



# Amateurfunk Prüfungsvorbereitung Klasse A

5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 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 ...**

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## Überblick

<u>Kapitel</u>	<u>Thema</u>	<u>Fragen</u>	<u>Anzahl</u>
5.11.1	Schutz von Personen	AK101 – AK115	15
5.11.2	Sicherheit	AK201 – AK204	4
Summe			19

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK101 Warum ist im Nahfeld einer Strahlungsquelle keine einfache Umrechnung zwischen den Feldgrößen E und H und damit auch keine vereinfachte Berechnung des Schutzabstandes möglich?**

- A** Weil die elektrische und die magnetische Feldstärke im Nahfeld keine konstante Phasenbeziehung zueinander aufweisen.
- B** Weil die elektrische und die magnetische Feldstärke im Nahfeld immer senkrecht aufeinander stehen und eine Phasendifferenz von  $90^\circ$  aufweisen.
- C** Weil die elektrische und die magnetische Feldstärke im Nahfeld nicht senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehen und auf Grund des Einflusses der Erdoberfläche eine Phasendifferenz von größer  $180^\circ$  aufweisen.
- D** Weil die elektrische und die magnetische Feldstärke im Nahfeld nicht exakt senkrecht aufeinander stehen und sich durch die nicht ideale Leitfähigkeit des Erdbodens am Sendeort der Feldwellenwiderstand des freien Raumes verändert.

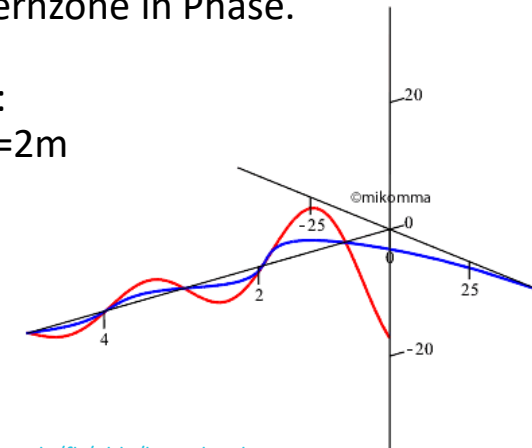
**Erklärung:**

Elektrische Feldstärke blau

Magnetische Feldstärke rot

Zu Beginn eine Phasenverschiebung um  $90^\circ$ , in der Fernzone in Phase.

Beispiel:  
Dipol,  $\lambda=2\text{m}$



<http://mikomma.de/fh/eldy/hertz.html>

**Reaktives Nahfeld (Abstand von der Antenne  $< \lambda/(2\pi)$ )**

Innerhalb des reaktiven Nahfeldes kann es lokal zu starken Überhöhungen des elektrischen und des magnetischen Feldes kommen, die mit der Fernfeldberechnung nicht bestimmt werden können. Daher ist eine Fernfeldberechnung in diesem Bereich nicht zulässig.

(Erläuterung der Bewertungsverfahren nach BEMFV 13.08.2013, BNetzA)

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK102** Durch welche Größe sind Beträge der elektrischen und magnetischen Feldstärke eines elektromagnetischen Feldes im Fernfeld miteinander verknüpft?

- A** Durch den Wellenwiderstand im jeweiligen Medium
- B** Durch die Aufbauhöhe der Antenne
- C** Durch die Ausbreitungsbedingungen in der Ionosphäre
- D** Durch die Polarisationsrichtung der verwendeten Antenne

### Erklärung:

Im Fernfeld sind die Beträge der elektrischen (E) und magnetischen Feldstärke (H) eines elektromagnetischen Feldes durch den Feldwellenwiderstand  $Z_0$  des freien Raumes (bzw. im jeweiligen Medium) miteinander verknüpft:

$$Z_0 = 120\pi \Omega \approx 377 \Omega$$

Das bedeutet:

- Im Fernfeld (Vakuum) ist das Verhältnis zwischen elektrischer (E) und magnetischer Feldstärke (H) konstant und wird durch  $Z_0$  bestimmt:

$$E = H \cdot Z_0$$

- Dadurch lässt sich aus der Messung einer Feldkomponente die andere berechnen, was im Nahfeld nicht möglich ist.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK103 In welchem Fall hat die folgende Formel zur Berechnung des Sicherheitsabstandes Gültigkeit und was sollten Sie tun, wenn die Gültigkeit nicht mehr sichergestellt ist?**

$$d = \frac{\sqrt{30 \, \Omega \cdot P_{EIRP}}}{E}$$

- A** Die Formel gilt nur für Abstände  $d > \frac{\lambda}{2\pi}$  bei den meisten Antennenformen (z. B. Dipol-Antennen). Für Antennen, die z. B. geometrisch klein im Verhältnis zur Wellenlänge sind und/oder in kürzerem Abstand zur Antenne muss der Sicherheitsabstand zum Beispiel durch Feldstärkemessungen oder Nahfeldberechnungen (Simulationen) ermittelt werden.
- B** Im Bereich von Amateurfunkstellen ist der Unterschied zwischen Nah- und Fernfeld so gering, dass obige Formel, die eigentlich nur im Fernfeld gilt, trotzdem für alle Raumbereiche verwendet werden kann.
- C** Die Formel gilt nur für Abstände  $d > \frac{\lambda}{2\pi}$  bei horizontal polarisierten Antennen. Bei kleineren Abständen und immer bei vertikal polarisierten Antennen muss der Sicherheitsabstand durch zum Beispiel Feldstärkemessungen oder Nahfeldberechnungen (Simulationen) ermittelt werden.
- D** Die Formel gilt nur für Abstände  $d > \frac{\lambda}{2\pi}$  bei vertikal polarisierten Antennen. Bei kleineren Abständen und immer bei horizontal polarisierten Antennen muss der Sicherheitsabstand durch zum Beispiel Feldstärkemessungen oder Nahfeldberechnungen (Simulationen) ermittelt werden.

**Erklärung:**

**A:**

Nach Ausscheiden von B, C und D ist das die verbleibende – richtige – Lösung, die sich mit dem Hilfsmittel (abgesehen von den Hinweisen zu den Antennenformen) deckt.

**B:**

Zur Gültigkeit siehe Hilfsmittel:

**Feldstärke im Fernfeld einer Antenne**

$$E = \frac{\sqrt{30 \, \Omega \cdot P_A \cdot G_i}}{d} = \frac{\sqrt{30 \, \Omega \cdot P_{EIRP}}}{d}$$

Gilt für Freiraumausbreitung ab  $d > \frac{\lambda}{2 \cdot \pi}$

$P_A$  : Leistung an der Antenne

**C, D:**

Der Betrag der elektrischen Feldstärke E ist unabhängig von der Polarisierung, die Richtung hingegen schon. Für den Sicherheitsabstand ist allerdings in erster Linie der Betrag wichtig. Daher scheiden C und D aus.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK104 Wie errechnen Sie die Leistung am Einspeisepunkt der Antenne (Antenneneingangsleistung) bei bekannter Senderausgangsleistung?**

**A** Sie ermitteln die Verluste zwischen Senderausgang und Antenneneingang und berechnen aus dieser Dämpfung einen Dämpfungsfaktor  $D$ ; die Antenneneingangsleistung ist dann:  $P_{Ant} = D \cdot P_{Sender}$

**B** Antenneneingangsleistung und Senderausgangsleistung sind gleich, da die Kabelverluste bei Amateurfunkstationen vernachlässigbar klein sind, d. h. es gilt:  $P_{Ant} = P_{Sender}$

**C** Die Antenneneingangsleistung ist der Spitzenwert der Senderausgangsleistung, also:  $P_{Ant} = \sqrt{2 \cdot P_{Sender}}$

**D** Die Antenneneingangsleistung ist der Spitzen-Spitzen-Wert der Senderausgangsleistung, also:  $P_{Ant} = 2 \cdot \sqrt{2 \cdot P_{Sender}}$

### Erklärung:

Zwischen Senderausgang und Antenneneingang gibt es eine Speiseleitung, deren Dämpfung bei der Berechnung berücksichtigt werden muss – siehe z.B. Kabeldämpfungsdiagramme an Ende des Hilfsmittels.

Daher scheiden C und D als Lösungen grundsätzlich aus – sie berücksichtigen die Dämpfung nicht.

Die Lösung B ist falsch, weil die Kabelverluste nicht vernachlässigbar klein sind. Sie steigen mit Frequenz und Länge der Speiseleitung – z.B. bei 1296 MHz (23cm Band), 20 m RG58 Koaxialkabel ist die Dämpfung 12,5 dB. Es kommen nicht einmal mehr 10% der Senderausgangsleistung (10 dB = 1/10) an der Antenne an.

