht nur direkt, sondern auf einem längeren Weg gearbeitet.
- C** Aus der Stellung seiner Richtantenne erkennt er, dass diese in Richtung des längeren Weges nach Brasilien eingesetzt ist. Das heißt, er hat „PY“ auf dem direkten Weg gearbeitet.
- D** Durch die verhallte Tonlage der Verbindung nach Brasilien, Ausbreitung der Funkwellen über zwei entgegengesetzte Wege.

**Erklärung:**

Leverkusen:	51° N, 7° O
São Paulo:	23° S, 46° W
kürzeste Strecke:	ca. 9600 km

Der Azimut für die direkte Funkkommunikation von Leverkusen nach São Paulo beträgt etwa 232,5°.

Der längere Weg ist 180° entgegengesetzt, d.h. bei  $232,5^\circ - 180^\circ = 52,5^\circ$

Schlägt man diese Richtung ein, muss man auf dem dann direkten Weg (keine Schlangenlinien, aber dennoch dem längeren) ca. 30.475 km zurücklegen.

Daher kann der Funkamateurl an der Stellung seiner Richtantenne erkennen, ob er auf dem langen oder kurzen Weg gearbeitet hat.

Lösung A ist korrekt.

Der direkte Weg ist immer der kürzeste Weg!



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH217** Eine Amateurfunkstation in Frankfurt/Main will eine Verbindung nach Tokio auf dem langen Weg herstellen. Auf welchen Winkel gegen Nord (Azimut) muss der Funkamateur seinen Kurzwellenbeam drehen, wenn die Beamrichtung für den kurzen Weg  $38^\circ$  beträgt? Er muss die Antenne drehen auf ...

**A**  $218^\circ$

**B**  $322^\circ$

**C**  $122^\circ$

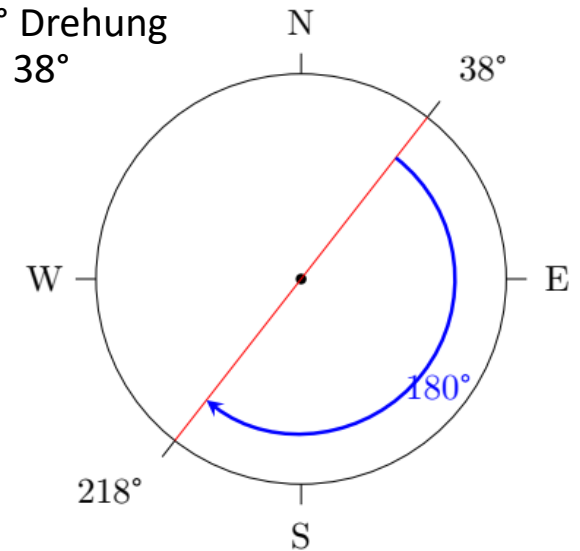
**D**  $308^\circ$

### Erklärung:

Der Azimut wird im Uhrzeigersinn von Nord aus gemessen.

- $0^\circ$  entspricht Norden,  $90^\circ$  Osten,  $180^\circ$  Süden und  $270^\circ$  Westen

Es muss eine  $180^\circ$  Drehung erfolgen, d.h. von  $38^\circ$  auf  $218^\circ$ :



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH218** Eine Amateurfunkstation in Frankfurt/Main will eine Verbindung nach Buenos Aires auf dem langen Weg herstellen. Auf welchen Winkel gegen Nord (Azimut) muss der Funkamateur seinen Kurzwellenbeam drehen, wenn die Beamrichtung für den kurzen Weg  $231^\circ$  beträgt? Er muss die Antenne drehen auf ...

**A**  $51^\circ$

**B**  $321^\circ$

**C**  $141^\circ$

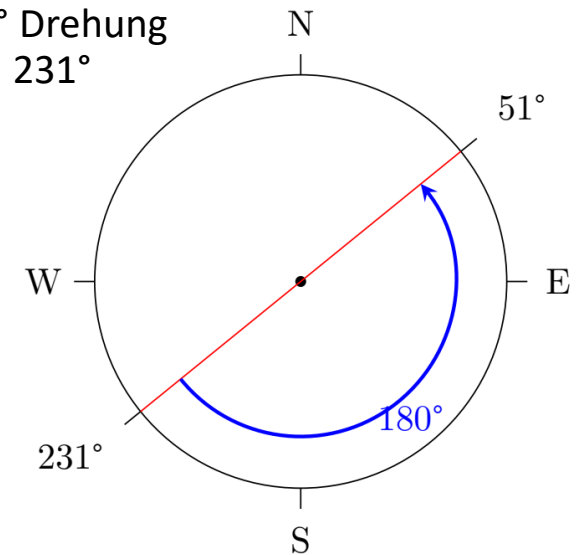
**D**  $129^\circ$

### Erklärung:

Der Azimut wird im Uhrzeigersinn von Nord aus gemessen.

