

Lektion 18: EMV und Sicherheit

Als Funkamateure hat man natürlich die Verantwortung für seine Funkgeräte und Antennen, einerseits was störende Beeinflussungen angeht und andererseits, was die Sicherheit von Sachen und Personen angeht.

Übersicht

- Störungen
- Störende Beeinflussungen
- Störungsbesichtigung
- Personenschutz (EMVU)
- Berührungsschutz
- Antennenordnung
- Blitzschutz
- Mechanische Sicherheit

Störungen

Störungen liegen dann vor, wenn unerwünschte Nebenausstrahlungen vom Sender verursacht werden, die eventuell direkt in

den Empfangskanal eines anderen Gerätes fallen. *Störende Beeinflussungen* entstehen, wenn der Sender zwar einwandfrei auf seiner Sollfrequenz arbeitet, aber durch seine Feldstärke den Empfang auf anderen Frequenzen beeinflusst.

Unerwünschte Aussendungen des Amateurfunksenders können durch Oberwellen oder Nebenausstrahlungen entstehen. Oberwellen sind Vielfache der Grundfrequenz, die durch Nichtlinearitäten im Sender hervorgerufen werden.

Nebenausstrahlungen können *mischfrequente* Aussendungen sein, die im Zuge der Erzeugung der Sendefrequenz gebildet werden und nicht ausreichend gefiltert werden. Die Nebenausstrahlungen eines Senders dürfen bestimmte vorgeschriebene Grenzen nicht überschreiten. Das eigene Signal darf mit seiner Bandbreite die für den Amateurfunk festgelegten Frequenzbereiche nicht überschreiten.

Bis 25 Watt	Über 25 Watt
Kurzwellsender:	
max. +4 dBm	Minid. 40 dB gedämpft
VHF-/UHF-Sender:	
max. -16 dBm	Minid. 60 dB gedämpft

Prüfungsfrage TK104

Bei der Überprüfung des Ausgangssignals eines 75-Watt-Kurzwellen-Senders sollte die Dämpfung der Oberwellen in Bezug auf die Leistung der Betriebsfrequenz mindestens

- A 20 dB betragen.
- B 40 dB betragen.
- C 60 dB betragen.
- D 100 dB betragen.

Lösungshinweis: Siehe Tabelle oben!

Prüfungsfrage TK203

Die Übersteuerung eines Leistungsverstärkers führt zu ...

- A lediglich geringen Verzerrungen beim Empfang.
- B einer besseren Verständlichkeit am Empfangsort.
- C einer Verringerung der Ausgangsleistung.
- D einem hohen Nebewellenanteil.

Prüfungsfrage TK204

Die gesamte Bandbreite einer FM-Übertragung beträgt 15 kHz. Wie nah an der Bandgrenze kann ein Träger übertragen werden, ohne dass Außerbandaussendungen erzeugt werden?

Lösung: Bei FM wird die Frequenz durch Modulation symmetrisch nach oben und nach unten verändert. 15 kHz Bandbreite verteilen sich also zu $\pm 7,5$ kHz. Man kann also bis 7,5 kHz an die Bandgrenze gehen.

Störende Beeinflussungen

Zu den störenden Beeinflussungen im Senderfrequenzbereich gehören zum Beispiel Intermodulation und Zustoßeffekte. Intermodulation entsteht, wenn zwei oder mehr starke Signale die Mischstufe des Empfängers übersteuern und Phantomsignale erzeugen, die beim Einschalten des Abschwächers im Empfänger verschwinden.

Prüfungsfrage TK101

Wie äußert sich Zustoßen bzw. Blockierung eines Empfängers?

Antwort: Durch den Rückgang der Empfindlichkeit und ggf. Auftreten von Brodelgeräuschen.

Prüfungsfrage TK102

Welche Effekte werden durch Intermodulation hervorgerufen?

Antwort: Es treten Phantomsignale auf, die bei Einschalten eines Abschwächers verschwinden.

Prüfungsfrage TK103

Welche sofortige Reaktion ist angebracht, wenn der Nachbar sich über HF-Störungen beklagt?

Antwort: Sie bieten höflich an, die erforderlichen Prüfungen in die Wege zu leiten.

Prüfungsfrage TK107

Wie nennt man die elektromagnetische Störung, die durch die Aussendung des reinen Nutzsignals beim Empfang anderer Frequenzen in benachbarten Empfängern auftreten kann?

Antwort: Blockierung oder störende Beeinflussung.

Einstörungen und Einstrahlungen

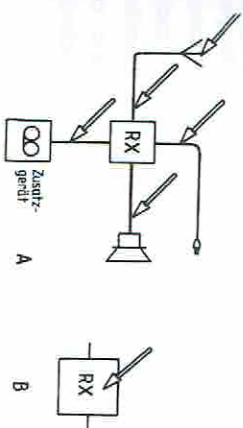


Bild 18-1: A: Einstrahlung B: Einstrahlung

Störende Beeinflussungen entstehen dadurch, dass starke Sendersignale in der Nachbarschaft irgendwo in den Verstärkerkanal des Rundfunk- oder Fernsehempfängers gelangen und dann entweder Übersteuerungseffekte auftreten oder Einfluss auf die Regelspannung besteht. Sie lassen sich grundsätzlich nur auf der Empfängerseite beheben, wenn die Senderleistung nicht reduziert werden soll.

Die störende Hochfrequenzenergie gelangt entweder durch *Einstrahlung* oder durch *Einstrahlung* in den Empfänger. Einströmungen liegen dann vor, wenn die HF über Leitungen oder Kabel in das gestörte Gerät gelangt. Dies kann über die Antenne und die Antennenführung passieren oder auch über Verbindungsleitungen des Gerätes mit anderen Geräten oder den weit abgesetzten Lautsprechern. Bei einer Einstrahlung dagegen gelangt das störende HF-Signal über das ungünstig abgeschirmte Gehäuse direkt in die Elektronik.

Die Einströmungen und Einstrahlungen können dazu führen, dass an PN-Übergängen von Transistoren eine Gleichrichtung stattfindet, die dann den Arbeitspunkt verändert und dadurch zu Zusatzeffekten führt oder das NF-Signal im Lautsprecher hörbar wird.

Für die Beseitigung der Störungen muss zunächst am Empfangsgerät geprüft werden, ob es sich um eine Einströmung oder eine Einstrahlung handelt. Dem Störungen durch Einströmungen lassen sich relativ einfach von außen durch Vorschalten von entsprechenden Filtern beseitigen. Einstrahlungen lassen sich nur durch Abschirmung des Gehäuses oder der entsprechenden Baugruppe verhindern.

