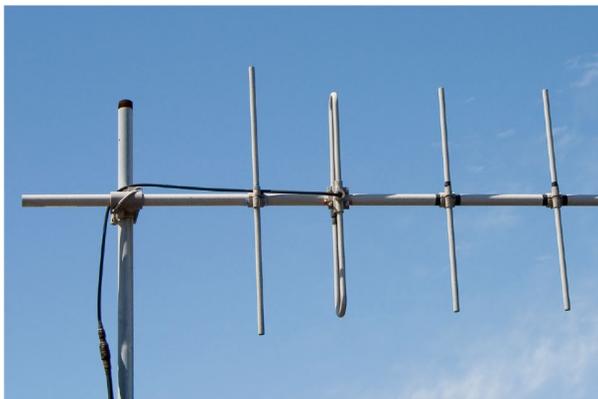
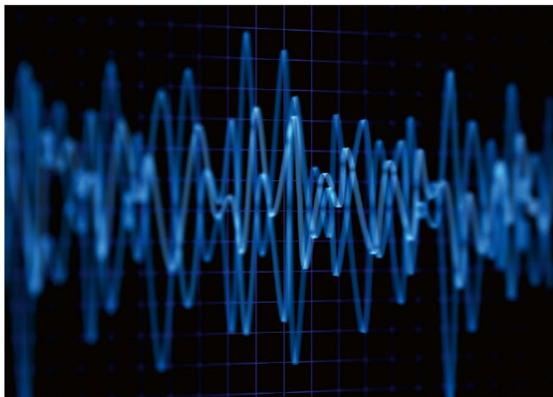


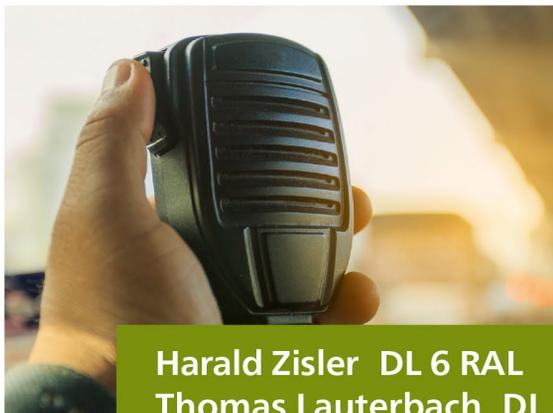
HAM RADIO · ERP · ANTENNENBAU

BETRIEBSART · DIGITALFUNK · MORSEN



SOFTWARE DEFINED RADIO · DARC

FREQUENZ · SENDER · MODULATION



Harald Zisler DL 6 RAL  
Thomas Lauterbach DL 1 NAW

# Amateurfunk

Das umfassende Handbuch

- ▶ Vom Software Defined Radio bis zur eigenen Funkstation
- ▶ Elektrotechnik, Digitalfunk, Antennen, Messtechnik, Störungen
- ▶ Technikwissen für Funkamateure: die Prüfungen N, E und A

3., aktualisierte und erweiterte Auflage

## Vorwort

Man sieht sie nicht, man spürt sie nicht und man hört sie nicht – und trotzdem existieren die Funkwellen.

*Funken* – das ist ein altes Wort für drahtlose Kommunikation. Was steckt dahinter? »Naja, da sind so Wellen ... die gehen irgendwo hin.«

Wie genau das funktioniert, erfahren Sie hier samt den physikalischen Grundlagen. Sie lernen, wann und warum überhaupt Strom fließt, welche Grundbauteile es gibt und wie man misst. Schließlich erfahren Sie einiges über die Grundlagen des Funkempfangs, der Sendetechnik und der Ausbreitung der Funkwellen. Sie erfahren aber auch einiges über den Amateurfunk.

Der Amateurfunk ist hierzulande die legale Möglichkeit, sich mit Sendetechnik zu befassen und ist eine sehr spannende Beschäftigung. Grund genug, diesen Funkdienst hier aus technischer Sicht ebenso genauer vorzustellen.

In früheren Zeiten nannte man Menschen, die sich in ihrer Freizeit mit Elektronik und Funktechnik befassten, *Radiobastler*. Heute führen diese Tradition die *Maker* fort, sie erkunden die technischen Möglichkeiten der modernen, auch rechnergestützten Elektronik. Funkamateure zählen zu ihnen.

Funkamateure betreiben aktiv Völkerverständigung. Dies geschieht in transparenter Weise. Jedermann darf den Gesprächen der Funkamateure zuhören. Bei den großen, überregionalen Veranstaltungen (z. B. HAM-Radio in Friedrichshafen) treffen sich oftmals die Gesprächspartner, die aus allen Ländern und Kontinenten stammen. Dabei lernt man sich noch besser kennen und schätzen. Im Äther ist es egal, woher jemand stammt und welchen Beruf man ausübt. Hier zählen nicht Alter, Hautfarbe, körperliche Einschränkungen, Geschlecht, sondern vor allem Fairness und freundliches Auftreten. Kommt noch eine kleine Portion technisches Verständnis hinzu, bewegt man sich schon sicher durch die Funkbänder.

Der Amateurfunk fasziniert seit Jahrzehnten die Menschen. Und trotz Handy und Internet ist in letzter Zeit das Interesse an dieser Freizeitbeschäftigung wieder stark gestiegen.

Es hat einen sehr hohen Reiz, »auf Sendung« zu gehen. Und dafür bietet der Amateurfunkdienst weltweit den legalen Rahmen für alle, die dies nicht beruflich dürfen.

Für viele Menschen öffnet die Beschäftigung mit der Funktechnik auch neue berufliche Möglichkeiten. Die im Amateurfunk gewonnenen technischen Kenntnisse helfen in vielen Fachgebieten weiter.

Der gesellschaftliche Stellenwert des Amateurfunks ist je nach Nation unterschiedlich. Es gibt Länder, in denen ist der Amateurfunkdienst mit seinen Teilnehmern

hoch angesehen und in Aufgaben der Daseinsvorsorge fest einbezogen wird. Im Katastrophenfall stellen diese Menschen dann lebenswichtige Nachrichtenverbindungen sicher – wenn Handy und Internet schon längst nicht mehr funktionieren. Auch hierzulande wurde dies von der Politik erkannt und es gibt entsprechende Rahmenvereinbarungen zwischen den Amateurfunkvereinigungen und den Ministerien.

Manche Funkamateure schaffen technische Neuentwicklungen, die später der Allgemeinheit zugutekommen. Das können z. B. neuartige digitale Übertragungsverfahren oder neue Antennenformen sein. Die Menschen hinter diesen Forschungsarbeiten und Erfindungen verfügen oft über viel Herzblut für ihr Projekt. Es gibt sogar die eine oder andere Hochtechnologiefirma, auch hier in Deutschland, die von Funkamateuren geleitet wird.

Sportliche Funkamateure nehmen an Peilwettbewerben teil. Hier müssen die durchtrainierten Läufer gut versteckte Kleinsender (»Füchse«) innerhalb kürzester Zeit im Gelände finden und dazu noch eine mehr oder weniger lange Strecke im Sprint zurücklegen.

Eine weitere Hochleistungsdisziplin bilden Telegrafiemeisterschaften. Hier kommt es auf gute Konzentration an. Rasend schnell gegebene Morsetexte müssen fehlerfrei mitgeschrieben werden.

Das wichtigste aber: Es macht verdammt viel Spaß zu funken! Man kann auf mehr oder weniger hohe Berge steigen und mit seiner kleinen, tragbaren Ausrüstung Kontakte in alle Welt herstellen! Sie können sich im kalten Novembernebel von zuhause aus mit einer Station im brasilianischen Busch über die jeweiligen Lebensumstände austauschen und so Ihre Fremdsprachenkenntnisse wieder reaktivieren! Sie können Antennen und Geräte aufbauen und diesen Erfolg genießen. Mithilfe des Computers kommunizieren Sie per Funk mit der ganzen Welt, und das sogar mit geringen Sendeleistungen und bei schlechter Empfangslage. In ganz besonderen Situationen können Sie sogar Menschenleben retten. Sie können spannende Experimente durchführen und die Gesetze der Physik selbst am Objekt erfahren! All dies gehört zum Amateurfunk - und schafft Freude!

### **Was dieses Buch leistet**

Dieses Buch führt Sie allgemein in die physikalischen und technischen Grundlagen der Funktechnik und des Amateurfunks ein. Dabei werden keine besonderen Vorkenntnisse vorausgesetzt. Sie erfahren, was es alles zu entdecken gibt. Das Buch steht als Bindeglied zwischen den Maker-Publikationen und der weiterführenden Fachliteratur. Zusätzlich soll es auch helfen, Funkamateuren auf dem Weg zur Prüfung zu unterstützen. Und nach der Prüfung geht es um die technischen Details der eigenen Funkstation.

In der 3. Auflage wurden die neuen Inhalte der Amateurfunkprüfungen berücksichtigt, die ab Juni 2024 gelten. Ein neues Kapitel zur Digitaltechnik wurde eingefügt, die Inhalte zum digitalen Amateurfunk überarbeitet und erweitert. Diese Beiträge wurden von Prof. Dr. Thomas Lauterbach, DL 1 NAW, erstellt.

Egal, ob Sie nun einfach verstehen möchten, was Funk überhaupt ist, oder das Buch als ergänzende Literatur zur Vorbereitung auf die Amateurfunkprüfung und der Zeit danach nutzen möchten, wünschen wir Ihnen viel Spaß mit der Beschäftigung dieses spannenden Bereichs.

Wir bedanken uns bei allen, die zum Gelingen dieses Werkes beigetragen haben, insbesondere bei Jörg Rippel, DJ 4 WD, Prof. Henrik Schulze, Dr. Matthias Zisler und Simon Braun, DL 6 SZ und Thomas Weller, DK 3 TU.

**Harald Zisler**, DL 6 RAL

Prof. Dr. **Thomas Lauterbach**, DL 1 NAW,

Freudenberg und Nürnberg, im Frühjahr 2024

## Geleitwort des DARC e. V.:

# Eine faszinierende Welt – der Amateurfunk

Als im frühen 20. Jahrhundert Menschen begannen, sich mit Funktechnik zu beschäftigen, haben sie noch nicht ahnen können, welchen Weg die Menschheit mit den frisch gewonnenen Erkenntnissen einschlagen würde. Die Zeit zeigte, dass die Funktechnik weit mehr ist, als sie nur rein kommerziell anzuwenden. So gab es schon immer Menschen, die auch privat von der Funktechnik in den Bann gezogen waren. Dieses Erbe bewahrt der Amateurfunkdienst bis in die heutige Zeit in einer einzigartigen Form. Grundlage ist das *Amateurfunkgesetz* (AFuG). Dieses Buch unterstreicht die Definition in § 1 Abs. 2. So wird der Amateurfunkdienst von »Funkamateuren untereinander, zu experimentellen und technisch-wissenschaftlichen Studien, zur eigenen Weiterbildung, zur Völkerverständigung und zur Unterstützung von Hilfsaktionen in Not- und Katastrophenfällen wahrgenommen«.

Wir freuen uns daher sehr, dass Harald Zisler mit diesem Buch allen eine hervorragende Hilfestellung bietet, die sich für den Amateurfunk interessieren und Teil unserer Gemeinschaft werden wollen. Er gibt Ihnen nicht nur einen ersten Einblick in die Funkpraxis, sondern geht auch ausführlich auf die technischen Grundlagen ein und vermittelt Ihnen das Wissen, mit dem Sie sich auf die Prüfungen vorbereiten können.

Doch Amateurfunk bietet viel mehr als nur eine rein technische Komponente. So werden Sie beim näheren Hinsehen feststellen, dass es auch eine gesellschaftliche und soziale Komponente gibt. Die Technik? Ganz klar, hier geht es um die Entwicklung und den Betrieb fortschrittlicher Sende- und Empfangstechnik. So waren es Funkamateure, die schon früh auf Software Defined Radio (SDR) gesetzt haben. Neuerdings steht Funkamateuren sogar ein geostationärer Satellit zur Verfügung, der einen Großteil unseres Planeten abdeckt. Große Teile Deutschlands sind zudem von einem breitbandigen Datennetz – dem HAMNET – auf Amateurfunkbasis durchzogen.

Die gesellschaftliche Komponente? Frequenzen sind ein hohes Gut. Ist eine Frequenz belegt, kann sie kein zweites Mal durch einen anderen Anwender oder Funkdienst verwendet werden. Und gerade in der heutigen Zeit, in der Kommunikation in all ihren Facetten förmlich exponentiell an Bedeutung gewinnt, wächst der Druck. Es werden immer mehr Frequenzbereiche für mobile Internetdienste, Inter-Fahrzeugkommunikation oder für künftige Lieferdrohnen-Dienste gebraucht. Für manches Industrieunternehmen sind verfügbare Frequenzen fast schon mit *Liquidität der Zukunft* gleichzusetzen. Nur: Wer schützt die international vereinbarten Amateurfunkfrequenzen vor diesem Bedarf?

Die soziale Komponente? Amateurfunk-Verbindungen geschehen zu einem Großteil zwischen Funkamateuren. Seltener findet eine Kommunikation ausschließlich mit

einer automatisch-arbeitenden Station statt. Hier interagieren letztlich also Menschen. Mehr noch, es sind Menschen mit den gleichen Interessen. Auf der ganzen Welt haben Funkamateure eine eigene Ausbildung und Prüfung durchlaufen, damit sie den Betrieb auf den Amateurfunkfrequenzen aufnehmen können.

Der Amateurfunkdienst ist also weit mehr als nur eine technische, gesellschaftliche und soziale Komponente. *Alle* diese Komponenten bedürfen der Förderung und Unterstützung. Genau hier setzt der Deutsche Amateur-Radio-Club (DARC) e. V. mit seiner Arbeit an.

Einem Funkamateurl als »Einzelkämpfer« ist besonders in heutigen Zeiten nicht damit gedient, wenn ihm durch industrielle Interessen seine Arbeitsgrundlage – die Amateurfunkfrequenzen oder zumindest Teilbereiche – abhandenkommen. Der DARC steht dazu in Kontakt mit der Verwaltung, Politik und Militär. Auch auf internationaler Ebene ist der DARC durch Mitgliedschaft in der Internationalen *Amateur Radio Union* (IARU) vernetzt. Oberstes Ziel ist die Erhaltung und sogar Fortentwicklung der Frequenzbereiche, die für den Amateurfunkdienst zur Verfügung stehen. Wurden noch in den 90er Jahren für das 6-m-Band (50 MHz) Betriebsgenehmigungen noch per Losverfahren von der deutschen Fernmeldebehörde unter einigen wenigen Funkamateuren vergeben, so steht das 6-m-Band durch die Lobbyarbeit den Funkamateuren nun stetig zur Verfügung. Weiteres Beispiel gefällig? Stichwort *Standortbescheinigung* – aufwendig und kostspielig zugleich. Uns Funkamateuren wird dank der guten Zusammenarbeit mit Politik und Telekommunikationsbehörde zugestanden, dass wir unsere Feldstärkewerte selbst ermitteln und innerhalb des BEMFV-Verfahrens wissenschaftlich erklären dürfen, um die gesetzlichen Vorgaben einzuhalten – kostenlos!

Der DARC will einzelne Funkamateure aber auch in sozialer Hinsicht unterstützen. Der Deutsche Amateur-Radio-Club gliedert sich in seine 24 Landesverbände (»Distrikte«) und diese wiederum in über 1000 Ortsverbände. Ein Ortsverband ist also sicher auch in Ihrer Nähe. Für gewöhnlich treffen sich die Mitglieder vor Ort, um sich über Neuigkeiten auszutauschen, Fachwissen zu vertiefen oder sich in Vorträgen fortzubilden. Wir bringen Gleichgesinnte zusammen. Und auch der persönliche Eindruck eines Gegenübers lässt nicht selten Freundschaften entstehen, innerhalb derer der Amateurfunkdienst gemeinsam viel mehr Spaß bereitet.

Nur eine Mitgliedschaft im Deutschen Amateur-Radio-Club (DARC) e. V. kann die Gemeinschaft der Funkamateure nachhaltig stärken, damit auch in Zukunft die wichtige Arbeitsgrundlage der Amateurfunkfrequenzen und die Vielfalt der dortigen Gesprächspartner erhalten bleibt. Lassen Sie uns gemeinsam die technische, gesellschaftliche und soziale Komponente des Amateurfunks stärken! 35000 Mitglieder haben sich dafür entschieden – Sie auch?

**Deutscher Amateur Radio-Club (DARC) e. V.**  
[www.darc.de](http://www.darc.de)

# Kapitel 1

## Erlebnis Amateurfunk

Hören, Sprechen, Morsen, Schreiben, Löten – das ist die große Welt des Amateurfunks. In diesem Kapitel finden Sie in erster Linie einen sehr kompakten Überblick über den Funkbetrieb. Falls Sie noch keinerlei Berührung mit dem Amateurfunk haben, so hilft dieses Kapitel Ihnen, beim Empfang von Amateurfunkstationen das Gehörte oder zu Lesende zu verstehen. Sollten Sie schon einige Kenntnisse besitzen, überspringen Sie dieses einführende Kapitel einfach.

Die jeweiligen Fernmeldebehörden halten auf ihren Internetseiten weitere Informationen zu gesetzlichen Bestimmungen und gegebenenfalls auch zu Prüfungsinhalten für die Amateurfunkprüfung bereit:

- ▶ **Deutschland:** Bundesnetzagentur, <https://www.bundesnetzagentur.de>
- ▶ **Österreich:** Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), <https://www.bmvit.gv.at>
- ▶ **Schweiz:** Bundesamt für Kommunikation BAKOM, <https://www.bakom.admin.ch>

Auch die Amateurfunkvereinigungen DARC (Deutschland), ÖVSV (Österreich) und USKA (Schweiz) informieren interessierte Einsteiger und Einsteigerinnen und helfen ihnen auf dem Weg zum Funkamateurl.

### Amateurfunklizenz

Für eine aktive Teilnahme am Amateurfunkdienst benötigen Sie in jedem Fall eine amtliche Genehmigung, die *Amateurfunklizenz*.



## 1.1 Amateurfunk, Freenet, PMR und CB-Funk

Oftmals werden die vier Bereiche Amateurfunk, Freenet, PMR und CB-Funk oberflächlich als »Hobbyfunk« bezeichnet. Doch es gibt erhebliche Unterschiede (siehe Tabelle 1.1). Funkamateure dürfen ihre Geräte selbst bauen oder Industriegeräte entsprechend ihren Wünschen modifizieren. Für die Einhaltung der technischen Vorschriften sind sie selbst verantwortlich, sie sind dazu aber auch in der Lage. Alle anderen »Hobbyfunker« dürfen drauflosfunken, aber keinesfalls ein Gerät verändern, da sonst dessen Zulassung verfällt.

Bereich	Hinweise
Amateurfunk	»Richtiger« Funkdienst (wie auch Seefunk, Flugfunk usw.) im Sinne international gültiger Vorschriften. Zur aktiven Teilnahme (Sendetrieb) werden das Bestehen des Amateurfunkzeugnisses und die Zuteilung eines weltweit einmaligen Rufzeichens vorausgesetzt. Mit-hören hingegen darf jeder. Amateurfunksendungen sind »an alle« gerichtet. Funkamateure unterstützen oftmals in Katastrophenfällen die Hilfsorganisationen.
Freenet	Analoger und digitaler Sprechfunk für jedermann nahe 150 MHz. Nur in Deutschland zugelassen. Geräte müssen ein Prüfzeichen tragen, Gebühren fallen nicht an.
PMR	Analoger und digitaler Sprechfunk um 446 MHz für jedermann. Mehr oder weniger europaweit zugelassen, in Deutschland gebührenfrei, Geräte müssen ein Prüfzeichen tragen.
CB-Funk	Analoger Sprechfunk (AM, FM, SSB) sowie digitale Übertragung von Daten im 27-MHz-Bereich für jedermann. Europaweit zugelassen, in Deutschland gebührenfrei, Geräte müssen ein Prüfzeichen tragen.

Tabelle 1.1 Übersicht der Funkmöglichkeiten

## 1.2 Funken?

»Es blitzt doch gar nicht ...« Zumindest in der heutigen Zeit nicht mehr. Der Begriff stammt aus der Urzeit der Funktechnik, in der man aus kräftigen Funken noch die gewünschte Frequenz herausgefiltert und an die Antenne gegeben hatte.

Heutzutage wird die Information (Sprache, Bilder, Daten ...) mit einem hochfrequenten Signal gemischt. Das Mischsignal wird verstärkt und über die Antenne abgestrahlt. Beim Empfang wird das Trägersignal aus dem Mischsignal wieder entfernt, und übrig bleibt die Information (siehe Abbildung 1.1).

Sie können dieses Prinzip mit dem klassischen Brief vergleichen. Das Briefblatt als solches können Sie nicht versenden, sondern Sie stecken es in einen Briefumschlag. Der Briefumschlag transportiert die Information. Der Empfänger entnimmt das Blatt aus dem Umschlag und kann die Information nun lesen.

Sprache, digitale Informationen, Bilder usw. werden in Form eines *niederfrequenten* Signals (»Tonsignal«) dem Sender zugeführt. Damit wird ein *hochfrequentes* Signal geformt. Diesen Vorgang nennt man *Modulation*.