Somit verbleibt Lösung A, die den Dämpfungsfaktor des Kabels berücksichtigt.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK105** An der Spitze Ihres Antennenmastes befindet sich eine Yagi-Uda-Antenne, deren Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung 20 m beträgt. Schräg unterhalb dieser Antenne befindet sich ein nicht kontrollierbarer Bereich. Sie ermitteln einen kritischen Winkel von 40°. Das vertikale Strahlungsdiagramm der Antenne weist bei diesem Winkel eine Dämpfung von 6 dB auf. Auf welchen Wert verringert sich dann rechnerisch der Sicherheitsabstand bei 40°?

**A** Er verringert sich auf 10 m.

**B** Er verringert sich auf 3,33 m.

**C** Er verringert sich auf 5,02 m.

**D** Er verringert sich nicht.

**Erklärung:**

Dämpfung um 6 dB bedeutet:

	Leistungsverhältnis	Spannungsverhältnis
-20 dB	0,01	0,1
-10 dB	0,1	0,32
-6 dB	0,25	0,5

eine Viertelung der Leistung.

$$P_{40^\circ} = \frac{1}{4} P_{\text{vertikal}}$$

$$\text{aus } d_{\text{vertikal}} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{vertikal}}}}{E} \text{ wird:}$$

$$d_{40^\circ} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot \frac{1}{4} \cdot P_{\text{vertikal}}}}{E} = \frac{\sqrt{\frac{1}{4}} \cdot \sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{vertikal}}}}{E}$$

$$d_{40^\circ} = \sqrt{\frac{1}{4}} \cdot d_{\text{vertikal}} = \frac{1}{2} d_{\text{vertikal}} = \frac{20}{2} \text{ m} = 10 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen / AK105 Alternativlösung

**AK105** An der Spitze Ihres Antennenmastes befindet sich eine Yagi-Uda-Antenne, deren Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung 20 m beträgt. Schräg unterhalb dieser Antenne befindet sich ein nicht kontrollierbarer Bereich. Sie ermitteln einen kritischen Winkel von 40°. Das vertikale Strahlungsdiagramm der Antenne weist bei diesem Winkel eine Dämpfung von 6 dB auf. Auf welchen Wert verringert sich dann rechnerisch der Sicherheitsabstand bei 40°?

**A** Er verringert sich auf 10 m.

**B** Er verringert sich auf 3,33 m.

**C** Er verringert sich auf 5,02 m.

**D** Er verringert sich nicht.

**Erklärung:**

$$d_{\text{reduziert}} = d_{\text{original}} \cdot 10^{-\frac{\text{Dämpfung}}{20}}$$

$$d_{\text{reduziert}} = 20 \text{ m} \cdot 10^{-\frac{6}{20}} = 20 \text{ m} \cdot 10^{-0,3} \approx 10,02 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK106** Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle für das 10 m-Band und das Übertragungsverfahren RTTY berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben einen Dipol, der von einem Sender mit einer Leistung von 100 W über ein Koaxialkabel gespeist wird. Die Kabeldämpfung sei vernachlässigbar. Wie groß muss der Sicherheitsabstand sein?

**A** 2,50 m

**B** 1,96 m

**C** 5,01 m

**D** 13,7 m

**Lösung / Rechenweg:**

$$d = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{EIRP}}}{E}$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_i - a}{10}}$$

*Aufgabenstellung:*

$$g_i = 2,15 \text{ dBi (Dipol)}; \quad a = 0,0 \text{ dB}$$
$$P_{ERP} = 100 \text{ W}; \quad E = 28 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 100 \text{ W} \cdot 10^{\frac{2,15}{10}} = 164,06 \text{ W}$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 164,06 \text{ VA}}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{70,15 \text{ V}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = 2,505 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK107** Sie betreiben eine Amateurfunkstelle auf dem 2 m-Band im Modulationsverfahren FM mit einer Rundstrahlantenne mit 6 dB Gewinn bezogen auf einen Dipol. Wie hoch darf die maximale Ausgangsleistung Ihres Senders unter Vernachlässigung der Kabeldämpfung sein, wenn der Grenzwert für den Personenschutz 28 V/m und der zur Verfügung stehende Sicherheitsabstand 5 m beträgt?