Aber auch eine Ableitung an der Stelle der Elektronik, wo die Übersteuerung auftritt, kann Abhilfe sein. Dafür ist aber ein Eingriff in die Elektronik nötig, was man allenfalls an eigenen Geräten, nicht aber bei fremden Geräten machen sollte. Ist die Stelle der Einströmung eindeutig lokalisiert, kann man mit dem Zwischenstecken von Entstörfiltern beginnen.

Prüfungsfrage TK105
In welchem Fall spricht man von Einströmungen bei EMV?

Richtige Antwort: Einströmungen liegen dann vor, wenn die HF über Leitungen oder Kabel in das zu überprüfende Gerät gelangt.

Prüfungsaufgabe TK201
Wie kommen Geräusche aus den Lautsprechern einer abgeschalteten Stereoanlage möglicherweise zustande?

Richtige Antwort: Durch Gleichrichtung starker HF-Signale in der NF-Endstufe der Stereoanlage.

Prüfungsfrage TK302
Ein Sender sollte so betrieben werden, dass ...
(Auswahlantworten: Siehe Anhang 1)

... er keine unerwünschten Aussendungen hervorruft.

Beseitigung von Störungen und störenden Beeinflussungen

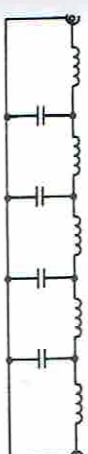


Bild 18-2: Schaltung eines fünfgliedrigen Tiefpasses

Um die Störwahrscheinlichkeit zu verringern, sollte die benutzte Sendeleistung auf das für eine zufrieden stellende Kommunikation erforderliche Minimum eingestellt werden.

Bearbeiten Sie die Prüfungsfrage TK307!

Oberwellen- und Nebenwellenausstrahlungen von Sendern lassen sich mit einem Tiefpass am Senderausgang beseitigen. Grundsätzlich lassen sich solche Filter leicht selber bauen, aber wenn sie eine hohe Sperrdämpfung haben sollen, ist die Dimensionierung besonders für Tiefpassglieder bei hohen Frequenzen recht kritisch, so dass oft nur spezielle Computerprogramme bei der Berechnung weiter helfen.

Es gibt kommerzielle Tiefpassglieder für Kurzwellensender, die bis 30 MHz keine nennenswerte Dämpfung und oberhalb von 30 MHz eine hohe Dämpfung haben /Bild 18-2). Für Sender im 2-m-Band oder 70-cm-Band gibt es Tiefpassfilter mit entsprechend höheren Grenzfrequenzen. Die obere Grenzfrequenz f_g wird bei 3 dB Leistungsabfall angegeben.

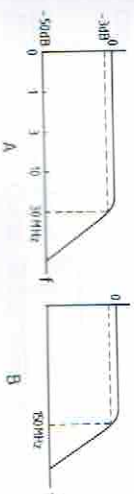


Bild 18-3: Dämpfungsverlauf von Tiefpassfiltern
A: $f_g = 30 \text{ MHz}$, B: $f_g = 150 \text{ MHz}$

Mit Tiefpassfiltern lassen sich Oberwellen unterdrücken. Schwieriger wird es, Nebenwellenausstrahlungen zu unterdrücken, deren Frequenzen niedriger als die höchste Nutzfrequenz sind. In diesem Fall kann kein Tiefpass verwendet werden. Sofern es sich um eine feste Störfrequenz handelt, die sich beim Verändern der Senderfrequenz nicht ändert, kann ein Sperrkreis oder ein Saugkreis an geeigneter Stelle im Sender eingesetzt werden.

Für das Vorschalten von Filtern muss man unterscheiden, ob die störenden Beeinflussungen oberhalb oder unterhalb der Senderfrequenz auftreten. Treten störende Beeinflussungen auf Kurzwellen bei einem Rundfunkempfänger auf Mittelwelle auf, sollte durch einen Tiefpass vor dem Empfänger dafür gesorgt werden, dass der tiefer liegende Mittelwellenbereich (ca. 0,5 bis 1,6 MHz) ungedämpft durchgelassen wird und der Kurzwellenbereich 3 bis 30 MHz gesperrt wird (Bild 18-4).

Bearbeiten Sie die Prüfungsfrage TK202!

Treten die Störungen beim Sendebetrieb im 2-Meter- oder 70-cm-Band auf, wird ein Sperrfilter für die Sendefrequenz vor dem Empfänger die beste Wirkung zeigen. Sperrfilter aus Spulen und Kondensatoren werden meistens als Pi-Filter ausgelegt.

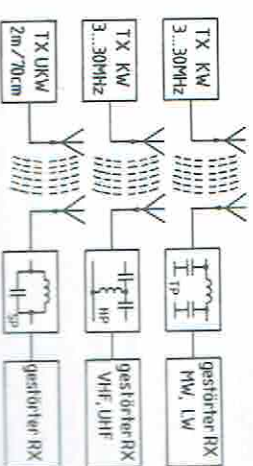


Bild 18-4: Auswahl von Tiefpass, Hochpass oder Sperrfilter

Prüfungsaufgabe TK308

Welches Filter sollte im Störfall für die Dämpfung von Kurzwellensignalen in ein Fernsehantennenkabel eingeschleift werden?

- A Ein Hochpassfilter.
- B Ein Tiefpassfilter.
- C Eine Bandsperre für die Fernsehbereiche.
- D Ein regelbares Dämpfungsglied.

Die störenden Kurzwellenfrequenzen sind weit unterhalb der gewünschten Fernsehempfangsfrequenzen, die man eigentlich nur durchlassen möchte. Also muss man ein Hochpassfilter einschalten. Gleiches gilt für die **Prüfungsfrage TK309**.

Hilft dies allein nicht oder kommen die Einstörungen möglicherweise über die Zuleitungen von angeschlossenen elektronischen Geräten (CD-Player, Videorecorder) in den gestörten Verstärker, kann man Entstördrosseln vor die Leitungsanschlüsse setzen oder versuchen, mit Klappkernen aus Ferritmaterial, wie man sie im Computernetzteil finden kann, eine Einstörung zu bewirken. Bearbeiten Sie die Frage **TK314**!

Prüfungsfrage TK310

Welches Filter sollte im Störfall vor die einzelnen Leitungsanschlüsse eines UKW- oder Fernsehempfängers eingeschleift werden, um Kurzwellensignale zu dämpfen?