- $0^\circ$  entspricht Norden,  $90^\circ$  Osten,  $180^\circ$  Süden und  $270^\circ$  Westen

Es muss eine  $180^\circ$  Drehung erfolgen, d.h. von  $231^\circ$  auf  $51^\circ$ :



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH219 Wie wird die Polarisation einer elektromagnetischen Welle bei der Ausbreitung über die Raumwelle beeinflusst?**

- A** Die Polarisation der ausgesendeten Wellen wird bei der Refraktion (Brechung) in der Ionosphäre stets verändert.
- B** Die Polarisation der ausgesendeten Wellen bleibt bei der Refraktion (Brechung) in der Ionosphäre stets unverändert.
- C** Die Polarisation der ausgesendeten Wellen wird in der Ionosphäre stets um  $90^\circ$  gedreht.
- D** Die Polarisation der ausgesendeten Wellen wird bei jedem Sprung (Hop) in der Ionosphäre um  $90^\circ$  gedreht

**Erklärung:**

Genaue, definitive Aussagen über die Änderung der Polarisation lassen sich nicht machen:

~~bleiben stets unverändert~~

~~werden stets um  $90^\circ$  gedreht~~

~~werden bei jedem Hop um  $90^\circ$  gedreht~~

Es bleibt nur die Aussage:

**Die Polarisation wird bei Brechung stets verändert.**

A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH220** Wie wirkt sich „Sporadic E“ auf die höheren Kurzwellenbänder aus?

- A** Die „tote Zone“ wird reduziert oder verschwindet ganz.
- B** Die Signale werden stark verbrummt empfangen.
- C** Bei Überseeverbindungen tritt Flatterfading auf.
- D** Die ionosphärische Ausbreitung fällt komplett aus.

**Erklärung:**

**A:**

Sporadic E ist die Ionisation in einigen unvorher-sagbaren Gebieten der E-Region (tiefer gelegen), wodurch auch näher liegende Gebiete in der toten Zone erreicht werden können. A ist korrekt.

**B:**

Das könnte eine Auswirkung von Aurora-Kommunikation sein – siehe einige Folien weiter hinten – B scheidet aus.

**C:**

Flatterfading tritt auf, wenn es im UKW-Bereich Reflexionen an Flugzeugen gibt – C scheidet aus.

**D:**

Das wäre beim Mögel-Dellinger-Effekt der Fall, bei starken Sonnen-Flares – im Gegenteil führt Sporadic E zu höheren Reichweiten – D scheidet aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH221** Massiv erhöhte UV- und Röntgenstrahlung, wie sie vor allem durch starke Sonneneruptionen hervorgerufen wird, beeinflusst in der Ionosphäre vor allem ...

**A** die D-Region, die die Kurzwellen-Signale dann so massiv dämpft, dass keine Ausbreitung über die Raumwelle mehr möglich ist.

**B** die F2-Region, die dann so stark ionisiert wird, dass fast die gesamte KW-Ausstrahlung reflektiert wird.

**C** die E-Region, die dann für die höheren Frequenzen durchlässiger wird und durch Refraktion (Brechung) in der F2-Region für gute Ausbreitungsbedingungen sorgt.

**D** die F1-Region, die durch Absorption der höheren Frequenzen die Refraktion (Brechung) an der F2-Region behindert

### Erklärung:

Siehe Erläuterungen zur D-Region und dem Mögel-Dellinger-Effekt zu Beginn.

Da in der Regel vom Erdboden aus gesendet wird, ist die D-Region, die entscheidende Schicht. Durch deren Dämpfung findet keine Ausbreitung über Raumwellen mehr statt.

Der Zustand der E-, F1- und F2-Regionen ist in diesem Fall unerheblich.