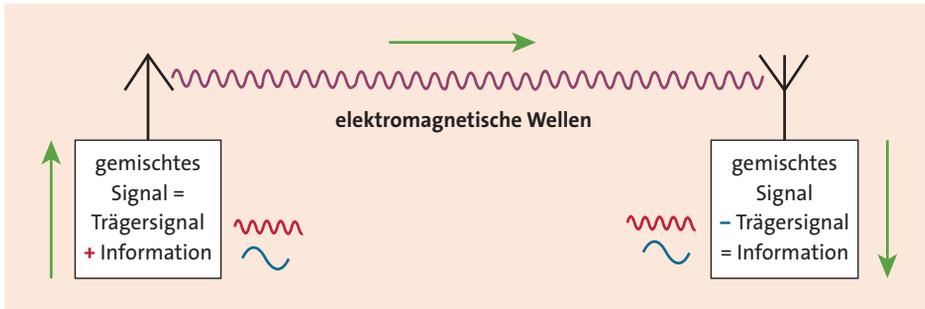


Abbildung 1.1 Das Prinzip der Funkübertragung

Aus der Modulation ergibt sich die Sendart. Bekannt sind die *Amplitudenmodulation* (AM) für die (noch verbliebenen) Rundfunksender auf Lang-, Mittel- und Kurzwelle und für den Flugfunk. Die Funkamateure verwenden die *Einseitenbandmodulation* (SSB, *Single Sideband*), die für Sprechfunk sehr effektiv ist. Die *Frequenzmodulation* (FM) kennen Sie sicher vom UKW-Radio. Funkamateure verwenden diese gerne für den Nahbereich.

Die Sendarten der digitalen Informationsübertragung ermöglichen weitgehend störungsfreie Übertragungen, auch bei schlechten Ausbreitungsverhältnissen und Störungen.

Das hochfrequente Mischprodukt wird gegebenenfalls noch vervielfacht oder mit einem weiteren Hochfrequenzträger gemischt, bis es die für die Übertragung notwendige *Frequenz* aufweist. Die Frequenz wird in Hertz (Hz, nach Heinrich Hertz) bzw. einem Vielfachen davon (Kilohertz, Megahertz, Gigahertz) angegeben. Eine vollständige Schwingung in einer Sekunde ist ein Hertz!

Abhängig von der Frequenz ist auch die *Wellenlänge*. Diese ist umso kürzer, je höher die Frequenz ist.

Von der Wellenlänge hängen die Baumaße einer Antenne und auch die Ausbreitungsmöglichkeiten der Funkwellen ab. Die Frequenzbereiche werden als *Bänder* bezeichnet. Dabei kann sowohl die Angabe einer Frequenz als auch die Wellenlänge verwendet werden.

Beispiel: Mit »40-m-Band« oder »7-MHz-Band« ist jeweils der gleiche Bereich angesprochen.

### 1.3 Funkern zugehört

Gleich vorneweg: Jedermann darf den Funkamateuren zuhören, auch ohne Amateurfunklizenz. Die Funker wickeln ihren Funkverkehr in offener Sprache ab. Das ist eine der gesetzlichen Bedingungen, die mehr oder weniger weltweit erfüllt werden müs-

sen. Mit *offener Sprache* ist gemeint, dass die Sprache als solche nicht verschlüsselt wird und der Inhalt der Nachrichten keine geheimen Informationen enthält. Das Gleiche gilt für die Morsetelegrafie und die digitalen Übertragungsverfahren. Letztere können und dürfen ebenso »mitgelesen« werden.

Wenn Sie den Funkamateuren zuhören, gehören Sie damit bereits zur Amateurfunkgemeinde. Sie sind dann ein(e) SWL (*Short Wave Listener*). Damit werden seit vielen Jahrzehnten die »Höramateure« bezeichnet.

Hört man das erste Mal einem Gespräch zwischen Funkern zu, vernimmt man neben den jeweils weltweit einmaligen *Rufzeichen* der Beteiligten geheimnisvoll klingende Abkürzungen. Diese stammen noch aus der Zeit, als es gar keinen oder sehr wenig Sprechfunk gab. Sie wurden aber, da sie international verbindlich und verständlich sind, auch abseits der Morsetelegrafie übernommen. Und so sprechen Funker nicht von einem Funkkontakt, sondern von einem *QSO*. Ein Funker hat einen Standort, den oder das *QTH*. Die Qualität des Empfangs wird der jeweiligen Gegenstelle mittels zwei oder drei Ziffern mitgeteilt (*Rapport*).

### 1.3.1 Buchstabieren

Besonders für Rufzeichen ist die Verwendung des in den *Radio Regulations* (RR, vormals *VO Funk*) definierten Buchstabieralphabets verbindlich. Dies gilt nicht nur für den Amateurfunkdienst, sondern auch für den Flug- und Seefunk. Tabelle 1.2 zeigt Ihnen das jeweilige Zeichenwort und dessen Aussprache. Damit wird beim Sprechfunk eine internationale Verständigung leichter.

Zeichen	Zeichenwort	Aussprache/BETONUNG
A	Alfa	AL fah
B	Bravo	BRA vo
C	Charlie	TSCHAR li
D	Delta	DEL ta
E	Echo	ECK o
F	Foxtrott	FOX tritt
G	Golf	GOLF

**Tabelle 1.2** Das internationale Buchstabieralphabet

Zeichen	Zeichenwort	Aussprache/BETONUNG
H	Hotel	ho TELL
I	India	IN di ah
J	Juliett	DSCHUH li ETT
K	Kilo	KI lo
L	Lima	LI ma
M	Mike	MEIK
N	November	no WEMM ber
O	Oscar	OSS kar
P	Papa	pa PAH
Q	Quebec	KI beck
R	Romeo	RO mio
S	Sierra	ssi ER rah
T	Tango	TAN go
U	Uniform	JU ni form
V	Victor	WICK tor
W	Wiskey	WISS ki
X	X-Ray	EX reh
Y	Yankee	JENG ki
Z	Zulu	SUH luh

**Tabelle 1.2** Das internationale Buchstabieralphabet (Forts.)

Das internationale Buchstabieralphabet verwendet dabei Wörter mit eindeutigem Klangbild, sodass Fehler oder Verwechslungen kaum möglich sind. Trotzdem kommen diese in der Praxis natürlich vor.

### 1.3.2 Q-Gruppen

Die *Q-Gruppen* (siehe Tabelle 1.3) sind für die »sprachlosen« Sendearten vorgesehen: von der klassischen Morsetelegrafie bis hin zu diversen digitalen Textübertragungen. Für den Sprechfunk *sollen* sie nicht zum Einsatz kommen, in der Praxis werden sie jedoch hin und wieder zu hören sein. Manchmal helfen sie, dass die beteiligten Funker sich bei Sprachproblemen besser verständigen können.

Für den Amateurfunkdienst sind die Q-Gruppen QRA bis QUZ vorgesehen. Sie sind in den Radio Regulations (RR, vormals VO Funk) verbindlich festgeschrieben. Eine Q-Gruppe kann eine Aussage oder, zusammen mit einem Fragezeichen, eine Frage einleiten.

Q-Gruppe	Bedeutung	Q-Gruppe?	Bedeutung
QRA	Der Name meiner Funkstelle ist ...	QRA?	Wie ist der Name Ihrer Funkstelle?
QRB	Die Entfernung zwischen unseren Funkstellen beträgt ca. Kilometer/Meilen/Seemeilen.	QRB?	Wie weit ist Ihre Funkstelle von meiner entfernt?
QRC	Ihre genaue Frequenz/die genaue Frequenz von ... ist kHz bzw. MHz.	QRC?	Bitte teilen Sie mir meine genaue Frequenz/die genaue Frequenz von ... mit.
QRH	Ihre Frequenz schwankt.	QRH?	Schwankt meine Frequenz?
QRI	Der Ton Ihrer Aussendung ist: 1 gut 2 veränderlich 3 schlecht	QRI?	Wie ist der Ton meiner Aussendung?
QRK	Die Verständlichkeit Ihrer Zeichen/der Zeichen von ... ist: 1 schlecht 2 mangelhaft 3 ausreichend 4 gut 5 ausgezeichnet	QRK?	Wie ist die Verständlichkeit meiner Zeichen/der Zeichen von ...?
QRL	Ich bin beschäftigt, bitte nicht stören.	QRL?	Sind Sie beschäftigt?

Tabelle 1.3 Q-Gruppen

Q-Gruppe	Bedeutung	Q-Gruppe?	Bedeutung
QRM	Ich werde gestört/ich werde 1 nicht 2 schwach 3 mäßig 4 stark 5 sehr stark gestört.	QRM?	Werden Sie gestört?
QRN	Ich werde durch atmosphärische Störungen beeinträchtigt/ich werde 1 nicht 2 schwach 3 mäßig 4 stark 5 sehr stark durch atmosphärische Störungen beeinträchtigt.	QRN?	Werden Sie durch atmosphärische Störungen beeinträchtigt?
QRO	Erhöhen Sie die Sendeleistung.	QRO?	Soll ich die Sendeleistung erhöhen?
QRP	Vermindern Sie Ihre Sendeleistung.	QRP?	Soll ich die Sendeleistung vermindern?
QRS	Geben Sie langsamer (... Wörter je Minute).	QRS?	Soll ich langsamer geben?
QRT	Stellen Sie die Übermittlung ein!	QRT?	Soll ich die Übermittlung einstellen?
QRU	Ich habe nichts für Sie (vorliegen).	QRU?	Haben Sie etwas für mich (vorliegen)?
QRV	Ich bin bereit.	QRV?	Sind Sie bereit?
QRX	Ich werde Sie um ... Uhr (auf Frequenz in kHz/MHz) wieder rufen.	QRX?	Wann werden Sie mich wieder rufen?
QRZ	Sie werden von ... (auf ... kHz oder MHz) gerufen.	QRZ?	Von wem werde ich gerufen?

Tabelle 1.3 Q-Gruppen (Forts.)

Q-Gruppe	Bedeutung	Q-Gruppe?	Bedeutung
QSA	Ihre Zeichen/die Zeichen von ... sind 1 kaum 2 schwach 3 ziemlich gut 4 gut 5 sehr gut hörbar.	QSA?	Wie ist die Stärke meiner Zeichen?
QSB	Die Stärke Ihrer Zeichen schwankt.	QSB?	Schwankt die Stärke meiner Zeichen?
QSD	Ihre Zeichen sind verstümmelt!	QSD?	Sind meine Zeichen verstümmelt?
QSK	Ich kann zwischen meinen Zeichen hören, Sie dürfen mich während meiner Übermittlung unterbrechen.	QSK?	Können Sie mich zwischen Ihren Zeichen hören? Wenn ja, darf ich Sie unterbrechen?
QSL	Ich gebe Ihnen Empfangsbestätigung.	QSL?	Können Sie mir Empfangsbestätigung geben?
QSO	Ich kann mit ... unmittelbar (oder durch Vermittlung von ... ) verkehren.	QSO?	Können Sie mit ... unmittelbar (oder durch Vermittlung von .... ) verkehren?
QSP	Ich werde an ... vermitteln.	QSP?	Wollen Sie an ... vermitteln?
QSV	Senden Sie eine Reihe V auf dieser Frequenz (oder auf ... kHz/MHz).	QSV?	Soll ich eine Reihe V auf dieser Frequenz (oder auf ... kHz/MHz) senden?
QSX	Ich höre ... (Name/Rufzeichen) auf (Frequenz/Kanal/Band).	QSX?	Wollen Sie (Name/Rufzeichen) auf (Frequenz/Kanal/Band) hören?
QSY	Gehen Sie zum Senden auf eine andere Frequenz über (oder auf ... kHz/MHz).	QSY?	Soll ich zum Senden auf eine andere Frequenz übergehen?

Tabelle 1.3 Q-Gruppen (Forts.)

Q-Gruppe	Bedeutung	Q-Gruppe?	Bedeutung
QTC	Ich habe ... Meldungen für Sie/ für ...	QTC?	Wie viele Meldungen haben Sie für mich?
QTF	Ihre Position war nach den Peilungen meiner Funkstellen ... (Lage/evtl. mit Uhrzeit).	QTF?	Wollen Sie mir meine Position nach den Peilungen Ihrer Funkstellen angeben?
QTH	Mein Standort ist ... (Ort/Locator/Breite + Länge)	QTH?	Welches ist Ihr Standort (Ort/Locator/Breite + Länge)?
QTR	Es ist genau ... Uhr (Zeitzone).	QTR?	Welches ist die genaue Uhrzeit?

Tabelle 1.3 Q-Gruppen (Forts.)

### Q-Gruppen im Alltag

Einige Q-Gruppen werden, obwohl sie eigentlich der Morsetelegrafie und weiteren diversen analogen und digitalen Textübertragungen vorbehalten sind, im Sprechfunk und ganz allgemein auch in persönlichen Gesprächen verwendet:

- ▶ **QSL:** Hier wird oft auf die QSL-Karte Bezug genommen, mit der eine Funkverbindung schriftlich oder elektronisch bestätigt wird.
- ▶ **QRP:** Wird im Zusammenhang mit Funkgeräten verwendet, die mit 5 Watt Senderausgangsleistung in Telegrafie oder 10 Watt in SSB oder weniger senden. Hier tummeln sich Selbstbauer, Funker mit tragbaren Geräten auf Bergen oder auf hoher See sowie Minimalisten.
- ▶ **QRL:** Hier wird, oft in Morsezeichen, gefragt, ob eine vermeintlich freie Frequenz wirklich auch frei ist, bevor man mit einem (allgemeinen) Anruf beginnt. Gilt aber auch als Synonym für den Arbeitsplatz.
- ▶ **QSY:** Selten wird hier eine vollständige Frequenzangabe verwendet, gebräuchlich ist bei schwierigen Situationen die Angabe (meist in kHz) der Abweichung von der aktuellen Arbeitsfrequenz, z. B. »QSY 20 up«.

Einige Q-Gruppen sind notwendig, um Sende- und Empfangssituationen besser beurteilen zu können oder zu verbessern:

- ▶ **QSD:** Für Selbstbauer und Restaurateure von historischen Funkgeräten ist diese Frage oder der Hinweis darauf von Bedeutung. Schließlich soll der Sender ein möglichst kristallklares, unzerhacktes Signal liefern.



- ▶ **QSB:** Schwankt das Signal, kann es notwendig sein, die Funkverbindung noch »anständig und geregelt« fertig abzuwickeln. Schwankende Signale treten auf Kurzwelle durch verschiedene physikalische Phänomene oft auf, aber beispielsweise auch beim Funkbetrieb von Fahrzeugen aus.
- ▶ **QSV:** Eine Reihe »V«, die per Morsetelegrafie gegeben wird, hilft dem Gegenüber, seinen Empfänger besser abzustimmen oder gegebenenfalls eine Richtantenne passend auszurichten. Beim Senden kann man die Arbeitsweise des Funkgeräts und der Antenne samt Zubehör damit überprüfen.

### 1.3.3 Weitere betriebliche Abkürzungen

Es gibt noch eine große Anzahl betrieblicher Abkürzungen außerhalb der Q-Gruppen. Diese entstanden in der Zeit, in der die Morsetelegrafie (nun Weltkulturerbe!) noch die vorherrschende Art der Kommunikation war. Tabelle 1.4 zeigt einige gebräuchliche Abkürzungen, wie sie z. B. auch bei der Gerätebedienung auftauchen können.

Abkürzung	Bedeutung
ANT	Antenne
RX	Empfänger, Empfang
TX	Sender, Sendung
TRX	Transceiver, Sendeempfänger, Funkgerät
PWR	Power, Leistung
AF	Audiofrequenz (meist Lautstärkeregler)
RF	Radiofrequenz (Verstärker, regelt die Hochfrequenzverstärkung eines Empfängers.)
ATT	Attenuator, Abschwächer (Der Empfänger wird unempfindlicher, Störungen durch zu viele starke Signale gehen zurück.)
GND	Erdung
PSE	Bitte
TNX	Danke

Tabelle 1.4 Auswahl von Abkürzungen

### 1.3.4 Rufzeichen

Anhand des Rufzeichens erkennen Sie das Heimatland der Amateurfunkstation. Die Rufzeichen gliedern sich in den *Landeskennner*, gefolgt von mindestens einer Zahl und dem Suffix. Die Landeskennner sind weltweit festgeschrieben. Für Deutschland beginnen die Rufzeichen mit DA, DB, DC, DD, DF, DG, DH, DJ, DK, DL, DM, DN und DO. DP steht für exterritoriale Stationen, z. B. Forschungseinrichtungen in der Antarktis.

Die Nachbarländer im Uhrzeigersinn:

- ▶ HB9: Schweiz
- ▶ F: Frankreich
- ▶ LX: Luxemburg
- ▶ ON: Belgien
- ▶ PA: Niederlande
- ▶ OZ: Dänemark
- ▶ SP: Polen
- ▶ OK: Tschechien
- ▶ OE: Österreich

### 1.3.5 Was hört man?

Begegnen sich zwei »fremde« Stationsbetreiber auf einem Funkband, tauschen diese zumindest ihre Vornamen, Standorte, Empfangsrapporte, Hinweise auf die verwendete Station und Antenne und Vereinszugehörigkeit aus. Natürlich kann daraus auch hier ein längeres Gespräch mit Allerweltsthemen entstehen, wie es zwischen Funkern, die sich (persönlich) kennen, oder in den »Klönrrunden« geschieht. In diesen Runden treffen sich meist die gleichen Menschen, um sich auszutauschen. Einige davon setzen auf Gemeinsamkeiten der Teilnehmer: Camper, Bergsteiger, Segler, Mitarbeiter von Großunternehmen oder sogar Geistliche.

Empfangen Sie die Teilnehmer eines Funkwettbewerbs, hören Sie recht knappe, hektisch ablaufende Verbindungen. Rufzeichen, Rapport und Punkte, vielleicht noch den Namen oder ein weiteres, im jeweiligen *Contest* gefordertes Detail werden übermittelt – und schon wird wieder die nächste Station gerufen. In diesen Wettbewerben kommt es meist darauf an, so viele Stationen wie möglich zu erreichen. Welche Gegenstellen interessant sind, regelt die jeweilige Contestausschreibung. Mal geht es um Stationen mit geringer Sendeleistung (*QRP*), mal um Leuchttürme, Inseln, Berge, Regionen, Städte, Jubiläen oder andere Anlässe. Jedenfalls sind Contests eine gute Übung für Ausdauer, Genauigkeit und vor allem für Notfunksituationen.

Funkamateure kommunizieren aber auch mit modernster Digitaltechnik. Sie beherrschen Übertragungsverfahren mittels schwächster Signale, die man selbst aus dem

Rauschen nicht mehr wahrnimmt, wohl aber der Computer. Zudem führen verschiedene Arten digitaler Sprachübertragung zu neuen Verbindungsmöglichkeiten.

## 1.4 Funkübertragung

Vor dem ersten Empfangserlebnis benötigen Sie Informationen darüber, wo Sie im ganzen Wellensalat die Aussendungen der Funkamateure finden.

Die Amateurfunkbereiche sind international zugewiesen. Zudem gibt es verschiedene Übertragungsverfahren (Sendart, *Mode*) für Sprache und Daten. Auch dies müssen Sie bei Ihren Empfangsversuchen berücksichtigen. Tabelle 1.5 zeigt Ihnen eine Auswahl der am meisten verwendeten analogen Sendarten.

Sendart	Hinweise
Sprechfunk: AM	<i>Amplitudenmodulation</i> , im Amateurfunk nicht mehr gebräuchlich
Sprechfunk: FM	<i>Frequenzmodulation</i> , ab dem 10-m-Band
Sprechfunk: SSB/LSB/USB	Einseitenbandmodulation ( <i>Single Sideband/Lower Sideband/Upper Sideband</i> ), effektive Sendart, auf fast allen Bändern eingesetzt
Morsen: CW	Morsetelegrafie ( <i>Continuous Wave</i> ), ein Weltkulturerbe

**Tabelle 1.5** Einige im Amateurfunkdienst verwendete analoge Sendarten

Die Modulationsart *AM* wird noch vom Flug- und CB-Funk sowie den Rundfunksendern (Lang-, Mittel- und Kurzwelle) verwendet.

Bei *FM* ist hier die Schmalbandversion gemeint. Breitbandiges FM senden die UKW-Rundfunksender. Für den Sprechfunk aber werden keine Stereokanäle benötigt. Im Gegensatz zu *AM* wird bei *FM* der Frequenzversatz des Signals durch die Sprache bestimmt. Der Empfänger benötigt einen entsprechenden Demodulator. *FM* wird im Sprechfunk auch vom Betriebsfunk, (immer noch) von Rettungsdiensten und »Organisationen mit Sicherheitsaufgaben« genutzt. Auch der CB-Funk und die anderen lizenzfreien Anwendungen (Freenet, PMR und LPD) verwenden *FM*.

Bei *SSB* (*Single Sideband*) wird dem *AM*-Signal der Träger und ein Seitenband genommen. Dies bedeutet bei gleicher Sendeleistung die (rechnerisch) vierfache Reichweite. Das dadurch schmalbandigere Signal ist damit auch über große Entfernungen meist noch gut hörbar. Beim Senden wird erheblich an Energie eingespart. Die Stromaufnahme ist direkt von der Sprache oder dem anderen eingespeisten Signal abhängig.