Bei Einstörungen über die Leitungen zu den Lautsprecherboxen werden in jede Zuleitung Tiefpassfilter eingeschleift. Diese Tiefpassfilter sollen den NF-Frequenzbereich bis zirka 100 kHz ungehindert durchlassen, aber HF-Einstörungen verhindern. Eine Skizze über weitere Möglichkeiten zeigt folgendes Bild.

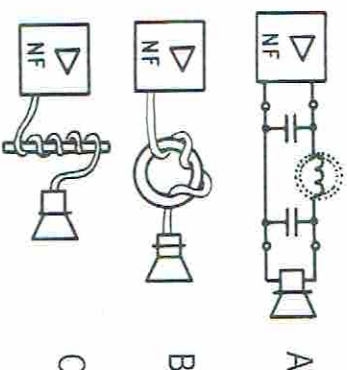


Bild 18-5: Beseitigung von störenden Beeinflussungen bei Einstörung über Lautsprecherleitungen

Diese Filter bestehen aus Tiefpässen mit Ringkerndrosseln und Kondensatoren (Bild 18-5 A). Manchmal hilft auch folgende einfache Methode: Man zieht die Lautsprecherleitung mehrfach durch einen Ringkern (B) oder wickelt einen Teil der Leitung auf einen Ferritstab (C).

Kommen die Einstörungen nicht über die Antennenzuleitung sondern über die Netzzuleitung im gleichen Haus, wo die Funkanlage betrieben wird, sollte zunächst die Netzzuleitung des Senders über ein Breitbandnetzfilter verdrosselt werden (Bild 18-6). Ein gleiches Filter kann in die Netzzuleitung des gestörten Empfängers eingeschleift werden. Solche Netzfilter sind im Amateurfunk-Zubehörhandel erhältlich.

Bearbeiten Sie die Prüfungsfragen TK313, TK314 und TK316.

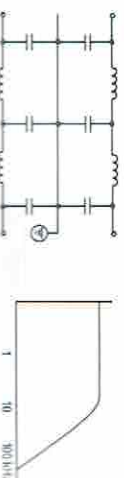


Bild 18-6: Schaltung und Durchlassbereich eines Breitbandnetzfilters

Direktstrahlungen liegen dann vor, wenn beim Entfernen sämtlicher Zuleitungskabel und Einfügung einer Netzverdrosselung noch immer störende Beeinflussungen vorhanden sind. Sie treten besonders bei Amateurseutendern auf, die mit maximal zulässigen Senderleistungen und Richtantennen mit hohem Gewinn arbeiten. Oder sie treten auf, wenn sich die Sendantenne räumlich sehr nah an dem Rundfunk- oder Fernsehempfänger befindet.

Prüfungsaufgabe TK106

In welchem Fall spricht man von Einstörungen bei EMV? Einstörungen liegen dann vor, wenn die HF **A** über nicht genügend geschirmte Kabel zum gestörten Empfänger gelangt.

- B über Leitungen oder Kabel in das gestörte Gerät gelangt.
- C über das ungenügend abgeschirmte Gehäuse in die Elektronik gelangt.
- D wegen eines schlechten Stehwellenverhältnisses wieder zum Sender zurück strahlt.

Lösung: Hier wird nach Einstörungen und nicht nach Einstörungen gefragt. Antwort C ist die richtige Lösung.

Die Beseitigung von Störungen durch Einstörungen sollte vom Funkamateurl nicht selbst vorgenommen werden. Man sollte dem gestörten Nachbar empfehlen, sich an den Funkstörungsmessdienst mit der bundesweiten Rufnummer (Funkstörungsmessdienst: 0180-3232323) zu wenden.

Keinesfalls sollte man versuchen, die Erhöhung der Einstörfestigkeit durch Manipulationen im Gerät selbst vorzunehmen. Für später auftretende Fehler am Gerät werden Sie sonst irgendwann verantwortlich gemacht.

Vorbereitende Maßnahmen

Eine möglichst hoch über den Häusern angebrachte Richtantenne mit geringem vertikalem Öffnungswinkel ist häufig schon eine gute Vorbereitungsmaßnahme. Generell gilt: Die Sendantenne sollte so weit wie möglich entfernt von Empfängsanennen für Rundfunk und Fernsehen aufgebaut werden.

Prüfungsfrage TK304 Ein Funk-

amateurl wohnt in einem Reihenhaus. An welcher Stelle sollte die KW-Drahtantenne angebracht werden, um störende Beeinflussungen auf ein Mindestmaß zu begrenzen?

Richtige Antwort aus dem Fragenkatalog: Rechtswinkel zur Häuserzeile mit abgewandter Strahlungsrichtung.

Prüfungsfrage TK315 Bei einem

Wohnort in einem Ballungsgebiet empfiehlt es sich, während der abendlichen Fernsehstunden ...

Antwort: ... mit keiner höheren Leistung zu senden, als für eine sichere Kommunikation erforderlich ist.

Prüfungsfrage TK317 Eine 435-

MHz-Sendeantenne mit hohem Gewinn ist unmittelbar auf eine UHF-Fernseh-Empfangsantenne gerichtet. Dies führt gegebenenfalls zu ...

Antwort: ... einer Übersteuerung eines TV-Empfängers.

Prüfungsfrage TK306

Die Bemühungen, die durch eine in der Nähe befindliche Amateurfunkstelle hervorgerufenen Fernsehstörungen zu verringern, sind fehlgeschlagen. Als nächster Schritt ist ...

Antwort: ... die zuständige Außenstelle der BNetzA um Prüfung zu bitten.

Personenschutz

Um Schädigungen durch zu hohe Feldstärken bei Menschen zu vermeiden, muss verhindert werden, dass ein Mensch so nahe an die Antennenanlage kommen kann, dass eine zu hohe Feldstärke auf seinen Körper einwirkt.

Für die Feldstärkeberechnung nach der Personenschutznorm (EMVU = Elektromagnetische Verträglichkeit Umwelt) gelten zwei verschiedene Aufenthaltsbereiche, nämlich einmal der *Expositionsbereich 1* für vom Betreiber der Anlage kontrollierte Bereiche, z.B. das Haus des Funkamateurs und der *Expositionsbereich 2*, das sind die für den normalen Bürger jederzeit zugänglichen Bereiche, mit Aufenthalt dort mehr als sechs Stunden pro Tag.