Lösung A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

**AH222 Welcher Effekt tritt ein, wenn das Signal eines Senders auf zwei unterschiedlichen Wegen zum Empfänger gelangt?**

- A** Es kommt zu Interferenzen der beiden Signale.
- B** Es kommt zu Reflexionen der beiden Signale.
- C** Es kommt zu Frequenzveränderungen beider Signale.
- D** Es kommt zu Beugungseffekten bei beiden Signalen.

**Erklärung:**

**A:**

Interferenz ist die Überlagerung von Wellen, d.h. es findet eine vorzeichengerechte Summation der Wellen statt. Trifft Wellenberg auf Wellenberg, so summieren sich die Wellenberge. Trifft Wellenberg auf Wellental, so findet eine Auslöschung oder Dämpfung statt. A ist korrekt.

**B, C, D:**

Reflexionen (z.B. Gebäuden) sind möglicherweise die Ursache, dass ein Signal auf unterschiedlichen Wegen zum Empfänger gelangt – B scheidet aus.

Frequenzveränderungen von EM-Signalen durch äußere Umstände kommen in der Funkpraxis nicht vor. Theoretisch durch Doppler-Effekt bei Bewegung von Sender und Empfänger – C scheidet aus.

Beugung ist ein Effekt, der ein Signal betrifft und nicht zwei Signale. Ablenkung von Wellen an Hindernissen oder Öffnungen in etwa der gleichen Wellenlänge – D scheidet aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.2 Kurzwellenausbreitung

### AH223 Was ist für ein „Backscatter-Signal“ charakteristisch?

**A** schnelle, unregelmäßige Feldstärkeschwankungen  
(Flutterfading)

**B** Pfeif- und Knattergeräusche

**C** hohe Signalstärken

**D** breitbandiges Rauschen

### Erklärung:

#### **Backscatter = Rückreflexion zum Sender**

- Via Gebäude, Berg oder Flugzeug
- Via Troposphäre (Atmosphärenschichten)

Diese reflektierten Signale, die über unterschiedliche Wege und mit verschiedenen Laufzeiten ankommen, können interferieren (konstruktiv oder destruktiv). Wenn mehrere reflektierte Signale in Phase sind, verstärken sie sich (konstruktive Interferenz), wenn sie aber in unterschiedlicher Phase sind, führen sie zu einer Dämpfung (destruktive Interferenz).

Solche Interferenzen können dazu führen, dass die Signalstärke schwankt, was charakteristisch für Flutterfading ist.

A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH301 Bei „Sporadic E“-Ausbreitung werden Wellen im VHF-Bereich gebrochen an ...**

**A** besonders stark ionisierten Bereichen der E-Region.

**B** Inversionen am unteren Rand der E-Region.

**C** geomagnetischen Störungen am unteren Rand der E-Region.

**D** Ionisationsspuren von Meteoriten in der E-Region.

**Erklärung:**

**A:**

Sporadic E tritt im Zusammenhang mit besonders stark ionisierten Bereichen der E-Region auf. Lösung A ist korrekt.

**B, C, D:**

Sporadic E hat weder mit Inversionen (Wetterlage), noch mit geomagnetischen Störungen oder Ionisationsspuren von Meteoriten zu tun – B, C und D scheiden aus.

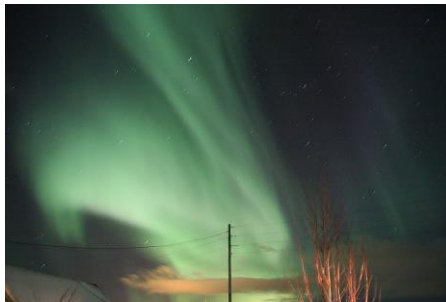
Ionisationsspuren durch Meteoriten (Gesteine) können zur Reflektion von Funkwellen führen – aber dieser Effekt hat nichts mit Sporadic E zu tun. Dabei handelt es sich um Meteor Burst Communication.



# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

### Aurora



Das Polarlicht (Aurora borealis im Norden, Aurora australis im Süden) ist eine Leuchterscheinung durch angeregte Stickstoff- und Sauerstoffatome der Hochatmosphäre – zumeist in 100-120 km Höhe, aber auch in Höhen > 250 km.