Bis 10 MHz wird das untere Seitenband (*Lower Sideband, LSB*), bei Frequenzen darüber das obere (*Upper Sideband, USB*) abgestrahlt. Wenn Sie das erste Mal diese Signale hören, werden Sie vielleicht durch die »Micky-Maus-Stimmen« irritiert sein. Stimmen Sie in ganz feinen Schritten ab, bis die Stimme natürlich klingt.

CW (Morsetelegrafie) gehört mittlerweile zum Weltkulturerbe. Seit 2003 ist die Pflicht zur Morseprüfung im Amateurfunk entfallen. Viele Funkamateure benutzen diese technisch sehr einfache Sendart weiterhin; auch für diverse militärische Dienste wird sie verwendet. CW hat den Vorteil, auch bei sehr geringen Sendeleistungen eine brauchbare Reichweite zu erzielen. Zudem lassen sich die Sendungen auch bei einer Vielzahl atmosphärischer und technischer Empfangsstörungen immer noch mitschreiben.

Für die Wiedergabe von digitalen Aussendungen der Funkamateure benötigen Sie zusätzlich zum Empfänger einen PC (Linux, macOS, Windows) mit einem entsprechenden Programm, wie z. B. dem Paket WSJT. Damit nehmen Sie dann auch Stationen wahr, die für das menschliche Ohr bereits »unter der Grasnarbe« liegen. Allerdings bedeutet dies für Sie zunächst zusätzliche Einarbeitung in die Bedienung und auch in die betrieblichen Abkürzungen, um das Gelesene zu verstehen. Darüber hinaus lassen sich auch die Faxsendungen und klassisches Funkfern schreiben der Funkamateure mit digitalen Hilfsmitteln mitlesen.

### Grundbegriffe der Übertragungstechnik

*Modulationsart:* Beschreibt die Art und Beschaffenheit des gesendeten Signals; Beispiel: Amplitudenmodulation (AM), bei der die Amplitude des Trägersignals entsprechend der Information variiert wird.

*Sendart:* Bezeichnung gemäß den Radio Regulations, ein internationales Abkommen, das die Verwendung des Funkspektrums regelt; Beispiel: A1A für Morsetelegrafie

*Betriebsart:* Bezeichnet eine Funkanwendung; Beispiel: Morsetelegrafie (CW), digitale Zeichenübertragung (FT8, PSK31 ...), jede Betriebsart hat spezifische Regeln und Verfahren für die Kommunikation

Die Sendarten werden gemäß *APPENDIX 1 (REV.WRC-19), Classification of emissions and necessary bandwidths*, der Radio Regulations mit einem Code gekennzeichnet. Die ersten vier der neun Stellen beschreiben die Bandbreite, die nächsten drei Stellen kennzeichnen die Sendart als solche, und die restlichen Stellen definieren weitere Einzelheiten des Signals.

Für den Amateurfunk genügen die Stellen 5 bis 7.

Tabelle 1.6 zeigt Ihnen den Aufbau des Sendarten-Schlüssels.



Modulationsart	Code	Signalart für Modulation des Hauptträgers	Code	Übertragene Informationen, Betriebsart	Code
unmodulierter Träger	N	kein moduliertes Signal	0	keine Information	N
Zweiseitenband-Amplitudenmodulation	A	ein Kanal mit quantisierter oder digitalisierter Information ohne modulierten Hilfsträger	1	Morsetelegrafie (CW)	A
Restseitenband	C	ein Kanal mit quantisierter oder digitaler Information mit moduliertem Hilfsträger	2	Funkfern schreiben (RTTY)	B
Einseitenband (SSB)	J	ein Kanal mit analoger Information	3	Faksimile (FAX)	C
Frequenzmodulation	F			Datenübertragung, auch Fernsteuerung	D
Pulsmodulation	P			Sprechfunk	E
				Fernseh- und Videoübertragung	F

**Tabelle 1.6** Bezeichnung von Aussendungen, Sendarten

Der Bandbreitenbedarf steigt in der Regel auch mit der Menge der übertragenen Information. Tabelle 1.7 gibt Ihnen einen Überblick über die wichtigsten Betriebsarten und die typischen Bandbreiten.

Betriebsart	Sendart	Typ. Bandbreite
CW (Morsen)	A1A	bis 500 Hz
SSB-Sprechfunk	J3E	2.400 Hz
FM-Sprechfunk	F3E	12 kHz

**Tabelle 1.7** Bandbreitenbedarf ausgewählter Betriebsarten

Betriebsart	Sendart	Typ. Bandbreite
FT-8-Datenübertragung	J3D	50 Hz
AM-Sprechfunk	A3E	5 kHz

**Tabelle 1.7** Bandbreitenbedarf ausgewählter Betriebsarten (Forts.)

Für die Bandpläne, die von den Dachverbänden der Amateurfunkvereinigungen aufgestellt werden, werden einige Betriebsarten unter dem Begriff *MGM* (*Machine Generated Mode*) zusammengefasst (siehe Tabelle 1.8).

Betriebsartkürzel	Betriebsart
SSTV	Slow Scan Television (Standbildübertragung)
AMTOR	Amateur Teleprinting over Radio
PACKTOR	Packet Teleprinting over Radio
PSK	Phase Shift Keying
RTTY	Radio Teletyping

**Tabelle 1.8** Einige MGM-Betriebsarten

Die dem Amateurfunkdienst international zugewiesenen Frequenzabschnitte (Bänder) sind in verschiedene Nutzungsbereiche unterteilt. Die jeweilige Bandbreite der Sendart ist dabei das Kriterium. So liegt am unteren Bereich stets der Telegrafiebereich (CW), gefolgt von anderen Sendarten, die keine Sprache übertragen. Anschließend folgt bei fast allen Bändern SSB, beim 10-m-Band gibt es am oberen Ende noch einen Bereich für FM. Alle Bänder im UKW- und UHF-Bereich unterliegen der gleichen Systematik.

Die Amateurfunkbänder verfügen über unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen. Wellenlänge, Sonnentätigkeit, Wetter und auch die Tageszeit entscheiden bei einigen Bereichen darüber, ob es hier etwas zu hören gibt.

In Tabelle 1.9 finden Sie einige Frequenzbereiche des Amateurfunks aufgelistet. Dabei handelt es sich um Bereiche, auf denen unabhängig von den Ausbreitungsbedingungen immer mit Empfang zu rechnen ist.

Band	Frequenzbereich	Hörbarkeit
80 m	3,500–3,800 MHz	überwiegend nachts, Europa, zum Teil weltweit
40 m	7,000–7,200 MHz	ganztägig, Europa und weltweit
20 m	14,000–14,350 MHz	fast ganztägig, Europa und weltweit
2 m	144,000–146,000 MHz	ganztägig, Deutschland, gegebenenfalls Nachbarländer
70 cm	430,000–440,000 MHz	ganztägig, Deutschland, gegebenenfalls Nachbarländer

Tabelle 1.9 Frequenzbereiche im Amateurfunk

## 1.5 Amateurfunk mithören

In die Welt des Amateurfunks können Sie einfach durch Mithören des Funkverkehrs hineinschnuppern. Anschließend können Sie vielleicht einige Funker in Ihrem Umkreis kennenlernen, um dann irgendwann zu entscheiden, ob Sie vielleicht auch einmal senden möchten.

### 1.5.1 SDR-Empfang per Internet

So einfach mal »reinhören« funktioniert auch über das Internet. Moderne digitale Empfänger (*Software Defined Radio, SDR*) lassen sich auch an IP-Netzwerke anschließen und darüber fernsteuern. Eine entsprechende Abfrage bei der Internet-Suchmaschine Ihrer Wahl wird Ihnen viele Ergebnisse bringen. Auch <http://www.websdr.org/> ist eine gute Anlaufadresse zu diesem Thema.

Einen bekannten Vertreter hiervon finden Sie unter <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901> (für mobile Geräte unter <http://websdr.ewi.utwente.nl:8901/m.html>). Diese Empfangseinrichtung wird vom Verein der *Experimentele Telecommunicatie Groep Drienerlo* (ETGD) betrieben. Die Mitglieder kommen aus der Studentenschaft und den Mitarbeitern der Universität Twente und beschäftigen sich mit Elektronik und Amateurfunk. Mehr darüber finden Sie unter <http://www.etgd.utwente.nl/>.

Um das Webinterface des Empfängers bedienen zu können, benötigen Sie anfangs ein klein wenig Grundwissen.

Die Oberfläche ist trotz aller Funktionalität nur mit den notwendigsten Schaltflächen und Anzeigen ausgestattet. In Abbildung 1.2 ist schon der gesamte Bildschirm dargestellt.

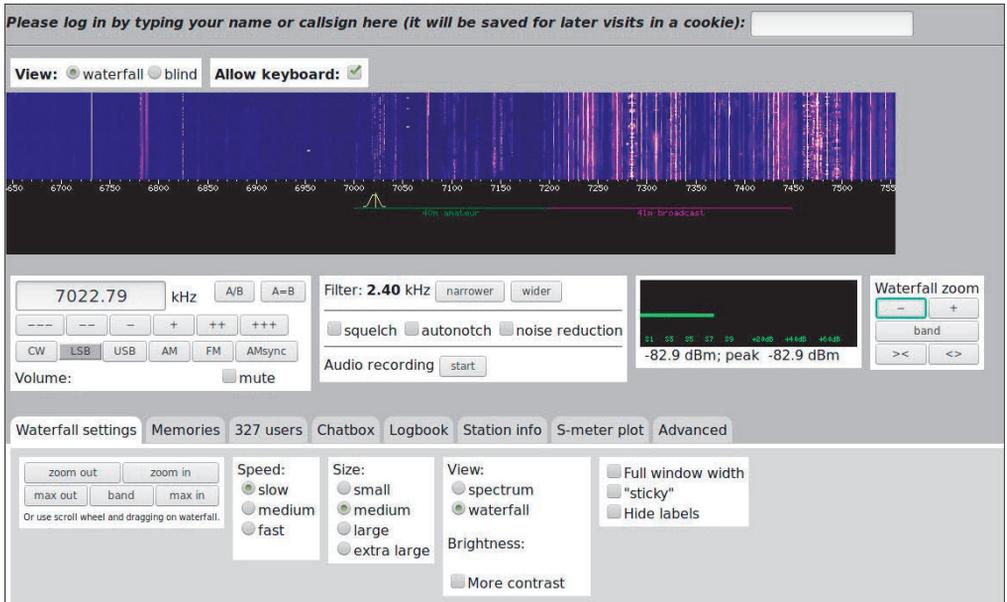


Abbildung 1.2 Die Bedienoberfläche des Web-SDR der Universität Twente

Wenn Sie im oberen Maskenbereich den Haken bei ALLOW KEYBOARD setzen, können Sie die Oberfläche auch bequem per Tastatur bedienen. Die einzelnen Tastaturbefehle finden Sie in Tabelle 1.10.

Funktion	Taste(n)
Frequenz abstimmen, ab/auf Schrittweite 0,1 kHz	[j]/[k] oder [←]/[→]
Frequenz abstimmen, ab/auf Schrittweite 0,5 kHz	[⇧] + [←]/[⇧] + [→] oder [⇧] + [j]/ [⇧] + [k]
Frequenz abstimmen, ab/auf Schrittweite 2,5 kHz	[Strg] + [←]/[Strg] + [→] oder [Strg] + [j]/[Strg] + [k]
Sendart: USB, LSB, CW, AM, FM	[u], [l], [c], [⇧], [f]
Filterbandbreite weiter/schmäler	[W]/[w]
Wasserfallanzeige ein- und auszoomen	[z]/[Z]
Wasserfallanzeige zentrieren	[Strg] + [z]
Frequenz manuell eingeben	[g]

Tabelle 1.10 Tastaturbefehle für die Bedienoberfläche des Web-SDR der Uni Twente

Funktion	Taste(n)
Stummschalten	[m]
Lautstärke mehr/weniger	[V]/[v]

Tabelle 1.10 Tastaturbefehle für die Bedienoberfläche des Web-SDR der Uni Twente (Forts.)

Klicken Sie in das Wasserfalldiagramm, und setzen Sie damit die Empfangsfrequenz. Mit dem Mausrad können Sie nun abstimmen. Alternativ geben Sie zunächst eine Frequenz manuell ein, die in einem von Ihnen gewünschten Bereich liegt. Dazu klicken Sie in das Feld mit der Frequenzangabe und geben den Wert in Kilohertz (kHz) ein, z. B. 7100 kHz. Zudem können Sie, wenn wie vorhin beschrieben der Haken gesetzt wurde, mit der Tastatur abstimmen. Für das Beispiel wählen Sie unter der Frequenzeingabe LSB für die Sendart.

Abbildung 1.3 zeigt den entsprechenden Funktionsblock der Maske im Detail.



Abbildung 1.3 Einstellungen von Frequenz und Sendart

Das Wasserfalldiagramm (siehe Abbildung 1.4) zeigt Ihnen die Belegung des dargestellten Frequenzraums. Mehr oder weniger breite Balken stellen die Signale dar. Morsefunk erkennen Sie dabei mit bloßem Auge: Punkte und Striche ziehen in einer Linie von unten nach oben. Der gelbe »Bügel« unterhalb der Frequenzleiste zeigt Ihnen, was der Empfänger aktuell wiedergibt. Zusätzlich werden Amateurfunkbänder durch eine grüne Linie, Rundfunkbänder durch eine violette Linie gekennzeichnet.

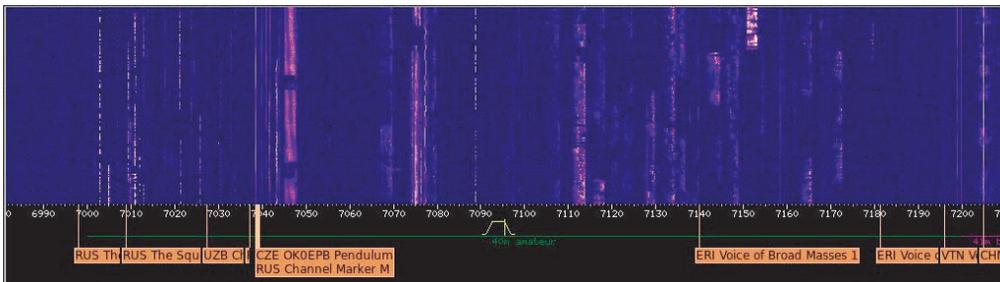


Abbildung 1.4 Wasserfalldiagramm mit Labels. Beachten Sie das Morsesignal am linken Rand!

Der Funktionsblock WATERFALL ZOOM bietet verschiedene Justiermöglichkeiten für die Darstellung. Der Zoomfaktor lässt sich in Stufen mit der Schaltfläche + vergrößern und mit – verkleinern. Wenn Sie auf BAND klicken, ist die Darstellung auf das jeweilige Amateur- oder Rundfunkband begrenzt, in dem sich die aktuelle Empfangsfrequenz befindet. Den kompletten, vom Empfänger nutzbaren Frequenzbereich erhalten Sie durch Klick auf ><. Die Umschaltung auf die feinstmögliche Auflösung funktioniert mit der Schaltfläche <>.

Abbildung 1.5 zeigt den Funktionsblock im Detail.



Abbildung 1.5 Einstellungen für das Wasserfalldiagramm (Darstellungsgrenzen)

Im unteren Bildbereich (siehe Abbildung 1.6) können Sie diese Einstellung ebenso vornehmen. Darüber hinaus können Sie hier die Laufgeschwindigkeit des Wasserfalldiagramms und dessen Größe festlegen sowie die Darstellung umstellen.

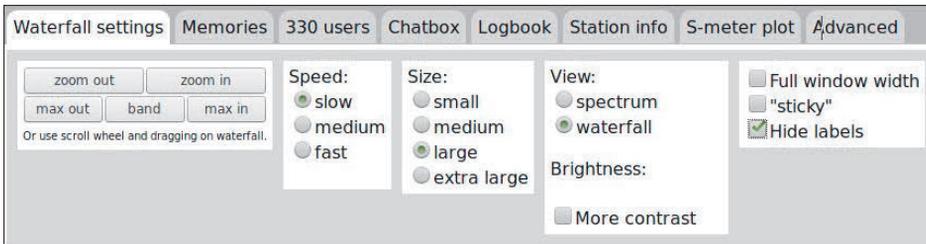


Abbildung 1.6 Weitere Einstellmöglichkeiten

Als Alternative können Sie sich den Frequenzbereich in der Spektrumansicht anzeigen lassen. Hier erkennen Sie leichter schwache und starke Signale (siehe Abbildung 1.7).

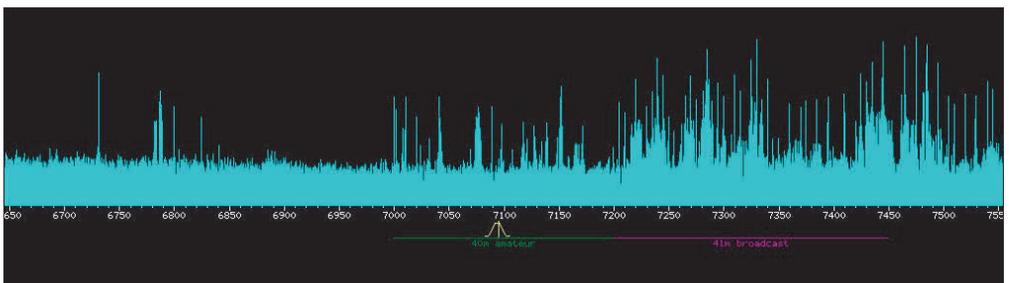


Abbildung 1.7 Spektrumansicht anstelle des Wasserfalldiagramms

Rechts finden Sie außerdem die Funktion HIDE LABELS. Ist die Darstellung feingegen, werden bekannte Stationen mit ihrem Namen eingeblendet. Stört dies, setzen Sie dort den Haken.

Bei starker Bandbelegung kommt es zu Störungen des Empfangs. Im Filterblock der Bedienoberfläche des Web-SDRs können Sie den Filter schmäler oder breiter setzen. Außerdem können Sie eine Rauschsperrung ein- und ausschalten, Pfeifgeräusche unterdrücken und das Rauschen reduzieren. Darüber hinaus ist hier der Audiorecorder für Mitschnitte untergebracht. In Abbildung 1.8 finden Sie diese Bedienelemente dargestellt.



Abbildung 1.8 Einstellungen für Bandbreite und Störungsausblendung

Die Feldstärke der empfangenen Stationen wird am S-Meter angezeigt. Dieses hier verfügt über einen quasianalogen Laufbalken. Sie sehen außerdem den aktuellen und den Spitzenwert in dBm angegeben. Abbildung 1.9 zeigt Ihnen diese Feldstärkeanzeige.

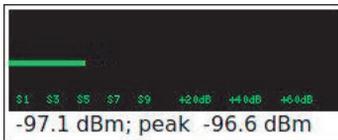


Abbildung 1.9 S-Meter

Für die Nutzung mit Smartphones gibt es eine abgespeckte Mobilversion. Diese enthält alles, was für den Empfangsbetrieb auf kleinen Displays notwendig ist. Die Frequenz stellen Sie dadurch ein, dass Sie das Wasserfalldiagramm unter dem gelben Filtersymbol verschieben. Die Frequenz können Sie auch in das dafür vorgesehene Feld eingeben. Die Sendart wählen Sie im danebenliegenden Dropdown-Menü. In Abbildung 1.10 sehen Sie die gesamte Oberfläche.

Unter <http://www.websdr.org/> finden Sie weitere, über die ganze Welt verteilte Web-SDR-Empfänger.

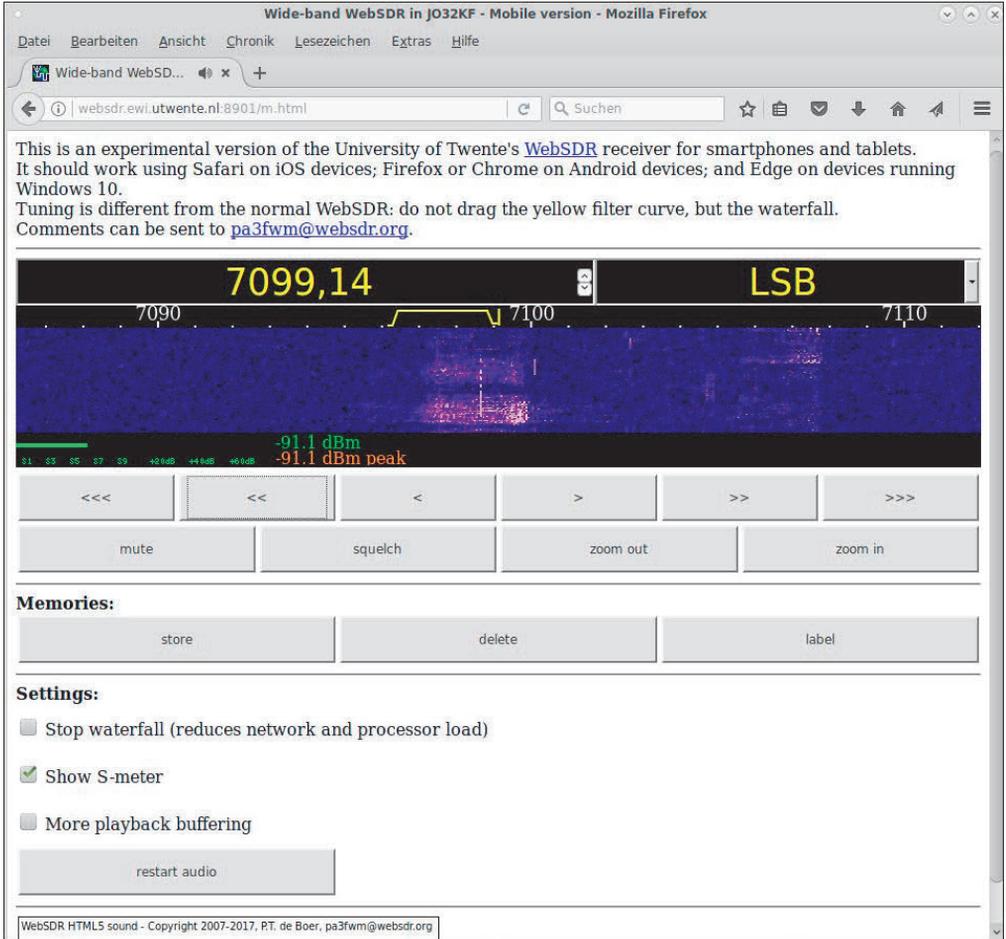


Abbildung 1.10 Vereinfachte Web-SDR-Oberfläche für mobile Geräte

## 1.5.2 SDR-Empfänger am PC

Die meisten SDR-Empfänger gibt es als USB-Geräte. Achten Sie beim Kauf darauf, dass das Betriebssystem Ihres Rechners diesen entsprechend unterstützt. Sie erhalten kleine USB-Sticks, meist mit dem RTL-Chipsatz. Diese werden von allen Betriebssystemen erkannt, und es gibt viele Programme für den Amateurfunkempfang.