Die Bundesnetzagentur (BNetzA) hat Regeln aufgestellt (Entwurf DIN VDE 0848), nach denen man die Grenzwerte der elektrischen Einsatzfeldstärke berechnen kann. Für mathematisch Interessierte wird die vereinfachte Formel aus einer allgemeinen Feldstärkeberechnungsformel im Buch für die Klasse A hergeleitet. Wir begnügen uns hier mit der zugeschnittenen Formel und lernen, diese anzuwenden.

$$r = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{\text{ERP}} [\text{W}]}}{E \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]}$$

Diese Formel besagt: Wenn man die zulässigen Grenzwerte für die elektrische Feldstärke E für Personenschutz (Siehe folgende Tabelle) und die verwendete Strahlungsleistung der Antenne P_{ERP} kennt, kann man daraus den Sicherheitsabstand in Meter berechnen, der eingehalten werden muss, um auf keinen Fall Personen mit der Hochfrequenz-Strahlungsleistung zu gefährden.

Grenzwerte für Personenschutz

Frequenzbereich	Elektrische Feldstärke
unter 10 MHz	$E = 87 \sqrt{f(\text{MHz})}$ in V/m
10 bis 400 MHz	$E = 27,5$ V/m
400 - 2000 MHz	$E = 1,375 \sqrt{f(\text{MHz})}$ in V/m
über 2000 MHz	$E = 61$ V/m

Im Bereich zwischen 10 und 400 MHz ist die Wirkung des elektromagnetischen Feldes für Menschen am kritischsten. Dort ist die niedrigste Feldstärke (27,5 V/m) festgelegt. Aus der Tabelle erkennt man: Oberhalb von 400 MHz darf die Feldstärke mit Wurzel aus der Frequenz größer werden. Im Frequenzbereich unter 10 MHz darf die Feldstärke mit $1/f$ steigen.

Um den Mindestabstand berechnen zu können, muss man die Strahlungsleistung EIRP kennen. Die Formel zur Feldstärkeberechnung geht von einem Kugelstrahler aus, den es in der Praxis nicht gibt. Für die verschiedenen Antennenformen muss der Leistungsgewinnfaktor bekannt sein, um die Strahlungsleistung berechnen zu können. Für einen Dipol gilt ein Gewinnfaktor von 1,64 (2,15 dB) und für einen Lambdaviertrahler (z.B. GP) ein Faktor von $2 \cdot 1,64 = 3,28$ (5,15 dB). Bei Richtantennen nimmt man den Gewinn aus dem Richtdiagramm.

Leistungsgewinnfaktor	oder in dBi
Dipol	1,64
M4-Vertikal	3,28
	2,15 dBi
	5,15 dBi

Prüfungsaufgabe TL209

Für den Kurzwellenbereich oberhalb 10 MHz (beispielsweise 28 MHz) soll der Mindestabstand ausgerechnet werden, der von Personen eingehalten werden muss, wenn mit einem Dipol mit maximal zulässiger Leistung von 100 W gearbeitet wird.

Lösung: Für einen Dipol gilt ein Gewinnfaktor von 1,64. Das ergibt eine maximale Strahlungsleistung von 100 W mal 1,64 = 164 W. Die zulässige Feldstärke beträgt 28 V/m (Tabelle vorige Seite).

Die Formel lautet.

$$r = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{\text{ERP}} [\text{W}]}}{E \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]}$$

Eingesetzt ergibt sich

$$r = \frac{\sqrt{30 \cdot 164}}{28} \text{ m} = \frac{\sqrt{4920}}{28} \text{ m} = 2,50 \text{ m.}$$

Es muss also von jedem Punkt der Antenne ein Abstand von mindestens 2,50 m eingehalten werden.

Reduzierungsfaktoren

Die in der Tabelle angegebenen Maximalwerte der Feldstärken gelten als Effektivwerte, gemittelt über 6-Minuten-Intervalle. Im Amateurfunk ist der Mittelwert erheblich geringer als die zulässigen Spitzenwerte von 75 Watt. Bei SSB ist der Mittelwert je nach Klippgrad etwa 1 : 6 bis 1 : 4. Bei Morselegrafie ist durch die Pausen zwischen den einzelnen Zeichen der Mittelwert etwa 1 : 4. Nur bei Frequenzmodulation und auch bei Frequenzumtastung (z.B. RTTY) ist der Mittelwert gleich der Trägerleistung. Mit diesem Faktor muss die effektive Strahlungsleistung reduziert werden.

Betriebsart	Reduzierungsfaktor
SSB	1 : 6 = 0,167
CW	1 : 4 = 0,25
FM (RTTY, SSTV)	1

Bearbeiten Sie die **Prüfungsfrage TL213**.

Diesen Reduzierungsfaktor darf man nur für die Berechnung des Sicherheitsabstandes nach Personenschutz ansetzen. Wenn Sie mit Ihrer Antennenanlage öffentliche Wege oder Nachbargrundstücke bestrahlen und nicht sicher sein können, dass sich eventuell ein Herzschrittmacheträger dort aufhalten könnte, müssen Sie mit dem maximalen Augenblickswert der Feldstärke des modulierten Trägers rechnen. In diesem Fall rechnen Sie wie in Prüfungsaufgabe TL211 weiter unten mit dem Reduzierungsfaktor 1, also so, als ob es FM wäre, auch wenn Sie SSB verwenden.

Bearbeiten Sie die **Prüfungsfrage TL214** aus dem Anhang 1.

Prüfungsaufgabe TL211

Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle für das 2-m-Band und die Betriebsart FM berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben eine Yagi-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?

Lösung: Zunächst wird die EIRP berechnet. Bei der Betriebsart FM gilt der Reduzierungsfaktor 1, also keine Reduzierung. Den Gewinn der Antenne verrechnen wir mit dem Kabelverlust 11,5 dB – 1,5 dB = 10 dB. Es bleiben also 10 dB Gewinn gegenüber Dipol (Angabe dBd in Aufgabe TL211) übrig. 10 dB entsprechen zehnfacher Leistung. Außerdem muss der Gewinnfaktor 1,64 für einen Dipol (wegen Gewinnangabe in dBd) noch berücksichtigt werden.

$$P_{\text{ERP}} = 10 \cdot 75 \text{ W} \cdot 1,64 = 1230 \text{ W}$$

Die Werte werden in die Formel eingesetzt.

$$r = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{EIRP} [\text{W}]}}{E_{\text{min}} [\text{V/m}]} = \frac{\sqrt{30 \cdot 1230}}{28} \text{ m} = 6,86 \text{ m}$$

Es müssen also 6,86 m Abstand eingehalten werden.

Bearbeiten Sie die Prüfungsfrage TL210 aus dem Fragenkatalog bzw. aus dem Anhang 1 dieses Buches.