**Polarlichter sind meistens in etwa 3 bis 6 Breitengrade umfassenden Bändern in der Nähe der Magnetpole zu sehen.**

**Hervorgerufen werden sie durch energiereiche geladene Teilchen, die mit dem Erdmagnetfeld wechselwirken.**

**Dadurch, dass jene Teilchen in den Polarregionen auf die Erdatmosphäre treffen, entsteht das Leuchten am Himmel.**

Von Theo Schacht - Eigenes WerkOriginaltext: Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=53424408>

Von Elmar78 in der Wikipedia auf Deutsch - Selbst fotografiert, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19144753>

Von Yash Soorma - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=148294777>

Von Jan Curtis, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=44041>

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH302 In welchem ionosphärischen Bereich treten gelegentlich Aurora-Erscheinungen auf?**

**A** In der E-Region in der Nähe der Pole

**B** In der F-Region

**C** In der E-Region in der Nähe des Äquators.

**D** In der D-Region

**Erklärung:**

Aurora Erscheinungen treten in der Nähe der Pole auf.

Damit scheidet C aus.

Aber in welcher Region der Ionosphäre treten die Aurora-Erscheinungen auf?

- Grünes Licht (häufigste Form) in 120 km Höhe (O<sub>2</sub>)
- Lila/Blaue Lichtschleier in 100 km Höhe (N<sub>2</sub>)
- Rotes Licht > 250 km (O<sub>2</sub>)

**d.h. zumeist entstehen die Aurora-Erscheinungen in der E-Region.**

Lösung A ist korrekt.

Region	Von ... Bis ...
F2	250 – 450 km
F1	130 – 200 km
E	90 – 130 km
D	50 – 90 km

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

### AH303 Was ist die Ursache für Aurora-Erscheinungen?

- A** Das Eindringen geladener Teilchen von der Sonne in die Atmosphäre der Polarregionen.
- B** Eine hohe Sonnenfleckenzahl.
- C** Eine niedrige Sonnenfleckenzahl.
- D** Das Eindringen starker Meteoritenschauer in die Atmosphäre der Polarregionen.

### Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

### B, C:

Hohe oder niedrige Sonnenfleckenzahlen sind nicht die Ursache der Aurora-Erscheinungen.

Jedoch gibt es eine Korrelation – mehr Sonnenflecken, mehr Polarlichter.

B und C scheiden aus.

### D:

Meteoriten (Gesteine) sind nicht die Ursache, sondern geladene Teilchen – D scheidet aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH304 Beim Auftreten von Polarlichtern lassen sich auf den Amateurfunkbändern über 30 MHz beträchtliche Überreichweiten erzielen, weil ...**

**A** stark ionisierte Bereiche auftreten, die Funkwellen reflektieren.

**B** starke Magnetfelder auftreten, die Funkwellen reflektieren.

**C** starke Inversionsfelder auftreten, die Funkwellen reflektieren.

**D** starke sporadische D-Regionen auftreten, die Funkwellen reflektieren.

**Erklärung:**

**A:**

Polarlichter haben mit stark ionisierten Bereichen zu tun und diese sind für Reflektion zentral.

Lösung A ist korrekt.

**B:**

Starke Magnetfelder können zwar zusammen mit den Polarlichtern auftreten, sind aber nicht ursächlich für die Reflektion – B scheidet aus.

**C:**

Starke Inversionsfelder sind Wetterphänomene, die nicht im direkten Zusammenhang mit Polarlichtern stehen – C scheidet aus.

**D:**

Es gibt keine sporadischen D-Regionen, und wenn würden sie dämpfen, nicht reflektieren – D scheidet aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH305 Was meint ein Funkamateurl damit, wenn er angibt, dass er auf dem 2 m-Band eine Aurora Verbindung mit Schottland gehabt hat?**

- A** Die Verbindung ist durch Reflexion von Ultrakurzwellen an polaren Nordlichtern zustande gekommen (Reflexion an polaren Ionisationserscheinungen).
- B** Die Verbindung ist durch Beugung von Ultrakurzwellen an Lichtquellen der Polarregion zustande gekommen (Beugung an ionisierten Polarschichten).
- C** Die Verbindung ist durch Verstärkung der polaren Nordlichter mittels Ultrakurzwellen zustande gekommen (Reflexion von ionisiertem Polarlicht).
- D** Die Verbindung ist durch Reflexion von verbrummtten Ultrakurzwellen am Polarkreis zustande gekommen (Reflexion an Ionisationserscheinungen des Polarkreises)

### Erklärung:

Aurora spielt im Zusammenhang mit Ionisation und damit Reflexion eine Rolle.