Im mittleren Preissegment finden Sie z. B. die Geräte von SDRPlay. Diese verfügen über einen größeren Frequenzbereich, eine höhere Empfindlichkeit, und Sie können bei manchen Modellen mehrere Antennenanschlüsse nutzen.

Programme für den SDR-Empfang liegen solchen Geräte bei, bzw. Sie finden sie im Internet.

Und wenn der Amateurfunkempfang einmal keinen Spaß macht, können Sie damit UKW- oder DAB+-Radio hören!

Es gibt verschiedene SDR-Programme. Abbildung 1.11 zeigt den Arbeitsbildschirm von *Gqrx*. Eingestellt ist das 70-cm-Amateurfunkband. Die Bedienung ähnelt der eines Web-SDRs.

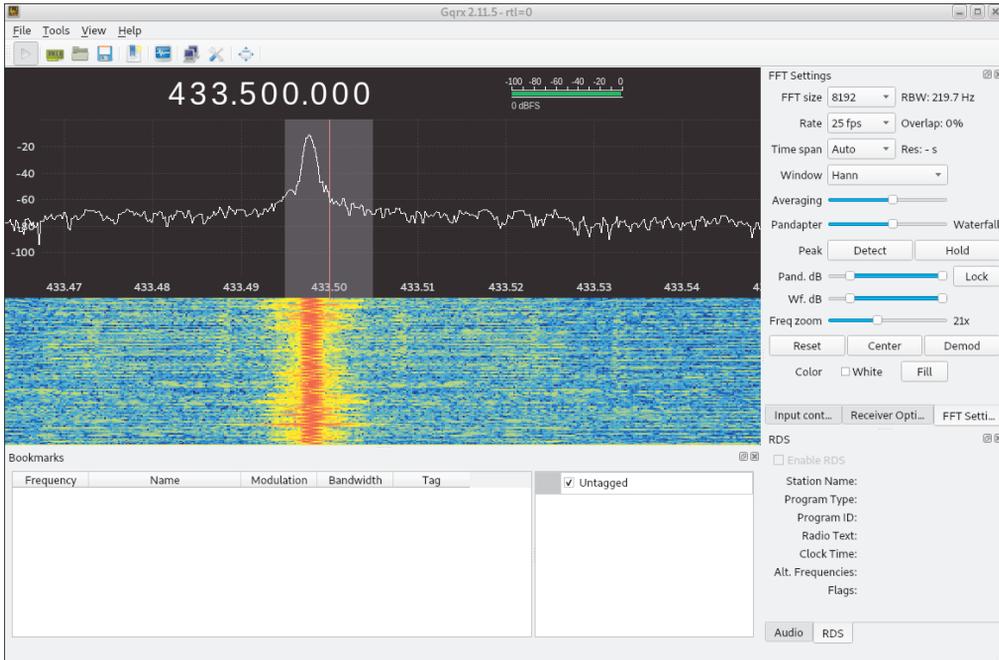


Abbildung 1.11 Das SDR-Programm Gqrx

### 1.5.3 Klassische Empfangsgeräte

Reine Empfangsgeräte sind in verschiedenen Bauformen sowohl neu als auch gebraucht erhältlich.

Im Vergleich zu der PC-gekoppelten SDR-Lösung haben Sie ein Gerät mit Schaltern und Knöpfen, das Sie nach kurzer Zeit intuitiv bedienen können.

Im Format von Handfunkgeräten erhalten Sie Empfänger, die oftmals als *Funkscanner* bezeichnet werden. Sie arbeiten meist mit vorher einstellbaren Festfrequenzen. Sie empfangen damit die höherfrequenten Amateurfunkbänder ab 144 MHz. Die »Kanäle« programmieren Sie mit den Frequenzen der Relaisfunkstellen und auch Frequenzen für den Direktbetrieb, auf denen Funkamateure miteinander kommunizieren können, ohne ein Relais zu nutzen. Teurere Modelle ermöglichen auch einen Empfang des Kurzwellenbereichs, wenngleich man hier nicht zu große Ansprüche an die Empfangsqualität stellen sollte.

Auf Flohmärkten finden Sie oft Kurzwellenempfangsgeräte, die in den letzten 25 Jahren produziert wurden (die Hersteller sind meist Yaesu, JRC, Kenwood oder Icom). Wenn diese Geräte in gutem Zustand sind, steht einem Kauf nichts im Wege. Natürlich erhalten Sie Kurzwellenempfänger auch als Neuware.

Geräte im Kofferradioformat ermöglichen auch die gute Wiedergabe von UKW- und DAB+-Sendungen. Allerdings gewährleisten hier nur die auch preislich höher liegenden Modelle brauchbaren Kurzwellenempfang, z. B. das TECSUN S-8800.

Tipp: Gehen Sie zusammen mit einem erfahrenen Funkamateurler auf Einkaufstour. So vermeiden Sie Fehlkäufe und Enttäuschungen.

#### 1.5.4 Bausätze

Sie können Ihren Empfänger auch selbst aufbauen. Dabei lernen Sie Funktechnik hautnah kennen. Allerdings müssen Sie teilweise Einschränkungen hinsichtlich der Ausstattung und der Empfangsleistungen hinnehmen, da im Normalfall keine aufwendigen Messmittel zur Verfügung stehen und die wenigsten Bausätze die Qualitäten hochpreisiger Geräte erreichen. Allerdings gibt es mit den SDR-Empfänger-Bausätzen hier auch Ausnahmen.

Die Zeitschrift *Funkamateurler* betreibt einen kleinen Onlineshop mit Funkartikeln (<http://www.funkamateurler.de>). Hier finden Sie unter anderem die vom Schweizer Entwickler Heinz Stampfl geschaffenen Bausätze *Junior 1* und *Junior 1D*.

Ersterer umfasst den Frequenzbereich von 5,9 MHz bis 8,1 MHz (das 49-m- und das 40-m-Rundfunkband sowie das dazwischen liegende 40-m-Amateurfunkband) mit den Sendarten AM und SSB.

Die Ausführung Junior 1D deckt den Bereich von 1 MHz bis 30 MHz in AM und SSB ab. SSB ist dabei als Doppelseitenempfang umgesetzt. Der Empfänger verfügt über eine digitale Frequenzanzeige und einen regelbaren Vorabstimmkreis (Preselektor), was den Empfang entscheidend verbessert.

Es werden verschiedene Bausätze von SDR-Empfängern angeboten. In der Regel sind diese relativ preiswert und bieten gute Empfangsleistungen.

#### 1.5.5 Antennen für den Empfang

Wenn Sie einen eigenen Empfänger besitzen, benötigen Sie eine Antenne für den Empfang. Für den Anfang reicht eine einfache Wurfantenne, also ein Stück Draht. Ein Stück isolierter Schalt Draht, zwischen 2 und 20 m lang, genügt schon für den Empfang des Kurzwellenbereichs. Robuster ist eine isolierte Antennenlitze.

Einige moderne SDR-Empfänger verfügen über eine zusätzliche Langdraht-Klemme, verwenden aber sonst stets SMA-Anschlüsse. Für die Nutzung der Langdraht-

Klemme entfernen Sie nur ein Stück der Isolierung und stecken den Antennendraht ein – fertig. Die SMA-Stecker jedoch sind normalerweise nur lötbar, was mit einiger Übung auch gelingt. Möchten Sie anfangs dieser Arbeit aus dem Weg gehen, können Sie einfach einen Adapter *SO-259-Buchse auf SMA-Stecker* (siehe Abbildung 1.12 und Abbildung 1.13) dafür einsetzen.



**Abbildung 1.12** Adapter SO-259 auf SMA: die Seite der SO-Buchse



**Abbildung 1.13** Adapter SO-259 auf SMA: die Seite des SMA-Steckers

Um den Antennendraht daran anzustecken, benötigen Sie noch einen Bananenstecker (siehe Abbildung 1.14).

Möchten Sie den Funkamateuren auf dem 2-m- und 70-cm-Band lauschen, reicht eine kleine Antenne aus. Sie können hier ebenso eine kurze Wurfantenne mit 50 cm Länge verwenden. Einen besseren Empfang erzielen Sie mit einer kleinen Mobilantenne mit Magnetfuß (siehe Abbildung 1.15) oder Ähnlichem am Balkon oder Fensterbrett.



Abbildung 1.14 Bananenstecker

Den notwendigen Adapter für den Anschluss an Ihren Empfänger kaufen Sie zusammen mit der Antenne. Eventuell erhalten Sie so eine Antenne auch mit dem passenden Stecker.



Abbildung 1.15 Mobilantenne für das 2-m- und 70-cm-Band

## 1.6 Funkamateure persönlich kennenlernen

In Deutschland sind die allermeisten Funkamateure im »Deutschen Amateur-Radioclub e. V.« (DARC) organisiert.

Derzeit hat der Verein rund 34.000 Mitglieder. Er ist in Distrikte unterteilt, in denen sich wiederum die Ortsverbände mit den Mitgliedern befinden. Jeder Ortsverband verfügt über ein Kennzeichen, den Distrikts-Ortsverbands-Kenner (DOK). Dieser besteht im Regelfall aus dem Buchstaben, der den Distrikt kennzeichnet, und aus einer zweistelligen Zahl, z. B. B32 für den Ortsverband Pegnitz, der wiederum zum Distrikt Franken (B) gehört.

Das Vereinsleben findet in diesen Ortsverbänden (OV) auf unterschiedliche Art und Weise statt. So gibt es OV, deren einzige Aktivität aus dem einmal im Vierteljahr stattfindenden OV-Abend besteht. Andere organisieren Lizenzkurse, Vorträge, Feste und Feiern aller Art, Exkursionen und wöchentliche Treffen. All dies hängt stets von den einzelnen Personen vor Ort ab.

Speziell für Pendler und andere, meist aus beruflichen Gründen »unsesshafte« Personen bietet sich der Ortsverband D22 »Soziale Medien« an. Hier tauschen sich die bundesweit verstreut lebenden Mitglieder mittels sozialer Medien aus. Ansonsten handelt es sich um einen gewöhnlichen Ortsverband, nur eben ohne regelmäßige lokale Treffen.

Bei Interesse besuchen Sie die Internetpräsenz des DARC unter <https://www.darc.de/home>. Klicken Sie dort auf EINSTEIGER.

Der DARC hat zudem die Ausbildungsplattform [50ohm.de](https://www.50ohm.de) geschaffen. Aktuell, also im Frühjahr 2024, ist hier noch vieles im Aufbau begriffen. Aber: So leicht wie mithilfe dieser Plattform konnte man bisher nicht zu einer Amateurfunklizenz kommen: Selbstlerner können Online-Kurse belegen, Trainingsapps machen fit für die Prüfung, man erfährt, wo und wann (Teil-)Präsenzkurse abgehalten werden, und wo es im Umkreis helfende Lernpaten gibt. Kursleiter erhalten Kurspläne, Materialien und weitere Unterstützung. Unter <https://www.50ohm.de/> finden Sie all diese Informationen. Schauen Sie einfach mal rein!

Wenn Sie lieber den direkten Kontakt pflegen wollen, besuchen Sie einfach einen oder mehrere Ortsverbände in Ihrem Umkreis. Man wird Sie sicher in Ihrem Vorhaben, Funkamateur zu werden, unterstützen.

Es gibt weltweit und in Deutschland noch weitere Vereinigungen, die sich mit dem Amateurfunk beschäftigen. Dabei handelt es sich um Vereine mit spezielleren Zielen, z. B. Satellitenfunk, museale Erhaltung von Funktechnik oder Fördervereine an Hochschulen. Auch hier können Sie zu den Vereinstreffen stoßen und Ihre ersten Kontakte mit den Menschen hinter den Mikrofonen und Tasten knüpfen.

Wer sich ausschließlich auf das Hören des Funkgeschehens konzentrieren möchte, ist ebenso gut bei den vorgenannten Vereinen aufgehoben. Allerdings gibt es auch Funkfreunde, die sich ausschließlich dem Empfang verschrieben haben. Die Arbeitsgemeinschaft DX e. V., kurz *AGDX*, ist der Dachverband deutschsprachiger Kurzwellenhörervereine. Hier treffen sich Menschen, die sich auch dem Empfang weltweit hörbarer Rundfunkstationen widmen. Weiteres hierzu finden Sie unter <http://www.agdx.de>.

Funkamateure finden Sie auf vielen größeren Messen und Ausstellungen, wo sie sich und den Amateurfunk vorstellen. Hier können Sie Menschen und Technik direkt erleben und kennenlernen.

Eine Veranstaltung für Funkamateure ist die *HAM RADIO* in Friedrichshafen (<http://www.hamradio-friedrichshafen.de>). Sie findet jährlich im Zeitraum Juni/Juli statt. Hier treffen Funk- und Elektronikinteressierte zusammen. Das Programm ist sehr vielfältig. Es gibt Fachvorträge über neueste technische Entwicklungen, und Sie können am Stand der Bundesnetzagentur sogar die Amateurfunkprüfung ablegen. Internationale Aussteller zeigen ihre neuesten Produkte rund um den Amateurfunk. Vereine aus aller Welt stellen sich dar. Persönliche Kontakte mit Menschen aus aller Welt werden dort geknüpft. Die Planung mancher Urlaubsreise nimmt dort ihren Ursprung. Die inländischen Vereine geben über alle Fragen rund um den Amateurfunk Auskunft.

Vielleicht lernen Sie dort sogar Ihren persönlichen Ansprechpartner für den Einstieg kennen, zumindest erfahren Sie aber, wer in Ihrer Nähe Ihnen weiterhilft. Es treffen sich dort viele QSO-Partner und Jugendgruppen – der persönliche Kontakt ist hier das Wichtigste. Sie sehen und finden auf der *HAM RADIO* wirklich alles, was den Amateurfunk betrifft. Sollten Sie Ihre Zeit nicht nur auf dem Messegelände, sondern auch in Friedrichshafen verbringen, fallen Ihnen die dort herumflanierenden Funkfreunde mit ihren T-Shirts und Kappen sicher auf. Meist wird auf diese Kleidungsstücke das persönliche Rufzeichen gestickt.

Eine kleinere, aber deshalb nicht uninteressante Veranstaltung ist der *FUNK.TAG Kassel*. Dieser findet jeweils im Frühjahr statt und löste die nicht mehr stattfindende Interradio Hannover ab. Hier stellen sich ebenfalls Funkamateure mit ihrer Arbeit vor. Zudem gibt es gewerbliche Aussteller und einen Flohmarkt.

Weitere Informationen über das jeweilige aktuelle Programm und die Aussteller finden Sie auf der Webseite des Deutschen Amateur-Radioclubs e. V.

Alle zwei Jahre findet die *Amateurfunktagung München* statt. Sie wird in der Hochschule München veranstaltet und besteht aus einer Reihe von Vorträgen mit überwiegend funktechnischen Themen (<http://www.amateurfunktagung.de/>)

Neben den schon erwähnten OV-Abenden halten viele der Ortsverbände der Amateurfunkvereinigungen einmal im Jahr einen sogenannten *Fieldday* ab. Hierbei wird

eine Funkstation außerhalb bewohnter und erschlossener Gegend errichtet. Natürlich dienen diese Veranstaltungen dem gemütlichen Beisammensein. Gleichzeitig trainiert man aber auch, wie man im Notfall abseits der Netzstromversorgung und mit behelfsmäßig aufgebauten Antennen einen Funkbetrieb durchführt. Auch hierzu sind Einsteiger willkommen.

In Deutschland verfügen einige Funkamateure über ein Ausbildungsrufzeichen. Das ermöglicht es Ihnen, unter Aufsicht Ihre ersten QSOs zu tätigen, ähnlich einer »Fahrschule«. Wenn sich Ihnen eine derartige Möglichkeit bietet, nutzen Sie diese unbedingt. Sie erhalten schon mal ein Gefühl, wie es ist, teilweise weltweit über den Äther Kontakte zu knüpfen.

Auch die Amateurfunkvereinigungen von Österreich (ÖVSV) und der Schweiz (USKA) sind regional vor Ort mit ihren Untergliederungen aktiv. Die Aktivitäten sind die gleichen wie hier für den bundesdeutschen Raum beschrieben.

### 1.7 Technik als Erlebnis

Mit den eigenen Händen etwas schaffen, das können Sie auch im Amateurfunk erleben. Dazu müssen Sie nicht gleich ein Funkgerät selbst entwerfen und bauen, das machen wohl die wenigsten Funkamateure. Es bleiben aber genügend andere Betätigungsfelder, beispielsweise:

- ▶ Stecker an Antennenkabel löten oder crimpen
- ▶ Antennen berechnen und bauen
- ▶ Aufbau einer Stationsantenne
- ▶ mobile Stromversorgungen schaffen
- ▶ Messungen durchführen
- ▶ Zusatzgeräte wie Mikrofon, Morsetaste oder Rechner mit dem Funkgerät verkabeln
- ▶ Funkkoffer für unterwegs oder Notfunkeinsätze planen und bauen
- ▶ Stationstisch aufbauen
- ▶ Bausätze für Funk- und Messgeräte zusammenbauen (Das spart Zeit und Geld gegenüber kompletten Eigenentwicklungen.)
- ▶ Bewahrung technischer Denkmäler (historische Fernmeldetürme, Schiffe, Seefunkstellen, Sendeanlagen)
- ▶ Bewahrung und Pflege des Weltkulturerbes Morsetelegrafie

Und vieles andere mehr! Funkamateure helfen sich untereinander. Da hilft die junge Lötkünstlerin eben dem alten Antennenfuchs, und der Informatikstudent erklärt am OV-Abend seinen Vereinskollegen, was man mit dem Raspberry Pi so alles im Amateurfunk anstellen kann.

### 17.1.4 Über- und Unterabtastung

Die *Überabtastung* wurde bereits im Zusammenhang mit der Analog-Digital-Wandlung in Abschnitt 17.1.2 erwähnt. Die Verwendung einer im Vergleich zur Forderung des Abtasttheorems erheblich höheren Abtastfrequenz ermöglicht die Verwendung einfacherer analoger Filter und kann die bei der Digitalisierung entstehenden Fehler reduzieren, da über mehrere Abtastwerte gemittelt werden kann. Dadurch kann eine bessere Auflösung beziehungsweise ein geringeres Quantisierungsrauschen erreicht werden. Auch bei der *Digital-Analog-Wandlung* (Rekonstruktion) können durch Überabtastung Zwischenwerte berechnet werden, die die Signalsprünge reduzieren und dadurch eine einfachere Filterung ermöglichen.

Bei der *Unterabtastung* wird nur die Abtastrate verwendet, die der Bandbreite des Signalsbereichs entspricht, der verarbeitet werden soll. Möchte man beispielsweise einen digitalen Kurzwellenempfänger realisieren, wird man zunächst den kompletten Frequenzbereich bis 30 MHz digitalisieren und dazu z. B. mit 70 MS/s und 12 Bit pro Abtastwert abtasten. Dabei entsteht allerdings eine Datenrate von 840 Mbit/s. Möchte man anschließend z. B. ein SSB-Signal im 40-m-Amateurfunkband bei 7140 kHz mit 2,7 kHz Bandbreite demodulieren, müsste man diese hohe Datenrate weiterverarbeiten, was eine erhebliche Rechenleistung und einen entsprechend hohen Stromverbrauch bedeutet.

Sie können aber auch wie folgt vorgehen: Der Bereich von 7140 bis 7142,7 kHz wird mit einem digitalen Bandpassfilter aus dem vollen Datenstrom herausgefiltert (siehe Abschnitt 17.2.2) und der gefilterte Datenstrom dann mit 5,4 kS/s abgetastet, diesmal aber ohne das Anti-Aliasing-Filter. Sie erhalten dann das SSB-Signal im 40-m-Band als digitales Alias-Signal im Bereich von 0 bis 2,7 kHz mit einer Abtastrate von 5,4 kS/s, was einer Datenrate von 81 kbit/s entspricht, zur Weiterverarbeitung. Die Abtastung erfolgt einfach dadurch, dass Sie aus dem ursprünglichen Datenstrom nur jedes 155.555ste Bit ( $5400/840.000.000 = 1/155.555$ ) durchlassen (*Dezimierung*). Wollen Sie in einem *Software Defined Radio*-(SDR-)Empfänger ein SSB-Signal zur Demodulation auswählen, genügt es demnach, den Durchlassbereich des digitalen Filters entsprechend zu verschieben (siehe Abbildung 17.7).