Tip: Diese Aufgabe wird im Prinzip genau wie die Aufgaben TL209 und TL211 gerechnet. Wenn Sie den Gewinn der Yagi und den Verlust des Kabels gegeneinander verrechnen, bleiben 6 dB Gewinn übrig. 6 dB entsprechen der vierfachen Leistung. Wegen der Angabe dBD multiplizieren Sie diese 400 W mit 1,64, um P_{EIRP} zu erhalten. Damit sollten Sie die Lösung berechnen können. Für diejenigen, die noch etwas Probleme beim Rechnen mit dem Taschenrechner haben, sei hier die Aufgabe einmal genau vorgerechnet.

$$P = \frac{\sqrt{30 \cdot 656}}{28} \text{ m}$$

Zur Eingabe in den Taschenrechner gehen Sie gemäß folgender Tabelle vor:

Eingabe	Anzeige
30	30
*	
656	656
=	19680
√	140,285
÷	
28	28
=	5,01019

Als Ergebnis erhalten Sie 5,01. Also muss der Sicherheitsabstand mindestens 5,01 m betragen und zwar von jedem Punkt der Antenne. Siehe Prüfungsaufgabe TL212!

Prüfungsaufgabe TL208

Sie besitzen einen A/4-Vertikalstrahler. Da Sie für diese Antenne keine Selbsterklärung abgeben möchten und somit nur eine Strahlungsleistung von kleiner 10 W EIRP verwenden dürfen, müssen Sie die Sendeleistung soweit reduzieren, dass sie unter diesem Wert bleiben. Wie groß darf die Sendeleistung dabei sein?

- A kleiner 3 Watt
- B kleiner 6 Watt
- C kleiner 10 Watt
- D kleiner 16,4 Watt

Lösung: In der Formelsammlung der BNeta und auch hier im Text zwei Seiten zuvor finden Sie die Angabe, dass ein $\lambda/4$ Vertikalstrahler einen Gewinnfaktor von 3,28 besitzt. Faktor bedeutet, dass die verwendete Sendeleistung damit multipliziert die Strahlungsleistung EIRP ergibt. Umgekehrt bedeutet dies für die Aufgabe, dass die 10 Watt EIRP durch 3,28 geteilt werden müssen. Dies ergibt 3,05 Watt. Also darf die verwendete Sendeleistung (eigentlich Antenneneingangsleistung) zirka 3 Watt nicht überschreiten. Lösung A!

Prüfungsaufgabe TL207

Muss ein Funkamateurl als Betreiber einer ortsfesten 2-m-Amateurfunkstelle bei der Sendeleistung von 6 Watt an einer 15-Element-Yagi-Antenne mit 13 dB Gewinn die Einhaltung der Personenschutzgrenzwerte nachweisen?

Lösung: 13 dB sind 10 dB plus 3 dB. 10 dB sind ein Gewinn vom Faktor 10. Aus 6 Watt werden also 60. Und nochmals 3 dB, Faktor 2, ergeben 120 Watt EIRP. *Nur 10 W EIRP sind ohne Nachweis erlaubt!* Die Antwort muss also „Ja“ lauten.

Sicherheitsanforderungen

Nicht nur die kommerziellen Sender- und Antennenanlagen, auch die Amateurfunkstellen unterliegen gewissen Sicherheitsanforderungen, damit weder Mensch noch Tier noch Sachen durch diese Anlagen gefährdet werden. Zum Schutz von Menschen, Tieren und Sachen werden von nationalen Verbänden aus Fachleuten der Elektrotechnik, in Deutschland vom Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) Sicherheitsbestimmungen zur Verhütung von Unfällen durch elektrischen Strom erlassen. Die wichtigsten Sicherheitsbestimmungen für elektrische Betriebsmittel (zum Beispiel Funkgeräte) mit Netzwechselspannungen bis 1000 V sowie Niederspannungen bis 1500 V sind DIN VDE 0100 (auch DIN 57100).

Berührungsschutz

Direktes Berühren liegt vor, wenn Körperteile Spannung führende Teile berühren. Zum Schutz gegen direktes Berühren müssen Spannung führende Teile vollständig isoliert oder abgedeckt sein. Indirektes Berühren liegt vor, wenn ein sonst spannungsfreier leitfähiger Teil eines Gerätes, der durch Isolationsfehler Spannung annimmt, berührt wird.

Solche Isolationsfehler können dadurch auftreten, dass ein unter Spannung stehender Leiter das Gehäuse berührt. In elektrischen Anlagen sind stets Schutzmaßnahmen gegen direktes und indirektes Berühren anzuwenden. Diese hier beschriebenen Normen gelten für Deutschland beziehungsweise für Europa. Eingeführte Geräte müssen den europäischen Normen entsprechen.

Schutzkleinspannung

Die Stromverbraucher werden entweder über Sicherheitstransformatoren mit einer Nennausgangsspannung von weniger als 50 Volt (meist 12 V, 24 V oder 42 V) oder an Akkumulatoren oder Batterien angeschlossen. Die *Schutzkleinspannung* findet Anwendung bei Kinderspielzeug, Geräten für die Tierhaltung, Taschenlampen, und so weiter. Spannungsführende Teile von Stromkreisen mit Schutzkleinspannung dürfen weder mit Erdungsleitungen, Schutzleitern noch mit leitenden Teilen von Stromkreisen anderer Spannung verbunden sein. Deshalb haben diese Geräte keinen Schutzkontakt- (Schuko-)stecker.

Funktionskleinspannung

Können bei Verwendung von Nennspannungen unter 50 V Wechselspannung beziehungsweise 120 V Gleichspannung nicht alle Anforderungen an die Schutzmaßnahme Schutzkleinspannung erfüllt werden (z.B. wenn die Antennenanlage geerdet sein muss), so sind zusätzliche Schutzmaßnahmen notwendig. Diese Kombination von Schutzmaßnahmen wird Funktionskleinspannung genannt.

Dies kommt im Amateurfunk beispielsweise bei der Stromversorgung mit 12-V-Netzteilen vor. Es muss zusätzlich ein Berührungsschutz vorgenommen werden, indem entweder das Gehäuse dieses Netztes an den Schutzleiter des Primärkreises oder an den geerdeten Potenzialausgleichsleiter angeschlossen wird. Die Stecker von den daran anzuschließenden Stromkreisen mit Funktionskleinspannung dürfen nicht in Netzsteckdosen passen. Dies gilt übrigens auch bei Schutzkleinspannung.

Schutzisolierung

Eine andere Schutzmaßnahme gegen unzulässig hohe Berührungsspannung ist die Schutzisolierung. Diese kann als Schutzisolierrummhüllung (Bild 18-7 A), Schutzzwischenisolierung (B) oder verstärkte Isolierung (C) ausgeführt sein.