Damit scheiden B (Beugung) und C (Verstärkung) aus.

Mit Aurora werden polare Nordlichter bezeichnet und keine Reflexionen „am Polarkreis“.

Somit scheidet auch D aus.

Die Lösung A ist korrekt.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH306** In welche Himmelsrichtung muss eine Funkstation in Europa ihre VHF-Antenne drehen, um eine Verbindung über „Aurora“ abzuwickeln?

**A** Norden

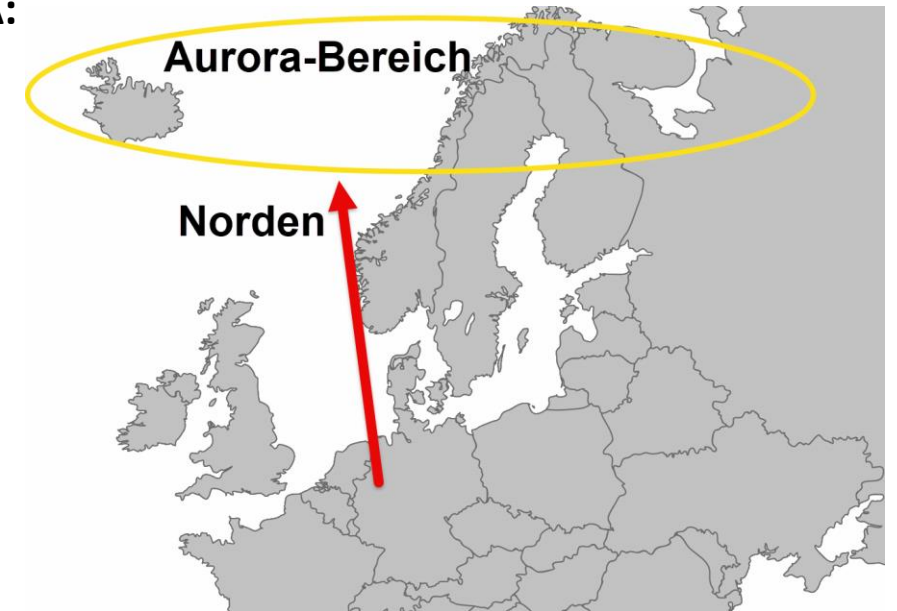
**B** Süden

**C** Osten

**D** Westen

**Erklärung:**

**A:**



A ist korrekt.

**B, C, D:**

Drehungen nach Süden, Osten und Westen führen in Deutschland zu keinen Aurora-Verbindungen – B, C und D scheiden aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH307 Welches der folgenden Übertragungsverfahren eignet sich am besten für Auroraverbindungen?**

**A CW**

**B SSB**

**C FM**

**D RTTY**

### Erklärung:

Aurora-Signale sind charakteristisch rau und verzerrt, begleitet von Zischen und Fauchen.

Diese Verzerrungen machen Sprachübertragungen schwierig zu verstehen.

### A:

CW ist robuster gegenüber Signalverzerrungen und kann auch bei schwachen und gestörten Signalen noch dekodiert werden.

### B:

Andere Betriebsarten wie SSB (Single Sideband) sind zwar möglich, aber weniger effektiv für Aurora-Verbindungen.

### C, D:

FM (Frequenzmodulation) und digitale Modi wie RTTY sind aufgrund der starken Signalverzerrungen durch Aurora noch weniger geeignet.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH308 Wie wirkt sich „Aurora“ auf die Signalqualität eines Funksignals aus?**

- A** CW-Signale haben einen flatternden und verbrummtten Ton.
- B** CW-Signale haben einen besseren Ton.
- C** Die Lesbarkeit von Fonie-Signalen verbessert sich.
- D** CW- und Fonie-Signale haben ein Echo.

**Erklärung:**

**A:**

Beispiel für eine Aurora-CW-Verbindung:



[https://www.youtube.com/watch?v=KjH\\_-A1i6bc](https://www.youtube.com/watch?v=KjH_-A1i6bc)



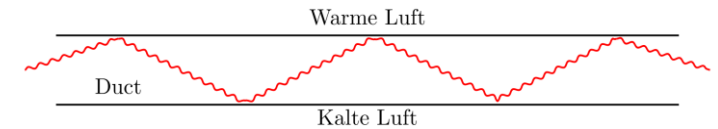
# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

### AH309 Überhorizontverbindungen im VHF/UHF Bereich kommen unter anderem zustande durch ...

- A** troposphärische Duct-Übertragung beim Auftreten von Inversionsschichten.
- B** Reflexion der Wellen in der Troposphäre durch das Auftreten sporadischer D-Regionen.
- C** Polarisationsdrehungen in der Troposphäre bei hoch liegender Bewölkung.
- D** Polarisationsdrehungen in der Troposphäre an Gewitterfronten.