**A** ca. 100 W

**B** ca. 75 W

**C** ca. 160 W

**D** ca. 265 W

**Lösung / Rechenweg:**

$$d = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{EIRP}}}{E} \Rightarrow P_{EIRP} = \frac{(d \cdot E)^2}{30 \Omega}$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15}{10}}$$

*Aufgabenstellung:*

$$\begin{aligned} g_d &= 6 \text{ dBd}; & a &= 0 \text{ dB} \\ d &= 5 \text{ m}; & E &= 28 \frac{\text{V}}{\text{m}} \end{aligned}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = \frac{\left(5 \text{ m} \cdot 28 \frac{\text{V}}{\text{m}}\right)^2}{30 \frac{\text{V}}{\text{A}}} = 653,33 \text{ W}$$

$$P_{ERP} = \frac{P_{EIRP}}{10^{\frac{6 - 0 + 2,15}{10}}} = \frac{653,33 \text{ W}}{6,531} = 100,03 \text{ W}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK108** Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle für das 20 m-Band und das Übertragungsverfahren RTTY berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben einen Dipol, der von einem Sender mit einer Leistung von 300 W über ein Koaxialkabel gespeist wird. Die Kabeldämpfung beträgt 0,5 dB. Wie groß ist der Sicherheitsabstand?

**A** 4,10 m

**B** 4,97 m

**C** 3,20 m

**D** 2,39 m

**Lösung / Rechenweg:**

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{EIRP}}}{E}$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_i - a}{10}}$$

*Aufgabenstellung:*

$$g_i = 2,15 \text{ dBi (Dipol)}; \quad a = 0,5 \text{ dB}$$
$$P_{ERP} = 300 \text{ W}; \quad E = 28 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 300 \text{ W} \cdot 10^{\frac{2,15 - 0,5}{10}} = 438,65 \text{ W}$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 438,65 \text{ VA}}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{114,71 \text{ V}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = 4,096 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK109** Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle für das 20 m-Band und das Übertragungsverfahren RTTY berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben einen Dipol, der von einem Sender mit einer Leistung von 700 W über ein Koaxialkabel gespeist wird. Die Kabeldämpfung beträgt 0,5 dB. Wie groß ist der Sicherheitsabstand?

**A** 6,26 m

**B** 7,36 m

**C** 4,87 m

**D** 5,62 m

**Lösung / Rechenweg:**

$$d = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{EIRP}}}{E}$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_i - a}{10}}$$

*Aufgabenstellung:*

$$g_i = 2,15 \text{ dBi (Dipol)}; \quad a = 0,5 \text{ dB}$$
$$P_{ERP} = 700 \text{ W}; \quad E = 28 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 700 \text{ W} \cdot 10^{\frac{2,15 - 0,5}{10}} = 1023,5 \text{ W}$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 1023,5 \text{ VA}}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{175,23 \text{ V}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = 6,258 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK110** Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle in Hauptstrahlrichtung für das 2 m-Band und die Modulationsverfahren FM berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben eine Yagi-Uda-Antenne mit einem Gewinn von 11,5 dBd. Die Antenne wird von einem Sender mit einer Leistung von 75 W über ein Koaxialkabel gespeist. Die Kabeldämpfung beträgt 1,5 dB. Wie groß muss der Sicherheitsabstand sein?

**A** 6,86 m

**B** 5,35 m

**C** 2,17 m

**D** 22,09 m

**Lösung / Rechenweg:**

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{EIRP}}}{E}$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15}{10}}$$

*Aufgabenstellung:*

$$g_d = 11,5 \text{ dBd}; \quad a = 1,5 \text{ dB}$$
$$P_{ERP} = 75 \text{ W}; \quad E = 28 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 75 \text{ W} \cdot 10^{\frac{11,5 - 1,5 + 2,15}{10}} = 1230,44 \text{ W}$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 1230,44 \text{ VA}}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{192,12 \text{ V}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = 6,86 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK111** Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle für das 2 m-Band und das Modulationsverfahren FM berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben eine Yagi-UdaAntenne mit einem Gewinn von 10,5 dBd. Die Antenne wird von einem Sender mit einer Leistung von 100 W über ein Koaxialkabel gespeist. Die Kabeldämpfung beträgt 1,5 dB. Wie groß ist der Sicherheitsabstand?