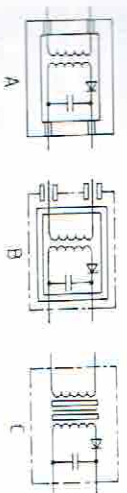


Bild 18-7: Schutzisolierungen

Schutzisolierte Geräte dürfen nicht mit dem Schutzleiter verbunden werden. Deshalb sind industriell gefertigte Geräte (zum Beispiel Steckernetzteile) nur über zweifache Leitungen und Stecker ohne Schutzkontakt angeschlossen.

Schutztrennung

Bei Schutztrennung wird jedes einzelne Gerät durch einen Trenntransformator nach VDE vom Netz getrennt, so dass bei einem Fehler des angeschlossenen Gerätes keine Berührungsspannung auftreten kann. Schutztrennung ist jedoch nur wirksam, wenn bei einem Fehler des angeschlossenen Gerätes kein Erdschluss auftritt. Schutztrennung wird in der Messtechnik angewendet.

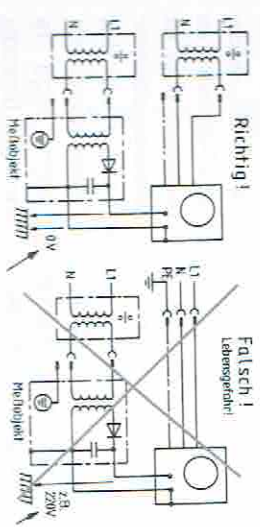


Bild 18-8: Richtige und falsche Anwendung von Schutztrennung

Schutzmaßnahmen durch Abschaltung

Diese Schutzmaßnahme hat einen Schutzleiter und schaltet nach dem Auftreten eines Fehlers selbstständig durch Sicherungen oder FI-Schutzschalter ab. Sie verhindern das Bestehenbleiben einer unzulässig hohen Berührungsspannung. Als Schutzleiter wird eine grün-gelbe Ader beziehungsweise ein grün-gelb isolierter Leiter verwendet. Alle leitfähigen Gehäuse oder Teile der Geräte müssen an einen Schutzleiter angeschlossen werden. Siehe **Prüfungsfrage TL3051**

Merke: Die grün-gelben Leiter dürfen nur als Schutzleiter verwendet werden.

Empfehlenswert für Funkamateure ist eine *Fehlerstromschutzeinrichtung (FSE)*. Bei dieser Schutzanordnung werden die Spannung führenden (Außen)leiter und der Neutralleiter (N) durch einen Summenstromwandler geführt. Ist die Summe der über die Außenleiter und den N-Leiter fließenden Ströme nicht null, fließt also Strom nach Erde ab, löst bei einer bestimmten Differenz der *FI-Schutzschalter* aus und unterbricht die gesamte Spannungsversorgung.

Es gibt FI-Schutzschalter, die bereits ab 30 mA Differenzstrom auslösen. Bei gleichzeitiger Berührung eines Spannung führenden Leiters und Erde würde ein Strom über den menschlichen Körper nach Erde abfließen und der FI-Schalter auslösen. Wenn Ihr Haus oder die Wohnung nicht FI-geschützt ist, sollten Sie als Funkamateure mindestens den Basteltisch und damit sich selbst durch einen FI-Schalter schützen. Bei gleichzeitiger Berührung des Außenleiters und des Neutralleiters (also „Phase“ und „Null“) nutzt dieser FI-Schutzschalter allerdings nichts. **Seien Sie immer vorsichtig beim Arbeiten unter Spannung!**

Die Erdung von Antennen

Alle leitfähigen Teile von Antennenanlagen außerhalb von Gebäuden müssen über eine *Erdungsleitung* mit dem *Erde* verbunden werden. Bei Zimmerantennen, bei Antennen, die im Gerät eingebaut sind, bei Antennen unter der Dachhaut und bei so genannten *Fensterantennen* darf auf eine Erdung verzichtet werden. Fensterantennen sind Antennen, deren höchster Punkt mindestens 2 m unter der Dachkante liegt und deren äußerster Punkt höchstens 1,5 m von der Außenfront des Gebäudes entfernt ist.

Erdungsleiter, die eigens für die Antennenanlage gelegt werden, müssen folgende **Mindestmaße** haben.

Werkstoff	Abmessungen oder Art
Kupfer	16 mm ² , blank oder isoliert
Aluminium	25 mm ² , isoliert, in Innenräumen auch blank
Stahl	50 mm ² verzinkt, z.B. Band, 20 mm · 2,5 mm

Volldraht oder mehrdrähtig, jedoch nicht feindrähtig, Kennzeichnung für isolierte Leiter: grün-gelb

Erdungsleitungen innerhalb von Gebäuden dürfen bis zu 1 m aus dem Gebäude herausgeführt werden. Erdungsleitungen sind auf kürzestem Weg und möglichst senkrecht zum Erde zu führen. Sie sollen möglichst sichtbar oder in Kunststoffrohren verlegt werden. In diesen Rohren dürfen aber keine anderen Leitungen liegen.

Prüfungsfrage TL302

Welches Material und welcher Mindestquerschnitt ist bei einer Erdungsleitung zwischen einem Antennenstandrohr und einer Erdungsanlage nach DIN VDE 0855 Teil 300 für Funksender bis 1 kW zu verwenden?

Lösung: Siehe Tabelle Erdungsleiter!

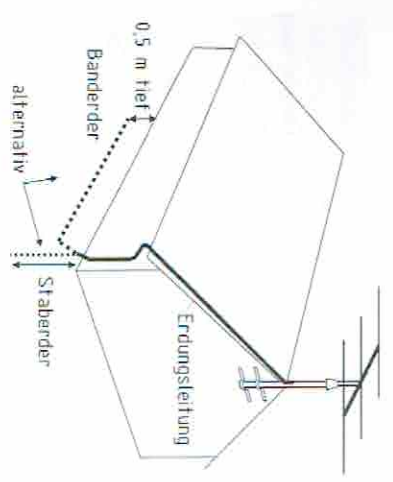


Bild 18-9: Erdung von Antennen

Als Erde können dienen:

- Stäberder (Mindestlänge 2,5 m),
- Bänderder aus verzinktem Stahl (3,5 mm · 30 mm) 0,5 m tief verlegt, bei einer Mindestlänge von 5 m;
- Fundament- und/oder Blitzschutzender;
- Stahlbauten.

Der Wandabstand der Erdungsleitung soll mindestens 1 m betragen.

Sind *Potenzialausgleichsleitungen* zwischen Betriebsmitteln, z.B. Verstärkern der Antennenanlage erforderlich, so sind diese Leitungen aus mindestens 4 mm² Kupferdraht blank oder isoliert zu installieren (Kennzeichnung der isolierten Leitungen: grün/gelb).