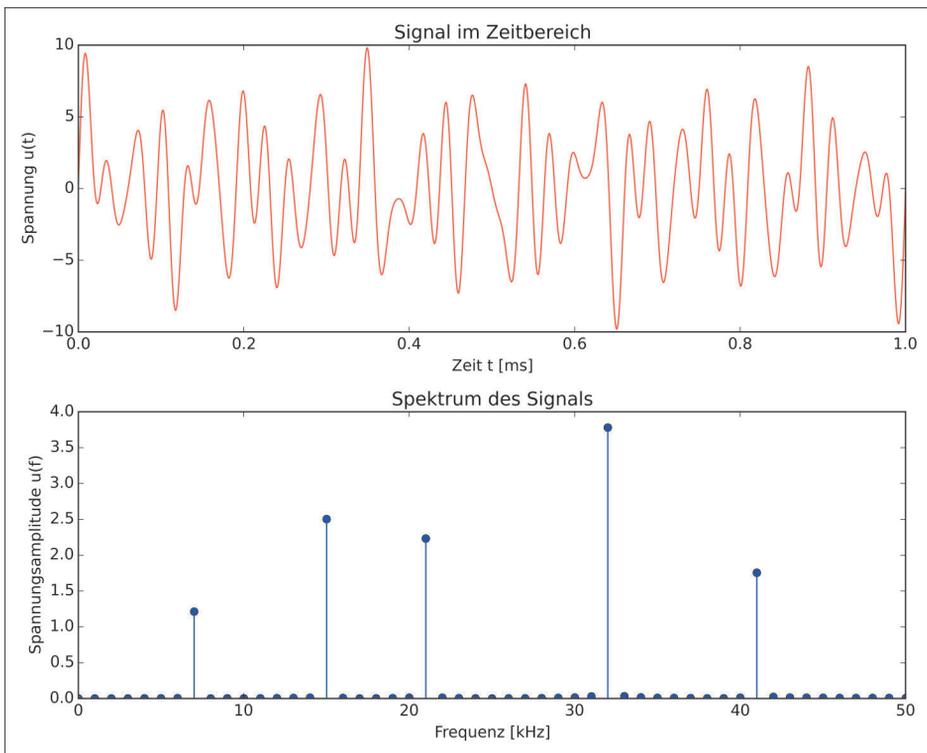
## 17.2 Digitale Signalverarbeitung

### 17.2.1 Signale im Zeit- und Frequenzbereich, Spektrum und Wasserfalldiagramm

Bisher haben wir den Verlauf der Spannung eines Signals im *Zeitbereich* betrachtet, d. h. die Funktion  $u(t)$ , genau in der Art und Weise, wie ein *Oszilloskop* sie anzeigt (siehe Abschnitt 7.4). Wenn mehrere Signale bei verschiedenen Frequenzen vorhan-

den sind, führt dies allerdings zu einem Spannungsverlauf, dem man die darin enthaltenen Frequenzen und deren Spannungsamplituden nicht mehr ohne Weiteres ansieht. Vorteilhaft ist es dann, die in dem Gemisch enthaltenen Frequenzen auf einer Frequenzachse darzustellen, wobei der Wert bei einer bestimmten Frequenz umso größer ist, je stärker ein Signal der entsprechenden Frequenz im Gemisch enthalten ist.

Abbildung 17.6 zeigt schematisch das Zeitsignal der Summe von fünf sinusförmigen Spannungen und die zugehörige Darstellung im Frequenzbereich, das sogenannte *Spektrum*. Hier erkennen Sie sofort die Frequenzen und relativen Stärken der einzelnen Signalanteile. Eine solche Anzeige erhalten Sie mit einem *Spectrum Analyzer*, einem Digitaloszilloskop mit entsprechender Funktion oder mit einem *Software Defined Radio*-Empfänger mit entsprechender Software. Auf letztere Weise ist Abbildung 17.7 entstanden.

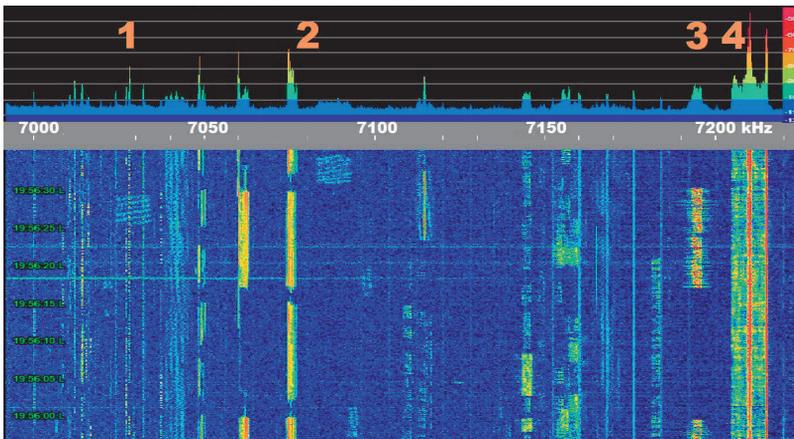


**Abbildung 17.6** Signal im Zeitbereich (oben) und dessen Spektrum im Frequenzbereich (unten). Das Zeitsignal ist die Summe der Sinus-Signale mit den Frequenzen 7, 15, 21, 32 und 41 kHz und den angegebenen Spannungsamplituden.

Wenn nicht bekannt ist, welche Frequenzen in einem Signal enthalten sind, kann dies nach der Digitalisierung durch die sogenannte *Fourier-Transformation* berechnet werden. Für jeweils eine Anzahl von Abtastwerten im Zeitbereich wird eine ebenso

große Anzahl von Werten berechnet, die den darin enthaltenen Frequenzen entsprechen. Besonders vorteilhaft ist dies möglich, wenn für die Anzahl der Abtastwerte eine Potenz von 2 verwendet wird, z. B.  $1024 = 2^{10}$  (siehe Abschnitt 2.1 zur Potenz als die vielfache Multiplikation einer Zahl mit sich selbst). Dann lässt sich die Berechnung des Spektrums durch eine sogenannte *Fast Fourier Transformation* (FFT) berechnen, die vergleichsweise wenig Rechenleistung erfordert.

Streng genommen kann man die Fourier-Transformation nur durchführen, wenn sich ein Signal im Zeitbereich jeweils nach einer bestimmten Periode wiederholt. Da dies z. B. beim Funkempfang nicht zu erwarten ist, kann man jeweils nur das momentane Spektrum berechnen. Da aber in der nächsten Gruppe der Abtastwerte nicht wieder derselbe zeitliche Verlauf der Signale vorliegt, muss am Anfang und Ende des jeweiligen Zeitintervalls das Signal sanft ein- beziehungsweise ausgeschaltet werden. Diesen Vorgang nennt man *Fensterung*, und es gibt eine Reihe von Fensterfunktionen, die bei der Fourier-Transformation verwendet werden können und die jeweils unterschiedliche Eigenschaften haben. Ein guter Kompromiss ist das sogenannte Blackman-Harris-Fenster, das eine gute Auflösung im Frequenzbereich ermöglicht.



**Abbildung 17.7** Spektrum (oben) und Wasserfalldiagramm (unten). Die Farbgebung im Wasserfalldiagramm entspricht der Stärke der Signale im Spektrum. Die Zeitstempel links erlauben es, die Länge der Aussendungen zu erkennen. Zum Beispiel dauern die einzelnen Sendungen in der digitalen Betriebsart FT8 bei 7074 kHz (Bereich 2) jeweils 15 s, bei FT4 bei 7050 kHz nur halb so lange. Im Bereich 1 sind schmale CW-Signale zu sehen, und von ca. 7150 bis 7200 kHz SSB-Signale mit etwa 2,7 kHz Bandbreite. Im Bereich 3 erkennt man, dass nur eine Station zu hören ist, dazwischen ist kein Signal zu sehen, vielleicht weil der Empfänger innerhalb der toten Zone der Gegenstation ist. Bei 4 ist das Spektrum eines AM-Rundfunksenders zu sehen. Sie erkennen den Träger und die beiden Seitenbänder mit je etwa 5 kHz Bandbreite.

Trägt man statt der Linien in Abbildung 17.6 die Stärke der Signale bei den verschiedenen Frequenzen in einer Zeile auf, indem man ihre relative Stärke farblich codiert, er-

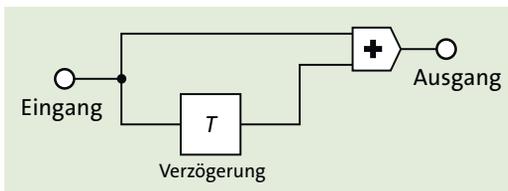
hält man eine Zeile eines *Wasserfalldiagramms*. Wird das Spektrum erneut berechnet, wird eine weitere Zeile hinzugefügt, usw. So kann man erkennen, bei welchen Frequenzen Signale auftauchen und verschwinden, wie groß ihre Bandbreite ist usw.

Abbildung 17.7 zeigt ein Beispiel für das Spektrum und ein Wasserfalldiagramm im Bereich des 40-m-Amateurfunkbandes. Man erkennt verschieden breite Signale (CW, FT8, SSB) und deren zeitliche Verläufe anhand der eingblendeten Zeitmarkierungen.

## 17.2.2 Elemente digitaler Signalverarbeitung

Liegt ein Signal oder liegen mehrere Signale in einem entsprechenden Spektralbereich in digitaler Form vor, können weitere Schritte wie Filterung, Frequenzumsetzung und Demodulation durch Berechnungen mit den Abtastwerten erfolgen. Analoge Signale müssen vorher digitalisiert werden und gegebenenfalls nach der digitalen Signalverarbeitung wieder in analoge Signale gewandelt werden.

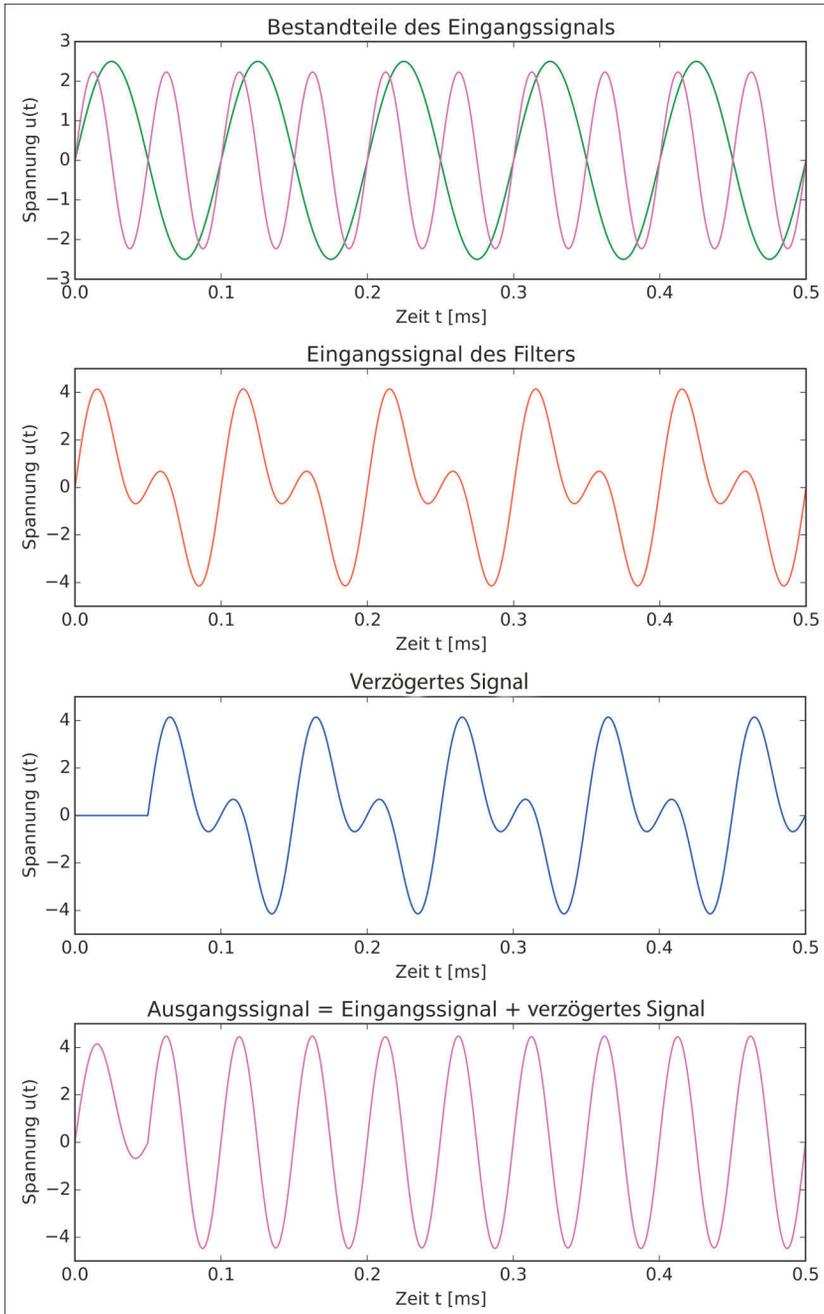
Ein Beispiel soll die digitale Filterung erläutern. Grundsätzlich kann die Filterung dadurch erfolgen, dass man ein Signal mit einer gewissen Verzögerung  $T$  mit sich selbst überlagert (siehe Abbildung 17.8).



**Abbildung 17.8** Die einfachste Realisierung eines FIR-Filters, bei dem das direkte Signal und das um  $T$  verzögerte Signal mit gleicher Amplitude addiert werden.

Entspricht  $T$  der Schwingungsdauer einer bestimmten Signalfrequenz oder einem Vielfachen davon, so überlagern sich die beiden Signale gleichphasig und werden von der Schaltung durchgelassen. Bei den Frequenzen, bei denen eine halbe Schwingungsdauer (oder ein ungeradzahliges Vielfaches davon) als Verzögerung vorliegt, werden die Signale gegenphasig addiert und löschen sich gegenseitig aus. Dieses Prinzip zeigt Abbildung 17.9 an einem Beispiel.

Da bei dieser Art von Filter die Signale nur addiert werden, wird das Ausgangssignal nach dem Abschalten des Eingangs nach Ablauf der Verzögerungszeit  $T$  komplett verschwunden sein. Man spricht deshalb von einem Filter mit einer endlichen Impulsantwort (*Finite Impulse Response*, FIR). Wenn hingegen ein Signalanteil auf den Eingang zurückgeführt wird, kann durch eine kurze Anregung im Prinzip ein unendlich langes Ausgangssignal erzeugt werden. Dies würde einer unendlichen Impulsantwort entsprechen (*Infinite Impulse Response*, IIR).



**Abbildung 17.9** Einfaches Beispiel für die Wirkung eines FIR-Filters. Auf den Eingang werden zwei Signale mit Frequenzen von 10 kHz (grün) und 20 kHz (magenta) gegeben. Daraus resultiert das Eingangssignal (rot). Dieses wird um  $1/20 \text{ kHz} = 0,05 \text{ ms}$  verzögert (blau) und zum Eingangssignal addiert. Das Resultat zeigt das unterste Bild: Am Ausgang des Filters ist nur das Signal mit 20 kHz (magenta) zu sehen.

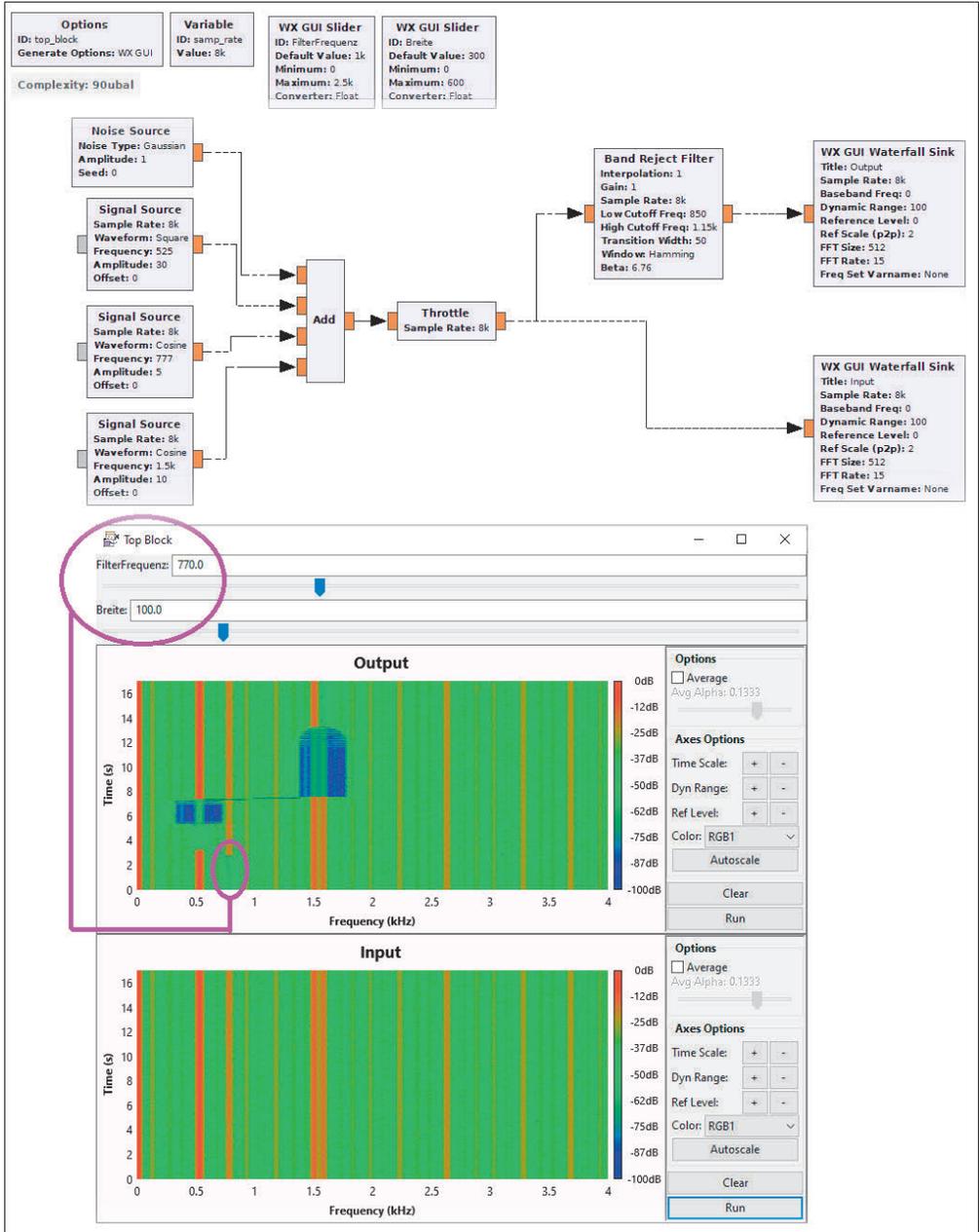
Um die gewünschte Filtercharakteristik zu erreichen, werden in einem realen Filter nicht nur zwei Signalanteile, sondern viele mit unterschiedlichen Verzögerungen und Amplituden gemäß einem Satz von *Filterkoeffizienten* überlagert. Gemäß den angestrebten Eigenschaften werden diese durch entsprechende Software berechnet. Hierbei sind IIR-Filter, die die gewünschten Anforderungen an den Durchlass- und Sperrbereich und die Filtersteilheit erfüllen, häufig mit geringerem Aufwand an Rechenleistung und Speicherbedarf realisierbar als FIR-Filter.

Erheblich einfacher ist die Realisierung von FIR- beziehungsweise IIR-Filtern durch digitale Signalverarbeitung, weil hier die Abtastwerte leicht zwischengespeichert werden können und mit entsprechender Verzögerung wieder ausgelesen werden können. Hierzu dient beispielsweise eine FIFO-Schaltung (First In – First Out).

Viele der digitalen Verarbeitungsschritte lassen sich einfach programmieren. Noch besser sind aber Programmpakete geeignet, die sich mit digitalen Quellen und Senken wie SDRs oder mit der Soundkarte eines PC verbinden lassen und entsprechende Signalverarbeitungsblöcke bereitstellen. Ein verbreitetes Programm, das sehr flexibel ist und es sogar ermöglicht, dass Nutzer selbst eigene Signalverarbeitungsblöcke entwickeln, ist *GNU Radio*. Für viele Anwendungen sind komplette Signalflussgraphen (*Flowgraphs*) im Internet verfügbar, ebenso ausführliche Tutorien mit vielen Beispielen.

Wichtige Parameter, wie z. B. die Empfangsfrequenz eines SDR, die Mittenfrequenz eines Filters usw., können während des Programmlaufs durch Einstellregler verändert werden. Ebenso sind Anzeigen wie Oszilloskope und spektrale Darstellungen sowie Wasserfalldiagramme möglich, sodass Sie nach jedem Block das Ergebnis überprüfen können.