**A** 7,1 m

**B** 6,6 m

**C** 8,4 m

**D** 5,6 m

**Lösung / Rechenweg:**

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{EIRP}}}{E}$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15}{10}}$$

*Aufgabenstellung:*

$$\begin{aligned} g_d &= 10,5 \text{ dBd}; & a &= 1,5 \text{ dB} \\ P_{ERP} &= 100 \text{ W}; & E &= 28 \frac{\text{V}}{\text{m}} \end{aligned}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 100 \text{ W} \cdot 10^{\frac{10,5 - 1,5 + 2,15}{10}} = 1303,17 \text{ W}$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 1303,17 \text{ VA}}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{197,72 \text{ V}}{28 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = 7,06 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK112** Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für das 13 cm-Band und das Modulationsverfahren FM berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 61 V/m. Sie betreiben einen Parabolspiegel mit einem Gewinn von 18 dBd. Die Antenne wird von einem Sender mit einer Leistung von 40 W über ein PE-Schaum-Massivschirm-Kabel mit einer Dämpfung von 2 dB gespeist. Wie groß muss der Personenschutz-Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung sein?

**A** 4,6 m

**B** 5,8 m

**C** 14,5 m

**D** 3,6 m

**Lösung / Rechenweg:**

$$d = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{EIRP}}}{E}$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_d - a + 2,15}{10}}$$

*Aufgabenstellung:*

$$\begin{aligned} g_d &= 18 \text{ dBd}; & a &= 2 \text{ dB} \\ P_{ERP} &= 40 \text{ W}; & E &= 61 \frac{\text{V}}{\text{m}} \end{aligned}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 40 \text{ W} \cdot 10^{\frac{18 - 2 + 2,15}{10}} = 2612,52 \text{ W}$$

$$d = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 2612,52 \text{ VA}}}{61 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = \frac{279,96 \text{ V}}{61 \frac{\text{V}}{\text{m}}} = 4,58 \text{ m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK113** Eine Yagi-Uda-Antenne mit 12,15 dBi Antennengewinn wird mit 250 W Sendeleistung im 2 m-Band direkt gespeist. Welche elektrische Feldstärke ergibt sich bei Freiraumausbreitung in 30 m Entfernung in etwa?

**A** 11,7 V/m

**B** 9,1 V/m

**C** 15,0 V/m

**D** 10,1 V/m

**Lösung / Rechenweg:**

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g}{10}}$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \, \Omega \cdot P_{EIRP}}}{d}$$

*Aufgabenstellung:*

$$g = 12,15 \, \text{dBi}; \quad P_A = 250 \, \text{W}; \quad d = 30 \, \text{m}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 250 \, \text{W} \cdot 10^{\frac{12,15}{10}} = 4101,47 \, \text{W}$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 4101,47 \, \text{VA}}}{30 \, \text{m}} = 11,69 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK114** Eine vertikale Dipol-Antenne wird mit 10 W Sendeleistung im 70 cm-Band direkt gespeist. Welche elektrische Feldstärke ergibt sich bei Freiraumausbreitung in 10 m Entfernung in etwa?

**A** 2,2 V/m

**B** 8,9 V/m

**C** 0,4 V/m

**D** 1,7 V/m

**Lösung / Rechenweg:**

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_i}{10}}$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{EIRP}}}{d}$$

*Aufgabenstellung:*

$$P_{ERP} = 10 \text{ W}$$

$$g_i = 2,15 \text{ dB}$$

$$d = 10 \text{ m}$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 10 \text{ W} \cdot 10^{\frac{2,15}{10}} = 16,41 \text{ W}$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 16,41 \text{ VA}}}{10 \text{ m}} = 2,22 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.1 Schutz von Personen

**AK115** Eine Amateurfunkstelle sendet in FM mit einer äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) von 100 W. Wie groß ist die Feldstärke im freien Raum in einer Entfernung von 100 m?