Prüfungsfrage TL101

Um eine Amateurfunkstelle in Bezug auf EMV zu optimieren ...

... sollten alle Einrichtungen mit einer guten HF-Erdung versehen werden.

Bearbeiten Sie die **Prüfungsfrage TK3121**

Blitzschutz

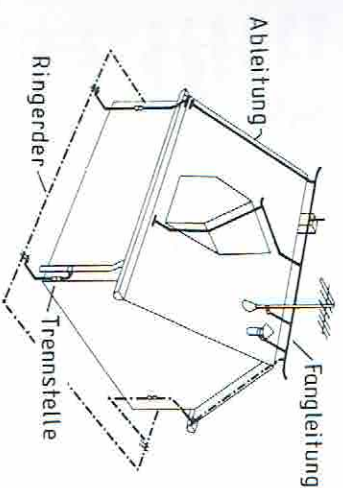


Bild 18-10: Äußerer Blitzschutz

Antennen erden - genügt das? Jährlich gehen etwa eine Million Wolke-Erde-Blitze in Deutschland nieder. Auch wenn nur ein geringer Teil dieser Blitze direkt in Gebäude einschlägt, so werden doch für das Gebiet Deutschland jährlich mehr als 30000 Schadensfälle durch Blitzschlag mit Sachschäden in Millionenhöhe gemeldet. Die Anzahl der Schäden durch indirekte Blitzwirkung hat in den letzten Jahren durch die zunehmende Ausstattung mit Elektronikgeräten und Computern stark zugenommen.

Durch die großen Blitzströme mit sehr steilen Anstiegsflanken können auch durch Induktion hohe Spannungen im Innern von Gebäuden entstehen. Diese Überspannungen entstehen sowohl in offenen als auch in geschlossenen Schleifen und zwar unabhängig davon, ob diese Installations Schleifen leitend mit Blitzableitern verbunden oder davon isoliert sind. Eine offene Induktionsschleife entsteht beim Amateurfunk häufig dadurch, dass der Funkamateur bei aufkommendem Gewitter den Antennenstecker abzieht und diesen offen liegen lässt, anstatt das Kabel zu erden. Zwischen dem Koaxialkabel und dem Gehäuse des Funkgerätes entsteht eine hohe Induktionsspannung, die zu einem Überschlag führen kann.

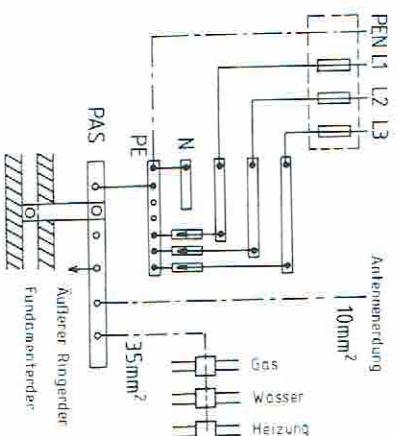


Bild 18-11: Innerer Blitzschutz

Bei Gewitterneigung und wenn Sie die Wohnung für längere Zeit verlassen, ziehen Sie die Netzstecker der Funkgeräte und erden Sie Ihre Antennenleitungen.

Wenn Sie Hauseigentümer sind und eine Antennenanlage auf Ihrem Haus aufgebaut haben, sollten Sie sich vom Fachmann einen Blitzschutz installieren lassen. Außer dem äußeren Blitzschutz, wie er im Bild 18-10 dargestellt ist, kommt noch der innere Blitzschutz nach Bild 18-11 hinzu, wobei alle Hausanschlussleitungen durch eine Überspannungsschutzeinrichtung gegen Blitzströme von außen geschützt werden.

Das Standrohr einer Amateurfunkantenne auf einem Gebäude darf mit einer vorhandenen Blitzschutzanlage verbunden werden, wenn die vorhandene Blitzschutzanlage fachgerecht aufgebaut ist und das Standrohr mit ihr auf dem kürzesten Wege verbunden werden kann.

Mehr dazu unter www.vde.com/blitzschutzfunksysteme

Prüfungsfragen

Beantworten Sie die Fragen TL301 TL303 und TL304.

Mechanische Sicherheit der Antennenanlage

Die gesamte Antennenanlage muss den auftretenden mechanischen Beanspruchungen und Witterungseinflüssen standhalten. Die Antennen und die Rohrverbindungen am Standrohr müssen gegen unerwünschtes Verdrehen gesichert sein. Gewindemuffen als Rohrverbindung sind unzulässig. Als Standrohre für Antennen gibt es Rohre aus einem Stück, Steckrohre und Schieberohre.

Diese Rohre bestehen meist aus Stahl- oder bestimmten Aluminiumlegierungen und haben gewöhnlichste Mindestwerte der Festigkeit, Gasrohre und Wasserrohre erfüllen die Festigkeitsbedingungen nicht und sind deshalb *nicht zulässig*. Die Standrohre aus Stahl müssen im Einspannbereich eine Mindestwanddicke von 2 mm haben. Sie müssen verzinkt oder gleichwertig gegen Korrosion geschützt sein.

Auf Antennen wirken bei Wind erhebliche Kräfte, die man als Windlast F_A bezeichnet. Die Einheit der Windlast wird in Newton (N) angegeben. Diese Windlast entsteht durch den Stau der bewegten Luft an Teilen der Antenne (Staudruck).

$$F_A = p \cdot A$$

p ist der Staudruck (Winddruck) in N/m^2 und A ist die wirksame Antennenfläche in m^2 , auf die der Wind aufreffen kann.

Für Antennen mit Standrohren bis zu einer freien Rohrlänge von 6 m und bis zu einem Einspannmoment von 1650 Nm (Newton-Meter) auf Bauwerken bis zu acht Geschossen (etwa 20 m über der Geländeoberfläche) darf für $p = 800 \text{ N/m}^2$ eingesetzt werden.

Aufgabe
Welche Windlast tritt bei 800 N/m^2 an einer UKW-Yagi mit $0,0625 \text{ m}^2$ wirksamer Antennenfläche auf?

$$F = p \cdot A = 800 \text{ N/m}^2 \cdot 0,0625 \text{ m}^2 = 50 \text{ N}$$

Die Antenne ruft infolge der Windlast auf das Standrohr ein Drehmoment hervor, das man *Biegemoment* nennt. Das Biegemoment M_A in Nm berechnet sich aus dem Produkt Windlast mal Länge vom Einspannpunkt bis zur Antenne. Sollen mehrere Antennen an einem Mast montiert werden, sind die Biegemomente zu addieren.

$$M_A = F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_3 \cdot l_3$$

Beispiel
Es soll das Biegemoment für die Antennenanlage Bild 18-12 berechnet werden.