Ein einfaches Beispiel für einen Flowgraph zeigt Abbildung 17.10. Das Ziel ist es, aus einem Signalgemisch einen Bestandteil wegzufiltern. Die Blöcke links erzeugen Rauschen und drei harmonische Signale bei vorgegebenen Frequenzen. Diese werden addiert, und der *Throttle* erzeugt einen festen Takt, da hier keine Hardware eingebunden ist, die das durch die Abtastrate tun würde. Der Block in der Mitte oben stellt das Bandsperrfilter dar, mit dem Teile des Signals weggefiltert werden können. Sowohl das Signal vor dem Filter als auch nach dem Filter werden auf eine Wasserfallanzeige gegeben. Die Abtastrate ist als feste Variable definiert, zwei Eingaben während des Programmlaufs werden mit einem Schieberegler (*Slider*) ermöglicht: die Mittenfrequenz des Filters und seine Sperrbandbreite können eingestellt werden.



**Abbildung 17.10** Beispiel für einen GNU Radio-Flowgraph. Beim Start des Programms erscheint das Fenster »Top Block«, das unten gezeigt ist (siehe Text). Sie erkennen, dass Sperrfrequenz und Bandbreite des Filters mehrfach verändert wurden. Die letzte Einstellung der Schieberegler und die dadurch bewirkte Filterung sind durch die violette Markierung hervorgehoben.

Beim Start des Programms erscheint das Fenster TOP BLOCK, das Sie unten in Abbildung 17.10 sehen. Es enthält oben die beiden Schieberegler für Frequenz und Bandbreite und unten die Wasserfallanzeigen am Ausgang und Eingang des Filters. Entsprechend der Abtastrate von 8 kS/s, ist der Frequenzbereich bis 4 kHz dargestellt.

Während des Programmlaufs wurden die Eigenschaften des Filters verändert: Zunächst wurden die beiden Signale bei 1,5 kHz und das Rauschen in einem Bereich von etwa 400 Hz um sie herum unterdrückt, dann wurde die Sperrfrequenz auf 0,5 kHz verringert. Schließlich wurde die Bandbreite auf 100 Hz verringert, und anschließend die Sperrfrequenz auf 770 Hz erhöht. Diese letzte Einstellung und deren Filterwirkung ist in der Abbildung noch zu sehen. Da es für GNU Radio Schnittstellen zu vielen SDR-Geräten und zur PC-Soundkarte gibt, eignet sich dieses Programm sehr gut für eigene Schritte in die digitale Signalverarbeitung.

### 17.3 Die Codierung digitaler Signale (Quellencodierung)

Bei der Digitalisierung von Signalen treten aufgrund der Anforderungen des Abtast-Theorems und der Anforderung, den Quantisierungsfehler klein zu halten, hohe Datenraten auf. Soll beispielsweise ein Sprachsignal digitalisiert werden, das Frequenzen bis etwa 2,7 kHz beinhaltet, so ist eine Abtastrate von etwa 6 kHz erforderlich. Bei 256 Quantisierungsstufen (8 Bit) würde dies eine Datenrate von 48 Kilobit pro Sekunde (kbit/s) erzeugen. Die Übertragung in einem Funkkanal von nur 12,5 kHz Bandbreite, wie sie einem analogen Schmalband-FM-Signal entspricht, oder in einem 2,7 kHz breiten Kanal für eine SSB-Übertragung wäre nur unter sehr günstigen Bedingungen möglich (siehe Abschnitt 17.4). Deshalb ist es erforderlich, bestimmte Eigenschaften eines Sprachsignals zu nutzen, um die erforderliche Datenrate stark zu reduzieren. Dies ohne allzu große Qualitätseinbußen zu bewerkstelligen, ist allgemein die Aufgabe der *Quellencodierung*.

Für Sprache wurden leistungsfähige Verfahren entwickelt, die als *Vocoder* bezeichnet werden. Für die weit verbreiteten Vocoder gibt es integrierte Schaltkreise, die in den entsprechenden Handys und Funkgeräten verbaut sind, z. B. für den AMBE+2<sup>TM</sup>-Vocoder (*Advanced Multi-Band Excitation*) der Firma *Digital Voice Systems*. Gute Sprachqualität lässt sich damit schon mit Datenraten ab ca. 2 kbit/s erreichen, die sich sogar auf Kurzwelle übertragen lassen. Dieser Vocoder wird aber vor allem bei dem auch im Amateurfunk im VHF- und UHF-Bereich verwendeten DMR (*Digital Mobile Radio*) eingesetzt. Bei der Quellencodierung spricht man auch häufig von *Codecs*. Dieser Begriff setzt sich aus den Wörtern *Coder* und *Decoder* zusammen, da man beide benötigt: beim Sender den Coder, beim Empfänger den Decoder.

Generell lässt sich die Quellencodierung auf verschiedene Prinzipien zurückführen: Zunächst können Anteile im Signal, die für die Übertragung nicht unbedingt erforder-

derlich sind, weggelassen werden. Obwohl Sprache Frequenzen bis etwa 7 kHz enthält, ist sie bei einer Begrenzung auf den Bereich bis etwa 2,7 kHz gut verständlich. Kommen Signalanteile mehrfach vor, wie dies bei Sprache bei gleichlautenden Silben der Fall ist, können für diese Signale spezielle kurze Bitsequenzen übertragen werden. Diese Sequenzen sollten umso kürzer sein, je öfter die entsprechende Bitsequenz im Signal enthalten ist. Dieses Prinzip ist bereits bei der Morsetelegrafie realisiert worden, bei der den häufig auftretenden Buchstaben e und t mit einem Punkt beziehungsweise Strich die kürzesten Zeichen zugeordnet sind, wohingegen z. B. das lange Zeichen . - - - für den eher seltenen Buchstaben j verwendet wird. Ferner können für bestimmte Abfolgen von Signalanteilen, die sich wiederholen, spezielle Bitmuster verwendet werden, die in einer Tabelle erfasst sind. Die bei der Morsetelegrafie verwendeten Q-Gruppen sind hierfür ein Beispiel. Die Codierung von z. B. »Erhöhen Sie die Sendeleistung« mit den 3 Buchstaben QRO zeigt, welcher Gewinn an Datenmenge möglich ist.

Ein weiteres häufig verwendetes Verfahren ist die *Prädiktion*. Darunter versteht man eine Vorhersage des Signalverlaufs aus der Vergangenheit in die Zukunft hinein. Diese kann man sowohl beim Sender als auch beim Empfänger machen. Übertragen werden muss dann nur die Abweichung des tatsächlichen Signals von der Vorhersage. In einem Telegrafie-Contest beispielsweise lässt sich aus den gesendeten Zeichen RST leicht vorhersagen, dass als Nächstes die Zeichenfolge 599 übertragen wird, wobei vielleicht gelegentlich als zweite Ziffer (Signalstärke) ein geringerer Wert vorkommt. Man könnte also mit RST automatisch die 599 präzisieren und dann nur die Abweichung von S9 nach unten übertragen. Damit könnte man z. B. die Signalisierung von RST 579 auf RST 2 verkürzen.

Eine weitere Möglichkeit, die tatsächlich angewandt wird, besteht darin, die Morsezeichen für die Ziffern durch Prädiktion zu verkürzen. Zum Beispiel wird für die Ziffer 1 (. - - - -) nur . - gesendet. Wenn klar ist, dass an dieser Stelle nur eine Ziffer gemeint sein kann, kann es nur die 1 sein. Ebenso kann rückwärts präzisiert werden, indem statt 9 (- - - - .) nur - . gesendet wird. Die bidirektionale Prädiktion, also das Vorhersagen von Daten aus früher und später gesendeten Daten, wird hauptsächlich bei der Quellencodierung von Bewegtbildern eingesetzt. Dabei wird z. B. nur einmal pro Sekunde ein vollständiges Bild übertragen; die Bilder dazwischen werden aus den beiden vorher und nachher übertragenen vollständigen Bildern vorhergesagt, und die Abweichungen zu diesen Vorhersagen werden übertragen.

Abhängig von den zu übertragenden Daten werden verschiedene Quellencodierungsverfahren eingesetzt. Für Text gibt es neben den Morsezeichen z. B. das *Fernschreibalphabet*, das auch bei Funkfern schreiben verwendet wird. Bei ihm ist jedes Zeichen mit 5 Bit codiert. Da damit aber nicht alle Buchstaben, Ziffern und Sonderzeichen (z. B. Komma) eines Textes dargestellt werden können, wird jedes Bitmuster für 2 Zeichen verwendet, also für einen Buchstaben und eine Ziffer bzw. ein Sonderzei-

chen. Dazu wird vor dem entsprechenden Zeichen ein Umschaltzeichen gesendet, das von der Buchstaben- in die Ziffernebene bzw. in die andere Richtung umschaltet. Für längere Texte oder Ziffernfolgen ist dies sehr effizient, da das Umschaltzeichen selten verwendet werden muss. Der Nachteil ist, dass unter Umständen viele Zeichen falsch wiedergegeben werden, wenn bei der Übertragung des Umschaltzeichens ein Fehler aufgetreten ist. Für die vollständige Darstellung von Texten (z. B. in einem Computer) wird deshalb meist ASCII (*American Standard Code of Information Interchange*) verwendet. Hier werden jeweils 8 Bit für einen Buchstaben verwendet. Dadurch können Groß- und Kleinbuchstaben, Buchstaben mit Akzenten sowie Ziffern und Satzzeichen codiert werden. Beispielsweise steht 01000001 für A, 01100001 für a und 11100001 für á.

Speziell im Amateurfunk werden in der digitalen Betriebsart *FT8* Rufzeichen und Locatorfeld besonders effektiv komprimiert: Da normale Amateurfunkrufzeichen das Format »XYZBBB« haben (X = Ziffer oder Buchstabe oder Leerzeichen, Y = Ziffer oder Buchstabe, Z = Ziffer, B = Buchstabe) können diese z. B. durch Verweis auf die entsprechende Position in der Liste \_0123456789ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ codiert werden.

Für X gibt es alle 37 Möglichkeiten, für Y nur 36, da nicht beide Zeichen vor der Ziffer Leerzeichen sein können. Für Z gibt es 10 und für B 27. Für jedes Zeichen kann demnach die Position in der entsprechenden (Teil-)Liste angegeben werden, z. B. für DA1AA die Positionen 14, 10, 1, 1, 1, 0.

Aus diesen Ziffern wird eine Zahl berechnet, die mit 28 Bit codiert werden kann und das Rufzeichen eindeutig darstellt. Im Vergleich zur Übertragung der sechs Zeichen als ASCII mit 48 Bit hat man also fast die Hälfte der Bits gespart.

Neben den Vocoder für Sprache und den Codes für Textelemente gibt es leistungsfähige Algorithmen für die Codierung von Bildern (z. B. JPEG) und von Video-Signalen mit Begleitton (z. B. MPEG1, 2, 4 und H.265, H.266). Letztere werden z. B. beim *digitalen Fernsehen DVB* verwendet, um hochaufgelöste Fernsehbilder (»HDTV«) mit Mehrkanalton in CD-vergleichbarer Qualität sowie Zusatzinformationen (wie Informationen zum Programm) übertragen zu können. Die Datenraten dabei betragen bis zu ca. 30 Mbit/s, je nach angestrebter Bild- und Tonqualität. Im Amateurfunk werden davon meist nur die Modes mit den geringsten Anforderungen genutzt, um mit Datenraten von unter 1 Mbit/s auszukommen, z. B. beim digitalen Amateurfunk-Fernsehen in den UHF- und SHF-Frequenzbereichen.

## 17.4 Funkübertragung digitaler Signale

Nach der Digitalisierung und Quellencodierung liegen Datenströme oder (falls diese abgespeichert wurden) Dateien vor, die diejenigen Daten enthalten, die die Signal-

## Kapitel 32

# Funkbetrieb außerhalb der eigenen vier Wände

Funkbetrieb mit zum Teil vereinfachter, tragbarer Ausrüstung kann viele Anlässe haben:

- ▶ »Bergfunker« (*Summits on the Air* [SOTA]): Funkbetrieb von Berggipfeln aus – eine sehr sportliche Mischung aus Bergwandern/Bergsteigen und Funken (Wettbewerbscharakter)
- ▶ »Inselfunker« (*Islands on the Air* [IOTA]): Funkbetrieb von Inseln aus (Wettbewerbscharakter)
- ▶ Notfunk, meist im Übungsbetrieb, aber auch im Echteininsatz
- ▶ *Fieldday* der Amateurfunkvereine
- ▶ vom Schrebergarten aus und aus Spaß am Funken draußen

Auch alle, die zu Hause keinen vernünftigen Funkbetrieb einrichten können, sind oftmals von Gärten oder Campingplätzen aus QRV.

Solange die Funkstelle während des Betriebs bewegt werden kann, z. B. Handfunksprechgerät, Portabelfunkgerät mit direkt befestigter Antenne, brauchen Sie bezüglich der BEMV-Vorschriften nichts zu unternehmen. Sobald eine Komponente der Anlage irgendwo befestigt wird, müssen Sie beim Überschreiten der 10-Watt-EIRP eine BEMV-Anzeige für den Außeneinsatz fertigen. Mit einer Senderausgangsleistung von 5 Watt ERP an einem Dipol bleiben Sie gerade noch unter dieser Grenze. Gleiches gilt für eine Trap-Groundplane wie die *Fritzel GPA-50*. Bei regelmäßigem Betrieb vom gleichen Grundstück aus kann auch die Meldung des weiteren Standorts bei der Bundesnetzagentur notwendig sein.

Oftmals kommt bei diesen Einsätzen abseits des heimischen Funkraumes eine QRP-Ausrüstung zum Einsatz. Um als QRP-Station zu gelten, dürfen bei Morsetelegraphie (CW) maximal 5 Watt Senderausgangsleistung auf die Antenne gegeben werden. Bei SSB werden von vielen Amateurfunkvereinigungen 10 Watt PEP als oberste Leistungsgrenze genannt. Es gibt keine offizielle Regelung dazu.

QRP ist auch für Selbstbauer interessant, da die Funkgeräte oder auch nur die Sender wegen der geringen Leistungen oftmals auch hinsichtlich der Bauweise spartanisch ausfallen können. Es gibt spezielle Seriengeräte für den QRP-Betrieb (Yaesu FT-818, nur noch gebraucht erhältlich, ICOM IC-705). Leistungsstärkere Funkgeräte verfügen meist über eine manuelle Einstellmöglichkeit für die Senderausgangsleistung, so dass Sie damit ebenso QRP-Betrieb durchführen können.

Auch von zuhause aus können Sie natürlich QRP-Betrieb durchführen.

## 32.1 Stromversorgung

### 32.1.1 Kabelverbindungen

Das hier Gesagte gilt auch für den stationären Funkbetrieb, wenn eine Gleichstromversorgung genutzt wird.

Nach der Norm IEC 60228 sollten Sie die Kabelquerschnitte bezüglich der maximalen Stromstärke beachten (siehe Tabelle 32.1). Im schlimmsten Fall wird ein zu dünnes Kabel warm, sogar heiß und löst unter Umständen einen Brand aus!

Kabelquerschnitt (mm <sup>2</sup> )	Maximaler Strom (A)	Absicherung (A)
1,5	15	10
2,5	20	16
4	25	20

**Tabelle 32.1** Kabelquerschnitt und maximaler Strom

Als Sicherungen verwenden Sie die bekannten Kfz-Schmelzsicherungen oder auch Automaten. Diese gibt es als Flachsteckeinsätze (analog den Schmelzsicherungen) und für den Frontplatteneinbau (technische Informationen hierzu finden Sie unter <https://www.e-t-a.de>).

Wegen des Spannungsabfalls halten Sie die Kabelverbindungen so kurz wie nur möglich. Ein Mehr an Länge gleichen Sie durch einen höheren Kabelquerschnitt aus.

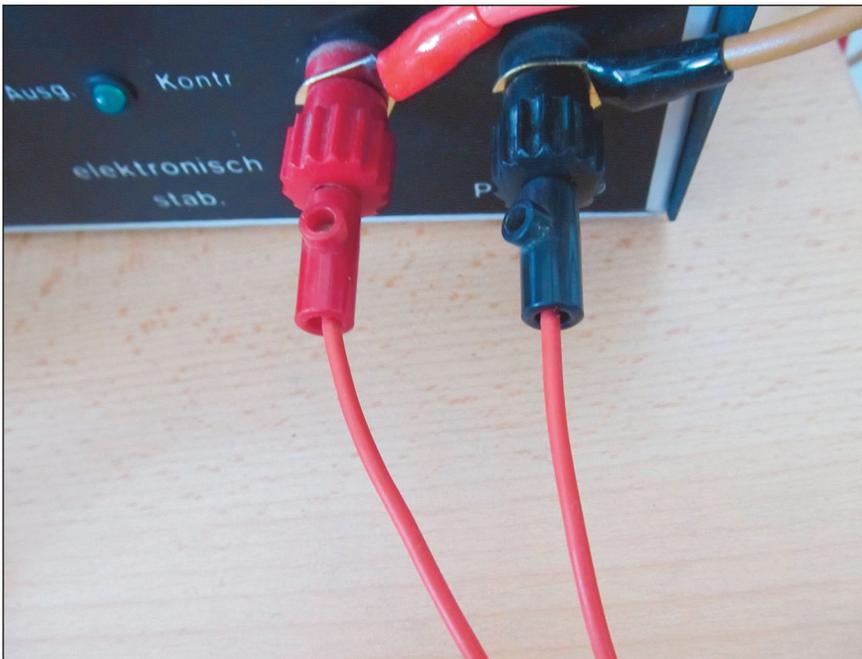
Netzteil, Funkgerät und Zusatzgeräte müssen miteinander verbunden werden. Dabei darf es keine großen Kontaktprobleme geben, und die Verbindungen sollten, wenn möglich, verpolungssicher sein. Speziell für 4-mm-Buchsen mit Verschraubung kommen Gabelkabelschuhe (siehe Abbildung 32.1) zum Einsatz.



**Abbildung 32.1** Verbindung mit Gabelkabelschuhen

Hier können Sie auch hohe Ströme übertragen. Leider ist diese Methode nicht verpolungssicher, außer Sie verwenden z. B. einen Gabelkabelschuh für den Pluspol und einen 4-mm-Stecker für den Minuspol.

Klassisch werden seit Jahrzehnten die 4-mm-Bananenstecker (siehe Abbildung 32.2) und -buchsen verwendet. In der Hektik und bei schlechter Beleuchtung können aber die Farben und damit die Pole vertauscht werden.



**Abbildung 32.2** Bananenstecker

Als Alternative zu den Bananensteckverbindungen bietet sich das Anderson-Power-Pole-System an. Hier gibt es keine Stecker und Buchsen; jeder Steckverbinder kann jede Aufgabe übernehmen. Es gibt hier genauso Einbaukontakte für die Gehäusemontage wie Kabelverbinder. Stromstärken bis 120 Ampere (z. B. in Flurförderzeug-

gen) sind damit möglich. Für die Belange im Amateurfunkbereich reichen meist Ausführungen bis 30 Ampere. Die Kabel müssen gecrimpt werden. Details erfahren Sie auf der Herstellerseite unter <https://www.andersonpower.com> und im Funkfachhandel.

Aus dem Boots- und KFZ-Bereich stammen die DIN-Einbau-Normsteckverbinder (siehe Abbildung 32.3). Diese sind verpolungssicher. Es gibt Kupplungen und Einbaudosen, auch mit Schutzdeckel. Die Dosen werden meist per 6,3-mm-Flachstecker mit dem Kabel verbunden. Die Normstecker sind auch als Universalmodelle für die (kleineren) Einbaudosen und den Zigarettenanzünderanschluss erhältlich, zum Teil mit eingebauter Schmelzsicherung. Adapter, um Geräte mit dem größeren Zigarettenanzünderstecker an einer Normeinbaudose anzuschließen, existieren ebenfalls. Normstecker gibt es in Ausführungen mit 8, 16 und 20 Ampere Strombelastung, die Dosen ebenso bis 20 Ampere (bei 2,5-mm<sup>2</sup>-Kabel).



**Abbildung 32.3** Kfz-Normstecker und Einbaudosen

### 32.1.2 Energiequellen

Wenn Ihre Gartenlaube oder der Campingplatz an das öffentliche Stromnetz angeschlossen ist, verwenden Sie natürlich Ihr Netzteil.

Abseits vom öffentlichen Stromnetz aber benötigen Sie zumindest für den zeitweisen Einsatz entweder Einwegbatterien (Primärelemente) oder – viel besser – Akkumulatoren. Die Nutzung von Einwegbatterien bietet sich in nur ganz wenigen Notfällen an. Für (ältere) Handfunksprechgeräte gibt es im Sonderzubehör Batterieaufnahmen, in die sowohl Akkus als auch Einwegzellen passen, meist in den Größen AA oder AAA.

Für den 12-Volt-Bereich kommen »Weidezaun«- oder »Laternenbatterien« (siehe Abbildung 32.4) in Betracht. Diese haben eine Spannung von 6 Volt, sodass immer zwei Stück benötigt werden. Sie finden sie im Verkaufssortiment des Landwirtschaftsbedarfs.



Abbildung 32.4 Weidezaun- bzw. Laternenbatterie

Passend dazu gibt es von diversen Campingartikelherstellern Behälter mit einer Zigarettenanzünderdose (siehe Abbildung 32.5). Der Universalstecker kann hier zum Einsatz kommen.