**A** 0,7 V/m

**B** 0,5 V/m

**C** 0,43 V/m

**D** 0,55 V/m

**Lösung / Rechenweg:**

$$P_{EIRP} = P_{ERP} \cdot 10^{\frac{g_i}{10}}$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \, \Omega \cdot P_{EIRP}}}{d}$$

*Aufgabenstellung:*

$$P_{ERP} = 100 \, W$$

$$g_i = 2,15 \, dB$$

$$d = 100 \, m$$

*Einsetzen:*

$$P_{EIRP} = 100 \, W \cdot 10^{\frac{2,15}{10}} = 164,1 \, W$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \frac{V}{A} \cdot 164,1 \, VA}}{100 \, m} = 0,702 \frac{V}{m}$$

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.2 Sicherheit / Sicherheitsmaßnahmen im Zusammenhang mit Netzteilkondensatoren

Grundsätzliche Vorsicht	Entladung und Erdung
<ul style="list-style-type: none"><li>• Betrachte große, zylindrische Kondensatoren als besonders gefährlich</li><li>• Gehe immer davon aus, dass Kondensatoren geladen sind, bis du das Gegenteil sichergestellt hast</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Verwende geeignetes Werkzeug zum sicheren Entladen oder Erden – hochohmig und mit geeigneter Belastbarkeit.</b></li><li>• Halte dabei ausreichend Sicherheitsabstand ein</li><li>• Benutze nur eine Hand beim Entladen, halte die andere hinter dem Rücken oder in der Tasche</li></ul>
Persönliche Schutzausrüstung	Isolierung
<ul style="list-style-type: none"><li>• Trage Schuhe mit Gummisohlen für zusätzlichen Schutz</li><li>• Schütze deine Augen mit einer Schutzbrille wegen möglichem Funkenschlag</li><li>• Entferne Schmuck wie Ringe, Armbänder und Halsketten</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Stelle sicher, dass du gut isoliert bist</li></ul>

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.2 Sicherheit

**AK201 Bei der Fehlersuche in einer defekten Senderendstufe sollte vor Beginn von Reparaturarbeiten aus Sicherheitsgründen das Gerät vom Netz getrennt werden und die Netzteilkondensatoren ...**

**A** über einen hochohmigen Widerstand mit ausreichender Leistung dauerhaft entladen werden.

**B** über einen sehr niederohmigen Widerstand ( $< 1 \Omega / 0,5 \text{ W}$ ) sofort vollständig entladen werden.

**C** durch Kurzschluss über ein Strommessgerät sicher entladen werden.

**D** erst nach Ablauf einer Wartezeit von ca. zwei Minuten berührt werden.

**Erklärung:**

**A:**

Genau das ist die richtige Vorgehensweise. Die ausreichende Leistung ist notwendig, damit der Widerstand nicht schmilzt. A ist korrekt.

**B, C:**

Die Entladung über einen sehr niederohmigen Widerstand könnte zu einem gefährlichen Stromstoß führen und ist daher nicht sicher.

Das Strommessgerät hat idealerweise einen Widerstand von  $0 \Omega$  – es gilt also das gleiche. Zusätzlich könnte das Messgerät beschädigt werden.

**D:**

Eine Wartezeit von 2 Minuten reicht nicht aus. Kondensatoren halten ihre Ladung über längere Zeit ... ggf. über Stunden, Tage und im Falle von Superkondensatoren auch Wochen oder Monate.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.2 Sicherheit / Potentialausgleich über mehrere Geräte

### Potentialausgleich

Eine möglichst niederohmige Verbindung aller Potentialausgleichsanschlüsse dient:

- vor allem dem Schutz von Personen.

Sie stellt sicher, dass bei einem Fehler oder einer Störung die elektrische Energie sicher abgeleitet wird, sodass keine gefährlichen Spannungen auf metallischen Teilen der Geräte auftreten, die für den Menschen gefährlich sein könnten.

Durch den Potentialausgleich wird verhindert, dass es zu gefährlichen Spannungsdifferenzen zwischen verschiedenen Teilen kommt, die zu Stromschlägen führen könnten.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.2 Sicherheit

**AK202** Warum ist eine möglichst niederohmige Verbindung aller Potentialausgleichsanschlüsse der Geräte einer Amateurfunkstelle anzustreben?

**A** Zum Schutz von Personen

**B** Zur Begrenzung von Kurzschlussströmen bei Gerätefehlern

**C** Zur Vermeidung von Geräteschäden bei Überspannungen

**D** Zur Symmetrierung bei paralleldrahtgespeisten Antennen

**Erklärung:**

**A:**

Siehe vorhergehende Folie.  
Lösung A ist korrekt.

**B:**

Das wäre eher die Aufgabe von Sicherungen und Schutzschaltern, nicht primär des Potentialausgleichs – B scheidet aus.

**C:**

Auch hier sind andere Maßnahmen erforderlich, z.B. Blitzschutz oder spezielle Schutzschaltungen – C scheidet aus.