Lösung:

$$M_A = (400 \cdot 2 + 100 \cdot 4 + 50 \cdot 5) \text{ Nm}$$

$$M_A = (800 + 400 + 250) \text{ Nm} = 1450 \text{ Nm}$$

Für dieses Biegemoment von 1450 Nm muss der Mast geeignet sein.

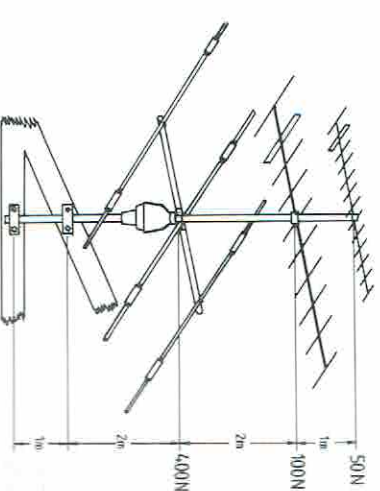


Bild 18-12: Berechnung der Gesamtwindlast

Tragende Bauteile, zum Beispiel Gebäude-
teile wie Dachbalken, die zur Befestigung
von Antennen, Antennenstandrohren und
Abspannseilen dienen, müssen ebenfalls
eine ausreichende mechanische Festigkeit
besitzen. Die Befestigung des Standrohres
am Schornstein ist verboten.

Die Verbindungsmittel mit dem tragen-
den Bauteil müssen die auftretenden Kräfte
dauerhaft übertragen. Diese Kraftübertra-
gung darf durch Alterung und Korrosion
nicht beeinträchtigt werden. Gips und Dübel
aus thermoplastischem Kunststoff erfüllen
diese Forderung im Allgemeinen nicht. Jede
Halterung des Standrohres muss mit min-
destens zwei Schrauben am tragenden Bau-
teil befestigt werden. Bei Befestigung am
Gebälk sind Schlüsselschrauben von min-
destens 8 mm Durchmesser erforderlich, bei
Befestigung im Mauerwerk mindestens
Schrauben M8.

Abspannseile sollen größere Schwan-
kungen durch den Wind verhindern. Die
Antennenanlage muss die Forderungen an
die mechanische Festigkeit auch ohne Ab-
spannseile erfüllen. Die Abspannseile dür-
fen bei der Ermittlung der mechanischen
Festigkeit also nicht berücksichtigt werden.
Die Verbindungsmittel sollen aus geeigne-
ten Werkstoffen bestehen, damit Korrosion
durch Elementbildung möglichst verhindert
wird.

Die Antennenanlage ist so aufzustellen,
dass abknickende Bauteile der Antennen
darunter liegende Starkstromleitungen nicht
berühren können. Das Abknicken des
Standrohres wird nicht angenommen. Der
waagerechte Abstand des Standrohres zur
Starkstromföhrleitung und der Abstand zwi-
schen Antennenstellen und der Starkstrom-
föhrleitung muss mindestens 1 m betragen.

Sendeanlage im KFZ

Damit die Zulassung eines Kraftfahrzeugs
nicht ungültig wird, sollten Sie vor dem
Einbau einer mobilen Sendeanlage die An-
weisungen des Kraftfahrzeugherstellers be-
achten. Manche Hersteller erlauben nur den
eingeschränkten Einsatz einer Amateurfunk-
anlage bis zu einer bestimmten Sendeleis-
tung.

Um ein Einwirken der Hochfrequenz in
die Elektronik des Kraftfahrzeugs zu ver-
hindern, sollten Antennen und Antennenka-
bel möglichst weit davon entfernt verlegt
werden. Die beste Abstrahlung hat eine
mobile VHF-Antenne, wenn sie in der Mitte
des Wagendaches installiert wird.

Prüfungsfragen

Beantworten Sie die Fragen **TL306**
bis **TL308**.

Mehr dazu auf der KFZ-Info-Seite des
DARC unter www.darc.de/referate/emv.

Zur Vorlage bei einer Kontrolle:

**Nichtanwendbarkeit des Handy-
verbots nach StVO §23 Abs. 1a auf
lizenzierte Funkamateure**

Die StVO §23 Abs. 1a (Verbot der
Handybenutzung während der Fahrt ohne
Freisprecheinrichtung) bezieht sich
nur auf Mobilfunkbenutzer und auf öf-
fentliche Netze. Gemäß aktuellen deut-
schen Telekommunikationsgesetzen
zählen Benutzer von Betriebsfunksys-
temen wie auch Funkamateure nicht zu
diesem Personenkreis. Die StVO §23
Abs. 1a ist somit nicht auf Amateur-
funkgeräte anwendbar.

Abschlusstest

Nachdem Sie nun den Lehrgang Technik komplett bearbeitet haben, soll noch einmal ein
Test ihr Wissen prüfen. Es werden im Folgenden 100 Prüfungsfragen-Nummern angegeben,
die im Anhang 1 herausgesucht und noch einmal gelöst werden sollen. Schreiben Sie hier auf
der Seite die richtige Lösung (A, B, C oder D) hinter die Aufgaben-Nummer und prüfen Sie
danach die Richtigkeit, indem Sie die Lösungen im Anhang 2 nachschlagen. Sie dürfen die
Formelsammlung im Anhang 3 benutzen.

TA103	TC609	TF102	TH102
TA205	TD102	TF104	TH105
TB102	TD107	TF106	TH201
TB201	TD109	TF108	TH206
TB301	TD201	TF401	TH208
TB403	TD204	TF402	TH211
TB502	TD205	TF404	TH303
TB601	TD207	TF407	TH305
TB605	TD209	TF409	TH306
TB611	TD301	TG101	TH308
TB701	TD303	TG104	TH310
TB801	TD401	TG202	TH402
TB901	TD404	TG304	TJ109
TB905	TD501	TH102	TJ203
TB907	TD503	TH106	TJ205
TB910	TD602	TH109	TJ209
TC103	TD604	TH111	TK101
TC109	TD606	TH201	TK104
TC204	TE102	TH205	TK202
TC303	TE105	TH209	TK204
TC304	TE203	TH302	TK315
TC403	TE305	TH305	TL203
TC504	TE308	TH308	TL211
TC507	TE309	TH310	TL302
TC602	TE312	TH402	TL307

Richtige: _____ von 100

Benotung: Mehr als 74: bestanden, mehr als 84: gut, mehr als 94: sehr gut