#### Erklärung:



#### A:

Eine Duct-Übertragung ist eine mehrfache Reflexion zwischen zwei Schichten – in diesem Fall Inversionsschichten (wärmere über kühleren Schichten), innerhalb der Troposphäre, in der das Wetter stattfindet.

Die Inversion führt zur Brechung der Funkwellen zurück zur Erdoberfläche und ermöglicht Reichweiten bis zu 1000 km auf den 2m-, 70cm- und 23cm-Bändern. A ist korrekt.

#### B, C, D:

Es gibt keine sporadische D-Region – B scheidet aus.

Da es keine nennenswerte Ionisation in der Troposphäre gibt, gibt es auch keine Polarisationsdrehungen in der Troposphäre – C und D scheiden aus.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ... ) / Scatter

### Scatter

- Methode, Signale an verschiedenen atmosphärischen Phänomenen oder Objekten zu reflektieren oder zu streuen.

Aircraft-Scatter	Rain-Scatter	Meteor-Scatter
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Überhorizontverbindungen im VHF-, UHF- und SHF-Bereich durch Reflexion an Flugzeugen.</b></li><li>• Nützlich bei mittleren Entfernungen (500-1000 km) ohne direkte Sichtverbindung</li><li>• Interessant in luftraumreichen Gebieten</li><li>• Vorteil der höheren Reichweite bei geringer Sendeleistung</li><li>• Breite Streuung durch Flughöhe und Fluggeschwindigkeit</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Streuungen von Mikrowellen, insbesondere im 3 cm-Band, an Regen- und Gewitterwolken</b></li><li>• Wenn Funksignale auf Regentropfen treffen, werden sie gestreut, was eine Streuung oder Reflexion der Signale ermöglicht.</li><li>• Technik funktioniert bei Frequenzen über 1 GHz</li><li>• Besonders in Gebieten mit hoher Niederschlagsrate</li><li>• Ermöglicht Kommunikation über mittlere bis große Entfernungen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Funkwellen durch Meteoriten-reflexionen in der oberen Atmosphäre gestreut. Wenn ein Meteorit in die Atmosphäre eintritt, ionisiert er die Luft und schafft ein temporäres Ionisationsgebiet, das die Funkwellen reflektiert.</li><li>• Hohe Sendeleistung und kurze Reflexionszeiten (Millisekunden bis Sekunden) für schnelle, sporadische Verbindungen.</li><li>• Besonders während meteorischer Schauer, wie die Perseiden</li><li>• Besonders im 2 m- und 70 cm-Band</li></ul>

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH310 Was versteht man unter Aircraft-Scatter (AS)?**

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folie

- A** Überhorizontverbindungen im VHF-, UHF- und SHF-Bereich durch Reflexion an Flugzeugen.
- B** Das Beobachten des Funkverkehrs von Flugzeugen mit Hilfe von Amateurfunkgeräten und Antennen.
- C** Überhorizontverbindungen im VHF- und UHF-Bereich durch Reflexionen an Funkfeuern.
- D** Betrieb einer Amateurfunkstelle an Bord eines Flugzeuges.

# 5.8 Wellenausbreitung und Ionosphäre

## 5.8.3 Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz (kleiner 10 m-Band, z. B. 6 m, 2 m, ...)

**AH311 Um welche Art von Überreichweiten handelt es sich bei Regenscatter (Rainscatter)?**

**Erklärung:**

Siehe vorhergehende Folie

- A** Streuungen von Mikrowellen, insbesondere im 3 cm-Band, an Regen- und Gewitterwolken.
- B** Reflexionen in den VHF- und UHF-Bereichen an größeren Regentropfen.
- C** Streuungen von Mikrowellen, insbesondere im 23 cm-Band, an Regentropfen und Hagelkörnern.
- D** Reflexionen im 13 cm-Band bei Eisregen.