**D:**

Der Potentialausgleich hat nichts mit der Symmetrierung von Antennen zu tun. Es handelt sich um grundverschiedene Konzepte – D scheidet aus.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.2 Sicherheit / Länge der Erdungsleitung

**Wenn die Erdungsleitung eine Länge von etwa  $\lambda/4$  (ein Viertel der Wellenlänge) oder einem ungeraden Vielfachen davon hat, kann sie mit der Sendefrequenz in Resonanz gehen.**

In diesem Fall bildet sich am Anfang der Leitung, also am Sendergehäuse, ein Spannungsbauch, während am geerdeten Ende kein Spannungsbauch entstehen kann.

Dies führt dazu, dass sich am Sendergehäuse eine hohe Hochfrequenzspannung aufbaut, die von der Sendeleistung abhängt. Ein Berühren des Gehäuses kann dann zu einem elektrischen Schlag oder Verbrennungen führen. Funkamateure bezeichnen diesen Zustand als „heißes“ Gehäuse.

Zur Vermeidung dieses Problems kann die Erdungsleitung so angepasst werden, dass sie nicht mehr in Resonanz mit den Frequenzen eines der verwendeten Amateurfunkbänder steht. In manchen Fällen kann es erforderlich sein, die Erdungsleitung zu verlängern.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.2 Sicherheit

**AK203** Ihr 400 W-Kurzwellensender ist über eine separate Erdungsleitung mit dem Potentialausgleich Ihres Hauses verbunden. Im Sendebetrieb stellen Sie fest, dass auf bestimmten Bändern das Gehäuse des Senders „heiß“ ist, d. h. Hochfrequenzspannung merklicher Amplitude auf dem Gerätegehäuse liegt. Was kann die Ursache hierfür sein?

- A** Die Länge der Erdleitung entspricht annähernd einem Viertel der Wellenlänge der Sendefrequenz oder einem ungeraden Vielfachen davon.
- B** Die verwendete Kupfer-Erdleitung ist nicht versilbert und somit zur guten Ableitung von Hochfrequenz nicht geeignet.
- C** Die Länge der Erdleitung entspricht annähernd einer halben Wellenlänge der Sendefrequenz oder Vielfachen davon.
- D** Für die verwendete Erdleitung wurde ein massiver Leiter anstatt einer für Hochfrequenz besser geeigneten mehradrigen Litze verwendet.

**Erklärung:**

**A:**

Siehe vorhergehende Folie. Ein  $\frac{\lambda}{4}$  Problem!

**B:**

Die Ursache des Problems liegt in der Länge, nicht am verwendeten Material. Kupfer ist des Weiteren hinreichend – B scheidet aus.

**C:**

Bei  $\frac{\lambda}{2}$  und Vielfachen davon hat die Erdleitung einen Spannungsknoten am Anfang und am Ende. Das beobachtete Phänomen tritt dann nicht auf.

**D:**

Erdungsleiter werden (immer?) als massive Leiter ausgelegt und nicht in Form mehradriger Litzen. Beachte VDE-Norm 0100-0410 zum Potentialausgleich! Darüber hinaus ist weiterhin die Länge des Erdleiters das eigentliche Problem.

# 5.11 Elektromagnetische Verträglichkeit, Anwendung, Personen- und Sachschutz

## 5.11.2 Sicherheit

**AK204 Ab welchen Sendeleistungen kann an Sendeantennen Verletzungsgefahr durch hochfrequente Spannungen bestehen?**

- A** Bereits bei geringen Sendeleistungen von wenigen Watt
- B** Auf Kurzwelle ab 100 Watt, auf VHF/UHF ab 50 Watt
- C** Bei Sendeleistungen höher 100 Watt
- D** Bei Sendeleistungen höher 500 Watt

### Erklärung:

Hochfrequente Spannungen können bereits bei geringen Sendeleistungen gefährlich sein. Die Verletzungsgefahr hängt ab von:

- Sendeleistung
- Frequenz
- Abstand zur Antenne
- Expositionsdauer

Selbst bei relativ niedrigen Leistungen können lokale Verbrennungen und Gewebeschäden auftreten.

Die Angabe von konkreten Watt-Zahlen ist Aufgrund der vielfältigen Abhängigkeiten (s.o.) nicht sinnvoll.

Lösung A ist korrekt.