Abbildung 32.5 Batteriebehälter

In Tabelle 32.2 finden Sie einen Vergleich der für den Amateurfunk einsetzbaren Akkutypen. Nicht aufgeführt sind jene Akkus, die »offen« sind, also gasen oder auslaufen können (z. B. Nickel-Eisen-Akkus oder Blei-Säure-Akkus). Diese können Sie

aber durchaus fest installiert in einem Gartenhaus oder einer Berghütte vorhalten. Beachten Sie hier aber unbedingt die Einbau- und Betriebshinweise (Temperaturen, Knallgasbildung).

Akkutyp	Eigenschaften
Lithium-Ionen-Akku	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Sie sind oft bereits bei neueren Handfunksprechgeräten in Verwendung.</li> <li>▶ »Power-Banks« für 5-Volt-USB-Anschlüsse können an solchen Geräten verwendet werden.</li> <li>▶ Bei falscher Handhabung kann der Akku explodieren oder Brände auslösen.</li> <li>▶ Benötigt spezielle Zellenüberwachung und Ladetechnik.</li> </ul>
Blei-Vlies-Akku (AGM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kann mit jedem (einstellbaren) Bleibatterieladegerät geladen werden.</li> <li>▶ hohes Gewicht</li> <li>▶ unkomplizierte Handhabung</li> </ul>
LiFePO <sub>4</sub> -Akku	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ hohe Energiedichte; bei gleicher Kapazität nur 1/3 des Gewichts eines vergleichbaren Blei-Vlies-Akkus</li> <li>▶ Mit Blei-Vlies-Akkus kompatible Akkublöcke sind erhältlich.</li> </ul>
Nickel-Hydrid-Akku	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ in Standardgrößen (A, AA, AAA und 9-Volt-Block) erhältlich.</li> <li>▶ Zellen mit Anschlussfahnen sollten punktverschweißt werden.</li> <li>▶ robust und unkompliziert</li> </ul>

**Tabelle 32.2** Akkutypen

Verwenden Sie passende Ladegeräte, die auf die einzelnen Akkutypen eingestellt sind. Ziehen Sie die Datenblätter der Akkus zurate. Wählen Sie eine etwas niedrigere Ladeschlussspannung und eine etwas höhere Entladeschlussspannung. Dies erhöht die Lebensdauer (Zyklenzahl) teilweise erheblich.

Achten Sie auch auf die Hinweise bezüglich des Temperaturbereichs, in dem der Akku benutzt werden kann: Ein Zuviel an Hitze oder Kälte schränkt die Nutzbarkeit ein oder führt gar zu Beschädigungen.

Überwachen Sie die Akkuspannung beim Empfangsbetrieb. Einige Funkgeräte (z. B. FT-817 und FT-818) können die Betriebsspannung im laufenden Betrieb anzeigen.

Die Größe und damit das Gewicht des transportablen Energiespeichers werden durch die Leistungsaufnahme des Funkgeräts und die Betriebsdauer bestimmt. Die Kapazität (C) steigt natürlich mit dem Gewicht des Akkus – das Sie dann aber eventuell im Rucksack auf den Berg schleppen müssen.

2 Ah bis 4 Ah reichen für viele Stunden Funkbetrieb mit einem FT-817/818 aus, Gleiches gilt für Handfunksprechgeräte. Wenn Sie ein Funkgerät verwenden, das schon beim Empfang 0,5 Ampere und mehr schluckt, sollten Sie schon zwischen 10 Ah und 30 Ah vorsehen. Die Reduzierung der Sendeleistung auf das Notwendige verhilft ebenso zu einer längeren Betriebsdauer. Natürlich wird die Größe auch von der Lademöglichkeit beeinflusst. Kann mittels einer weiteren Stromversorgung geladen oder gar gepuffert werden, darf der Energiespeicher kleiner ausfallen.

### 32.1.3 »Strom verpackt«

Niemand steckt einfach so einen Akkublock in den Rucksack und macht sich damit auf den Weg ins Grüne. Allein die Möglichkeit, dass leitende Gegenstände die Anschlüsse miteinander verbinden und damit zu einem Kurzschluss führen, sollte Sie davon abhalten. Das Hantieren mit Polzangen und anderen Anschlussmöglichkeiten ist auch nicht die Lösung. Zudem muss der Akkublock abgesichert und gegebenenfalls mit einer Spannungsüberwachung versehen werden.

Spendieren Sie Ihrem Funkakku also eine schützende Behausung! Und auf dieser bringen Sie einen Aufkleber mit allen wichtigen Daten an:

- ▶ Typ
- ▶ maximaler Ladestrom
- ▶ Absicherung (A)
- ▶ Ladeschlussspannung
- ▶ Entladeschlussspannung

Größere Blei-Vlies- oder auch die leichteren LiFePO<sub>4</sub>-Akkumulatoren passen gut in einen kleinen Werkzeugkoffer. Das in Abbildung 32.6 gezeigte Modell verfügt im Deckel über zusätzliche Staufächer. Darin sind gut geschützt ein schaltbares digitales Voltmeter und eine Normsteckdose untergebracht (siehe Abbildung 32.7).

Anstelle der sonst üblichen Kippschalter wurde ein Druckschalter verwendet. Bei der Auswahl des Messwerks muss darauf geachtet werden, dass es keine eigene Stromversorgung benötigt, sondern mit der Messspannung gespeist werden kann – bei Drehspul- oder Dreheisenmesswerken ist das kein Problem. Leider sind diese elektromechanischen Anzeigen größer und empfindlicher.



Abbildung 32.6 Stromkoffer



Abbildung 32.7 Steckdose und schaltbares Voltmeter

Der Akkumulator (12 V, 12 Ah) selbst muss dann gut im Koffer befestigt werden (siehe Abbildung 32.8).

Dieser Koffer wird für den Funkbetrieb mit einem IC-718 oder FT-817 verwendet. Allerdings speist er auch einige LED-Lampen, wenn auf dem Land wieder mal ein Schneesturm oder ein Baum die örtliche Stromversorgung unterbrochen hat.

Vor allem auf den kleinen Yaesu FT-818 und seinen Vorgänger zugeschnitten ist der »Flachmann« in Abbildung 32.10. Das Gehäuse ist eine Transportbox für 3,5-Zoll-Festplatten. Sie ist ausreichend stabil und vor allem kompakt.

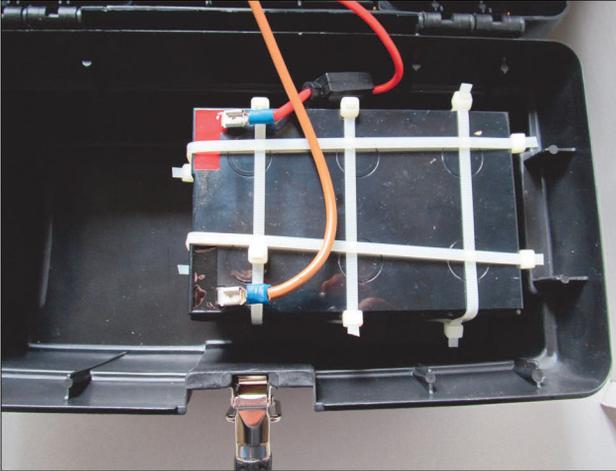


Abbildung 32.8 Befestigter Blei-Vlies-Akku mit Sicherung

Das Innenleben, das Sie in Abbildung 32.9 sehen, besteht aus folgenden Teilen:

- ▶ 10 NiMH-Akkus 2,4 Ah
- ▶ 1 Batteriehalterung für 10 Zellen der Größe AA
- ▶ 1 KFZ-Sicherungshalter im Kabel
- ▶ 1 KFZ-Schmelzsicherung 7,5 A
- ▶ ca. 25 cm Kabel, 1,5 mm<sup>2</sup>, schwarz
- ▶ 1 KFZ-Normsteckdose mit Schutzdeckel
- ▶ 2 KFZ-Flachstecker 6,3 mm zum Crimpen
- ▶ 1 langer Kabelbinder oder ein Stück Verpackungsband aus Kunststoff

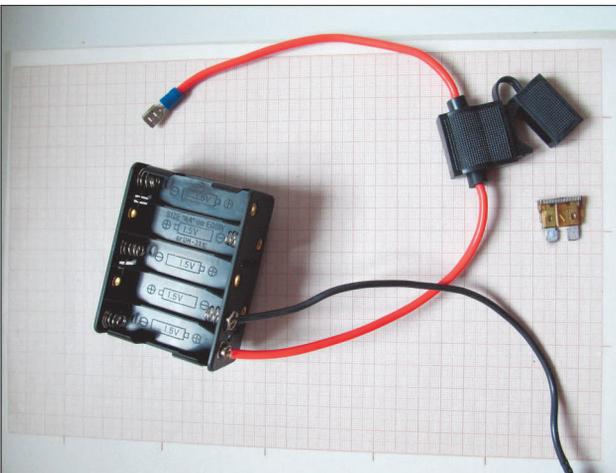


Abbildung 32.9 Das Innenleben des »Flachmanns«



**Abbildung 32.10** Der »Flachmann«

Das Sicherungskabel durchtrennen Sie so, dass die Sicherung in der Mitte liegt. Setzen Sie die Sicherung gleich ein. Längen Sie das schwarze Kabel passend ab. Isolieren Sie alle Kabelenden ab. Bringen Sie jeweils einen der KFZ-Flachstecker an jedes Kabel an. Hierfür benötigen Sie eine Crimp- oder Kombizange. Zusätzlich können Sie von der Steckerseite her etwas Lötzinn in den Stecker laufen lassen.

Das freie Ende des roten Kabels schieben Sie durch das Loch des Pluspols der Batteriehalterung und löten es von der Batterieseite her an. Da der Kunststoff bei hohen Temperaturen leicht verformbar ist, müssen Sie auf eine zügige Arbeitsweise achten. Das Gleiche erledigen Sie mit dem freien Ende des schwarzen Kabels. Den Minuspol erkennen Sie am »Krönchen« der Clip-Verbindung. Verbinden Sie die Kabelenden mit den Flachsteckern mit den Anschlüssen der Einbausteckdose. Der äußere Metallkörper wird mit dem schwarzen Kabel (Minuspol), das rote Kabel mit dem Punkt in der Mitte der Dose (Pluspol) verbunden.

Nun müssen Sie die AA-Zellen in die Halterung eindrücken. Achten Sie stets auf die Polung: Feder = Minuspol! Es ist normal, dass man hier durchaus Kraft anwenden muss!



### Akkupack

Miteinander punktverschweißte Zellen wären besser geeignet als eine Batteriehalterung und Einzelzellen. Manche Händler von elektronischem Material bieten den hierfür notwendigen Service an und stellen Ihnen ein Akkupack zusammen.

Messen Sie mit einem Vielfachmessgerät nach, ob an den Flachsteckanschlüssen der Einbaudose rund 12 Volt anliegen und die Polarität stimmt. Wenn alles stimmt, nehmen Sie den Kabelbinder oder das Verpackungsband. Drücken Sie es so in den Behälter, dass die Enden an den schmalen Seiten bis zum Rand ragen. Schieben Sie die Batteriehalterung und die Kabel vorsichtig hinein. Wenn Sie irgendwann die Zellen austauschen wollen, können Sie mit dem Kabelbinder/Verpackungsband die Halterung herausziehen.

### 32.1.4 Spannungs- und Strommessgerät im Eigenbau

In diesem Abschnitt lernen Sie ein kleines, aber durchaus nützliches Selbstbauprojekt kennen. Es muss kaum gelötet werden; saubere Arbeit ist trotzdem notwendig. Hier lernen Einsteiger vor allem etwas über das Zurichten von Gehäusen, weshalb die Anleitung sehr detailliert ausfällt.

Planen Sie hierfür, wenn Teile und Werkzeug bereitstehen, ruhig zwei Stunden ein.

Als Messeinheit wurde hier das *COM-VAM10010* verwendet. Es ermöglicht gleichzeitig die Spannungs- und Strommessung und kann von der Messspannung aus versorgt werden. Die Daten entnehmen Sie Tabelle 32.3. Das Messgerät verfügt über einen integrierten Shuntwiderstand, den Sie in Abbildung 32.11 als dicken silberfarbenen Draht erkennen können.

Eigenschaft	Wert
Betriebsspannung	3,5 V bis 30 V
Messbereich Spannung	0,9 V bis 99,9 V
Messbereich Strom	0 A bis 9,99 A
Anzeigegröße	0,28 Zoll
Anzeigen	Rot: Spannung; Grün: Strom

Tabelle 32.3 Daten des VAM10010

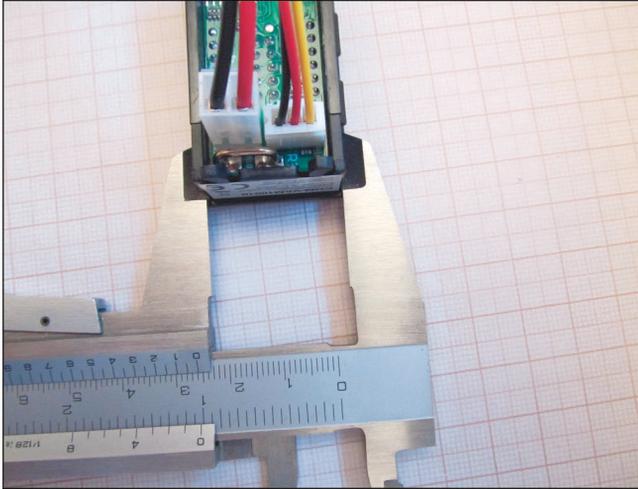


Abbildung 32.11 Die Rückseite des Messgeräts

Das »Messgerät« soll zwischen der Stromversorgung und dem Funkgerät eingeschleift werden. Die Ausführung hier besteht aus einem Gehäuse mit dem Messwerk, einem Kabel mit Normstecker und einer Normeinbaudose. Die Teileliste finden Sie in Tabelle 32.4.

Anzahl	Teil
1	Gehäuse, Kunststoff oder Metall
1	Normstecker (KFZ)
1	Einbaudose (KFZ)
2	Flachstecker 6,3 mm
1	Lüsterklemme 2,5 mm <sup>2</sup>

Tabelle 32.4 Materialliste

Bei der Wahl des Gehäuses und der Platzierung der Einbaudose müssen Sie die Einbautiefe der Einbaudose berücksichtigen. Im Anschluss beginnen Sie mit dem Anzeichnen der Bohrungen für die Gehäuseöffnungen.



#### Achten Sie auf Ihre Sicherheit!

- ▶ Arbeiten Sie mit einem Bohrständer oder einer Ständerbohrmaschine!
- ▶ Fixieren Sie die Werkstücke gegebenenfalls mit einem Maschinenschraubstock!
- ▶ Benutzen Sie bei den Bohrarbeiten Schutzbrille und Schutzhandschuhe!

Schützen Sie die Gehäuseteile vor Beschädigungen während der Bearbeitung. Dies kann mit Filzgewebe oder einer leicht abziehbaren Schutzfolie geschehen.

Messen Sie zunächst die Innenmaße des Messwerks mit einem Messschieber (siehe Abbildung 32.11). Mit diesen Maßen fertigen Sie ein Papier- oder Kartonstück an und platzieren es nach Ihren Wünschen am Gehäusedeckel. Mit einem Winkel stellen Sie sicher, dass der Übertrag rechtwinklig gelingt. Setzen Sie mit einem Permanentstift die vier Eckpunkte (siehe Abbildung 32.12).

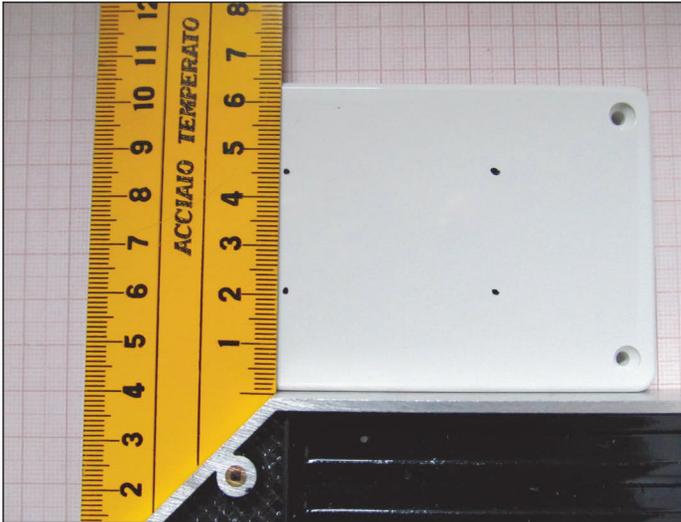


Abbildung 32.12 Anbringen der Eckpunkte

Verbinden Sie die Eckpunkte, sodass der Ausschnitt für das Messwerk dargestellt wird (siehe Abbildung 32.13).

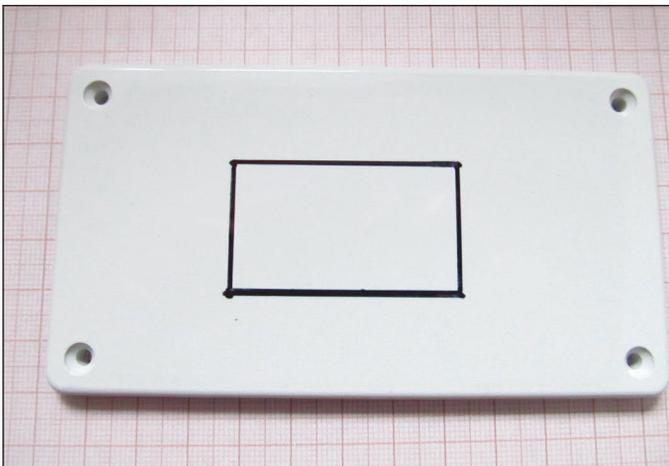
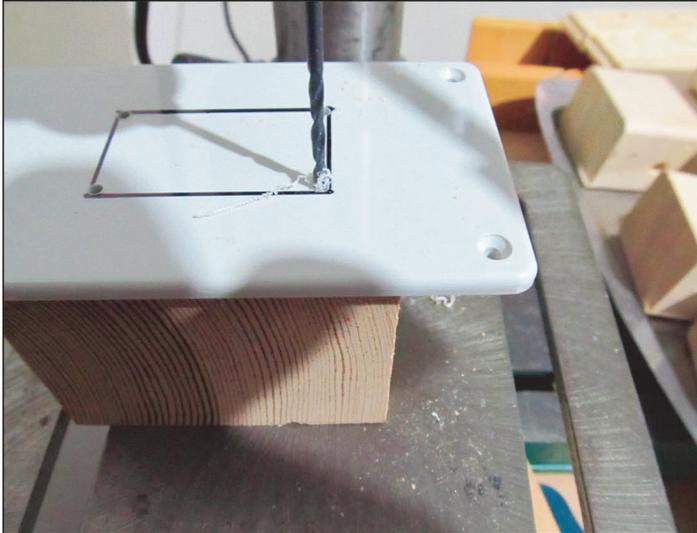


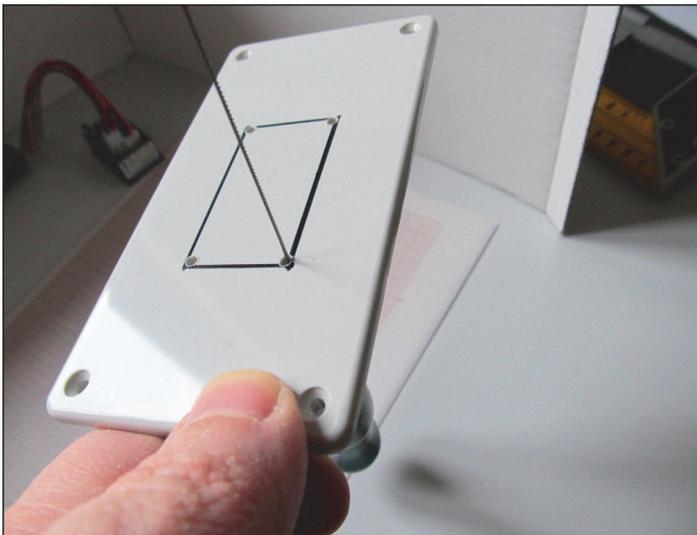
Abbildung 32.13 Aufgezeichneter Ausschnitt

Fertigen Sie die »Einstiegsbohrungen« für die Laubsäge mit einem 4-mm-Bohrer (siehe Abbildung 32.14).



**Abbildung 32.14** Fertigen der Bohrungen

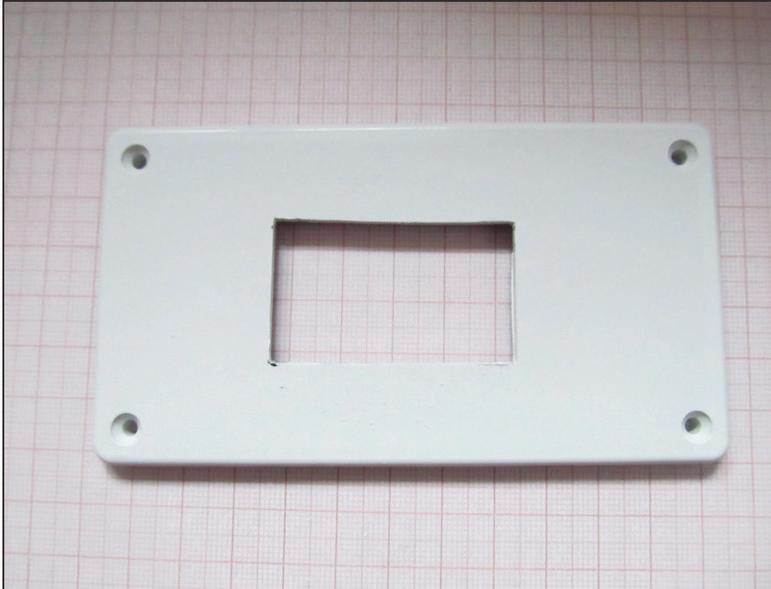
Mit der Laubsäge arbeiten Sie sich den Linien entlang und schaffen so den Ausschnitt (siehe Abbildung 32.15).



**Abbildung 32.15** Anfertigen des Ausschnitts

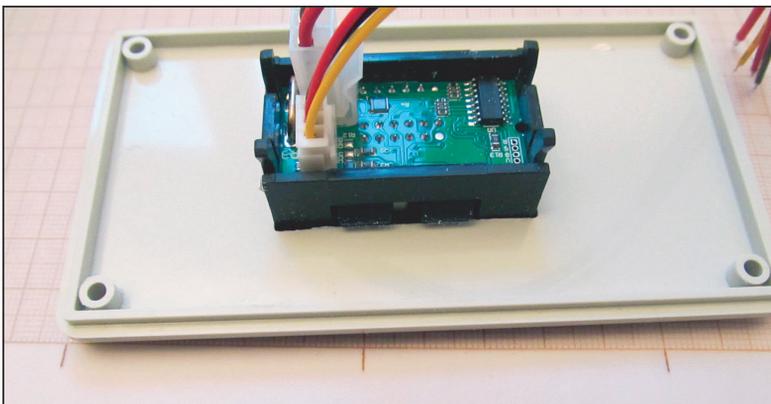
Versuchen Sie, das Messwerk in die Öffnung einzustecken. Merken Sie sich, wo die Öffnung zu eng ist, und arbeiten Sie mit einer Feile nach. Führen Sie dies in kurzen

Arbeitsschritten durch, und kontrollieren Sie immer wieder, ob das Messwerk durch den Ausschnitt passt. Gefeilt und entgratet, sieht der Gehäusedeckel so wie in Abbildung 32.16 aus.



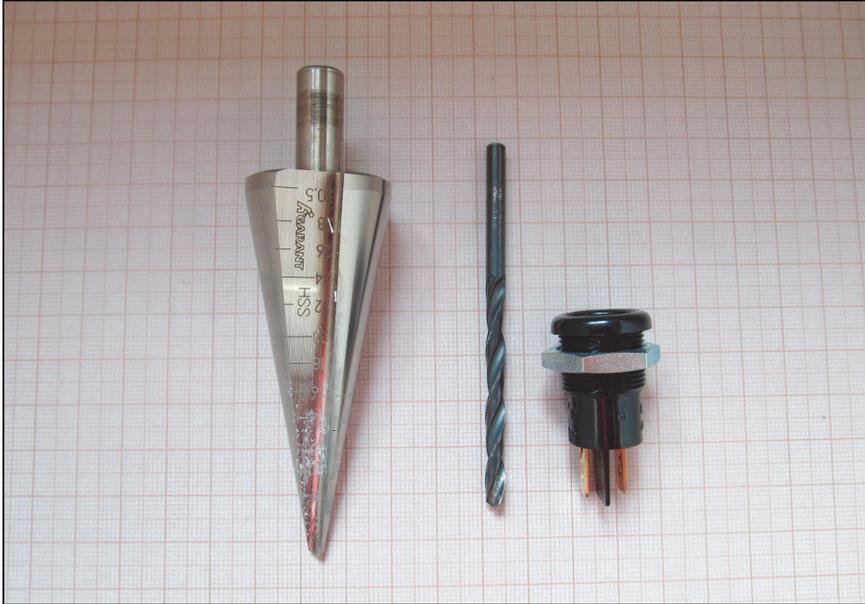
**Abbildung 32.16** Gefeilte und entgratete Öffnung

Nun können Sie das Messwerk einrasten lassen. Dabei können Sie vorsichtig die Rastnocken mit einer Zange zusammendrücken. Damit ist der Deckel fertig montiert (siehe Abbildung 32.17).



**Abbildung 32.17** Eingerastetes Messwerk

Für den Einbau der Öffnungen für Kabel und Normsteckdose benötigen Sie einen Bohrer (4 mm) und einen Schälbohrer (siehe Abbildung 32.18).



**Abbildung 32.18** Bohrer

Zeichnen Sie nun an der Gehäuseschale den Mittelpunkt für die kreisförmige Öffnung für die Normsteckdose an. Darüber hinaus zeichnen Sie auch die Position für die Kabeleinführung an.

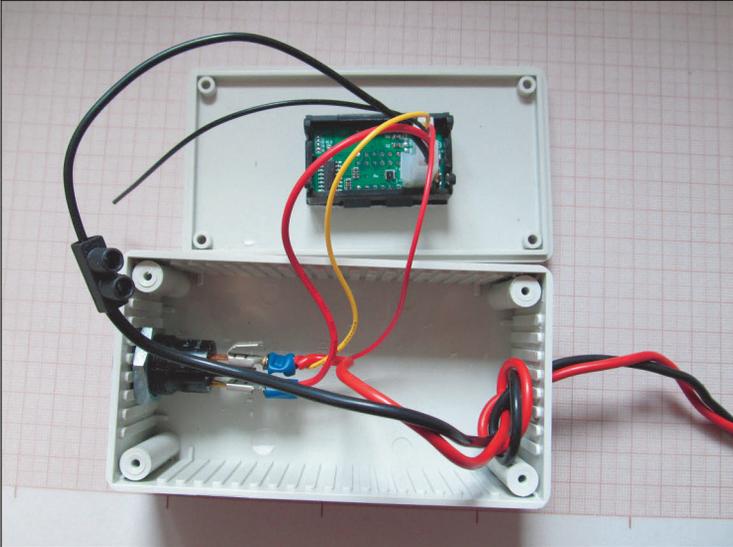
Mit dem 4-mm-Bohrer erstellen Sie die Führungslöcher. Spannen Sie die Gehäuseschale gut in einen Maschinenschraubstock ein. Mit dem Schälbohrer fertigen Sie die Öffnung für die Normsteckdose. Lassen Sie den Bohrer nur in kleinen Schritten eintauchen, und kontrollieren Sie immer, ob der Steckdosenkörper »gerade so« durch die Öffnung passt. Die Kabeldurchführung benötigt weniger Durchmesser. Arbeiten Sie auch hier langsam, damit die Öffnung nicht zu weit wird!

Entgraten und versäubern Sie die beiden Öffnungen mit einer Feile und gegebenenfalls einem Messer. Anschließend bringen Sie die Normsteckdose ein und ziehen die Mutter fest. Prüfen Sie den Sitz der Steckdose.

Führen Sie die Kabel durch die dafür angefertigte Öffnung. Mit einem Knoten bilden Sie eine Zugentlastung. Alle Kabelenden isolieren Sie ab.

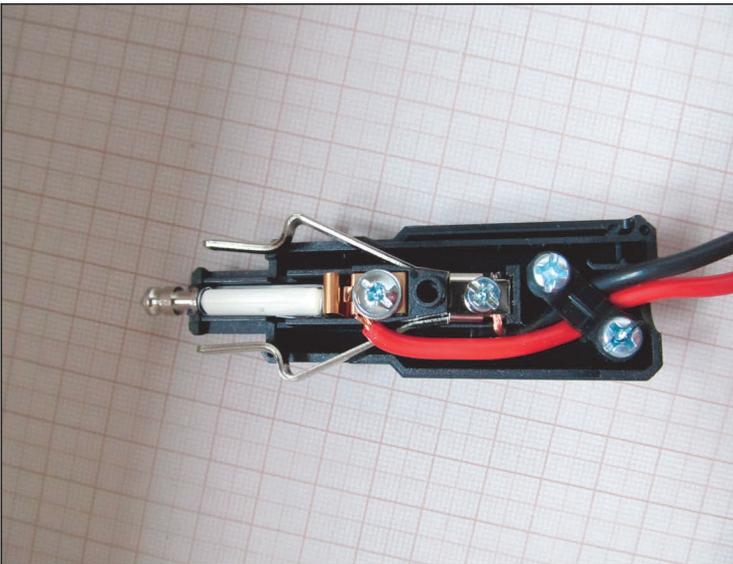
Stellen Sie die Verdrahtung von Dose und Messwerk her. Der Anschlussplan für das Messwerk zeigt Ihnen die Besonderheiten bezüglich der Speisung durch die Messspannung. Die Normsteckdose wird über die Flachstecker angeschlossen. Beachten Sie die Polarität (außen = Minuspol, innen = Pluspol). Wenn Sie das vorgeschlagene Messwerk verwenden, bleibt das dünne Massekabel ungenutzt.

Abbildung 32.19 zeigt das fertige Innenleben.



**Abbildung 32.19** Innenansicht

Öffnen Sie nun den Normstecker. Die Steckerspitze verbinden Sie mit dem Pluskabel (hier: rot). Die Klammern werden an das schwarze Kabel angeschlossen. Setzen Sie die Zulentlastung wieder auf, und prüfen Sie deren Sitz. Den fertigen Stecker sehen Sie in Abbildung 32.20.



**Abbildung 32.20** Innenansicht des Steckers

Kontrollieren Sie die Verkabelung nochmals.

Setzen Sie den Deckel auf die Gehäuseschale, und verschrauben Sie ihn. Das fertige Gerät sehen Sie in Abbildung 32.21.

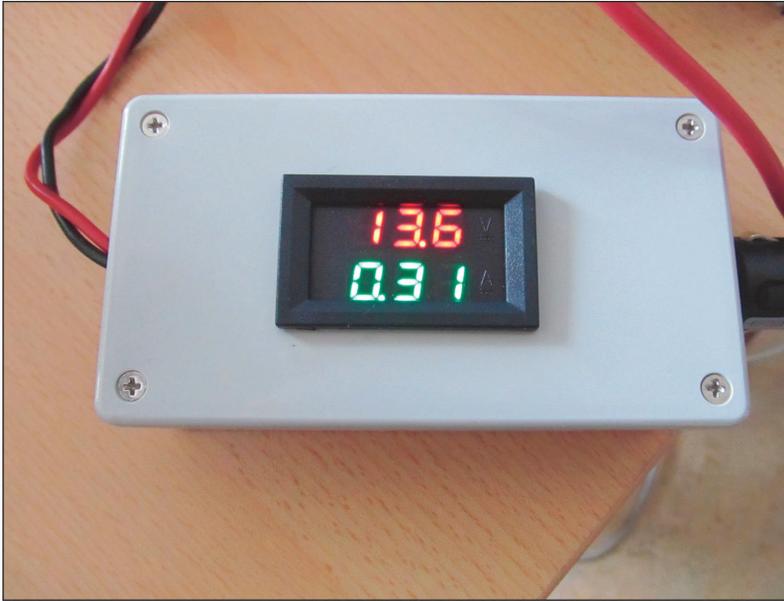


Abbildung 32.21 Das fertige Gerät im Einsatz

### 32.1.5 Laderegler

Für eine lange Lebensdauer und eine hohe Betriebssicherheit von Akkumulatoren sind vor allem geeignete Laderegler wichtig.

Es gibt besonders aus dem Modellbaubereich universelle Laderegler. Diese können auf den Akkutyp (Blei-Vlies [AGM], NiMH, Lithium-Ionen, LiFePO ...) und die Zellenzahl eingestellt werden. Manche verfügen auch über Akkupflegeprogramme und entsprechende Lade-/Entladevorgänge.

Das in Abbildung 32.22 gezeigte Modell verfügt über ein eingebautes Netzteil, kann aber ebenso mit 12 Volt versorgt werden. Jede stabilisierte 12-Volt-Versorgung (KFZ, Boot, Kleinsolarversorgung ...) kann zum Akkuladen benutzt werden.

Die linke Seite des Geräts (siehe Abbildung 32.23) enthält die Anschlüsse für die Energieversorgung. Sie können das Gerät entweder an 230 Volt oder einer Gleichspannung zwischen 11 und 19 Volt betreiben. Die Gleichspannungsversorgung muss aber einigermaßen stabil bleiben, wenn höhere Ladeströme fließen sollen.



Abbildung 32.22 Akkulader



Abbildung 32.23 Versorgung des Akkuladers

An der rechten Geräteseite (siehe Abbildung 32.24) wird der zu ladende Akku angeschlossen. Die 4-mm-Buchsen sind für alle Akkuspannungen nutzbar, die anderen Anschlussmöglichkeiten sind vor allem für konfektionierte Modellbauakkus gedacht.

Weniger aufwendig ist ein Solarlader. Er kommt mit einem weiteren Eingangsspannungsbereich zurecht. Die Eingangsspannung muss aber rund 3 Volt über der Akkuspannung liegen. Dieser Ladereglertyp ist für alle Blei-Vlies-, Blei-Gel- und Blei-Säure-

Akkus geeignet. Außerdem gibt es »kompatible« LiFePO<sub>4</sub>-Akkumulatoren, die aufgrund interner Schutzschaltungen wie die unterschiedlichen Blei-Akkus geladen werden können. Diese Laderegler werden als Fertigmodule (siehe Abbildung 32.25) oder auch als Bausätze angeboten.



Abbildung 32.24 Die Anschlussseite für den Akku



Abbildung 32.25 Solarladeregler

### 32.1.6 Quellen für den Ladestrom

Abseits vom öffentlichen Stromnetz haben Sie verschiedene Möglichkeiten, die notwendige elektrische Energie für das Laden von Akkumulatoren bereitzustellen. Auch ein Pufferbetrieb kann bei mancher Lösung durchaus infrage kommen. Wenn Sie Ihr

Funkgerät direkt versorgen möchten, benötigen Sie eine Spannungsstabilisation, wie sie auch in Netzteilen zur Anwendung kommt. Zudem ist ein Puffer mit Speicherkondensatoren sinnvoll. Kurzfristige Spannungsschwankungen gleichen Sie damit aus.

*Kurbelgeneratoren* sind sowohl als ausgesondertes Militärmaterial («Surplus») als auch als Neugeräte im Handel zu beziehen. Suchen Sie sich ein Gerät aus, mit dem Sie auch mal ein oder zwei Stunden durchhalten. Ein Handfunksprechgerät kann damit wieder für eine bestimmte Zeit aktiviert werden. (Natürlich können Sie das Gerät mit einem 5-Volt-USB-Anschluss auch für das Smartphone verwenden.) Abbildung 32.26 zeigt Ihnen ein Modell der ehemaligen Sowjetarmee, das auf Flohmärkten angeboten wird. Es ist sehr massiv und verfügt über eine umschaltbare Spannungs- und Stromanzeige. Den auf diesem Messgerät angezeigten Spannungswert müssen Sie verdoppeln.



**Abbildung 32.26** Kurbelgenerator

Während mit dem »militärischen Gerät« rund 12 Volt bereitstehen, geben »moderne« Kurbelgeneratoren eine Spannung von 5 Volt ab, meist über einen USB-Anschluss.

Bei dieser Art der Stromerzeugung spüren Sie im wahrsten Sinne des Wortes, dass hier Arbeit verrichtet wird, die normalerweise von Maschinen geleistet wird.

*Thermoelektrische Generatoren* wandeln Wärme ohne Umwege direkt in elektrische Energie um. Überwiegend werden sie in der Raumfahrt und im Militärbereich eingesetzt. Der Wirkungsgrad dieser Systeme ist nicht besonders hoch. Dafür sind diese Stromerzeuger in der Regel geräuschlos, es sei denn, der Kühlerlüfter läuft. Die

Wärmequelle kann ein Gas- oder Spirituskocher, aber auch ein mit Holz befeuerter Küchenherd sein. Direkt über offenem Feuer kann man so ein Gerät auch betreiben, es verschmutzt dann aber stark. Setzen Sie es dann lieber auf eine glatte Metallplatte auf, die wiederum vom Feuer berührt wird.

Der Thermogenerator gibt bei zu hoher Temperatur einen Warnton ab. In diesem Fall sollten Sie ihn von der Wärmequelle entfernen oder die Wärmeabgabe reduzieren. Andernfalls wird der Stromerzeuger zerstört.

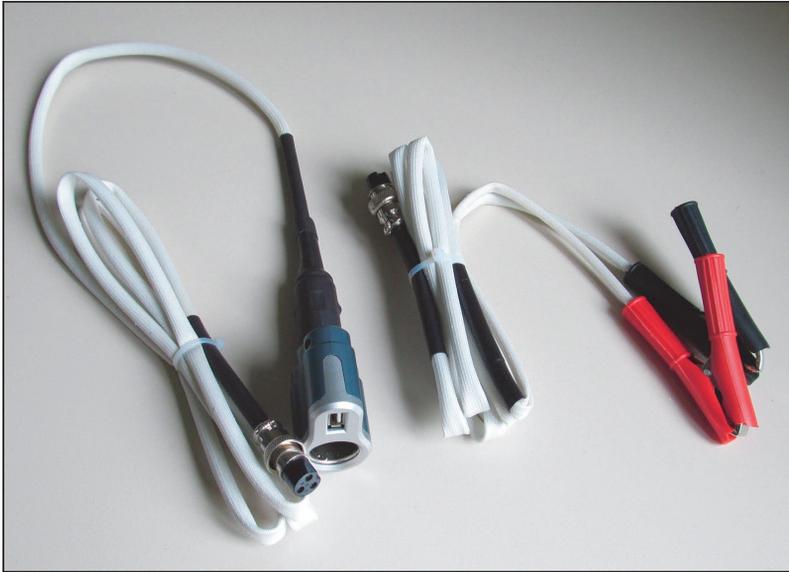
Abbildung 32.27 zeigt ein 15-Watt-Modell, das Sie im Internet bestellen können. Es ist auch als 45-Watt-Ausführung erhältlich.



**Abbildung 32.27** Thermogenerator im Einsatz

Sie haben zwei Anschlussgarnituren bei diesen Geräten: Eine gibt die erzeugte Spannung unregelt ab. Damit können Sie dann über einen Laderegler einen Akku laden.

Die andere gibt 12 und 5 Volt stabilisiert ab. Die Kabel (siehe Abbildung 32.28) sind mit hitzebeständigem Material isoliert.



**Abbildung 32.28** Anschlusskabel des Thermogenerators

Natürlich sind für Berghütten, Wohnmobile und Schrebergartenhäuschen Solarzellen und Kleinwindanlagen ideal für die Stromversorgung. Auf Booten, aber auch an fließenden Gewässern bieten sich kleine Schleppturbinen an.

## 32.2 Funkkoffer

In einem Funkkoffer oder -rucksack transportieren Sie Ihr Funkgerät, den Akku und unbedingt notwendiges Zubehör. Wichtig ist, dass alle Gegenstände gut befestigt sind, damit beim Transport kein Schaden auftritt. In einen einfachen Aktenkoffer passen ein FT-818 und ein zusätzlicher Akku samt Drahtantenne. Eine Nummer größer sind Sie mit einem Handkreissägenkoffer aus Stahlblech unterwegs. In ihn passt ein größeres Funkgerät samt Stromversorgung und Antennenanpassgerät, falls notwendig. Natürlich können Sie auch aus Mehrschichtplatten, Sperrholz und entsprechenden Kofferbeschlägen einen Koffer nach eigenen Vorstellungen anfertigen. Gute Anregungen hierfür kommen auch aus dem Notfunkbereich.

Für den »Bergfunker« genügen ein kleines, leichtes Funkgerät, ein Zusatzakku und die Antenne. Das alles zusammen wiegt nicht viel und nimmt im Rucksack wenig Platz ein.

Im Internet zeigen Funkamateure eine Vielzahl von Lösungen rund um dieses Thema: Suchen Sie nach den Begriffen »Funkkoffer« oder »Notfunkkoffer«. Vergessen Sie bei Ihren Eigenbauten nicht, dass im Sendebetrieb Abwärme entsteht, die auch abgeführt werden muss. Bauen Sie das Funkgerät also »luftig« ein. Meist befinden sich auf der Oberseite oder der Rückseite die Kühlkörper der Sendeendstufen. Hier muss kühlende Luft durchziehen können!

### 32.3 Antennen für den Portabeinsatz

Antennen für den Portabeinsatz müssen drei Eigenschaften aufweisen: wenig Gewicht, kleines Packmaß und Robustheit (auch bei häufigem Zusammen- und Abbau). Für Kurzwellenfunker eignen sich leichte Drahtantennen, die z. B. mit zerlegbaren Glasfibernasten gespannt werden können. Hier können Sie Dipole, FD3/FD4 oder endgespeiste Ausführungen (*HyEndFed*) verwenden.

Abbildung 32.29 zeigt eine ältere Ausführung der HyEndFed-Antenne für die Bänder 10 m, 20 m und 40 m. Sie ist ca. 12 m lang. Weitere Angaben und die aktuellen Ausführungen dieser Antennen finden Sie auf der Website des Herstellers unter <https://www.hyendcompany.nl>.



Abbildung 32.29 HyEndFed für den Portabeinsatz

Mit dem Endisolator kann die Antenne einfach am Ende eines Glasfibernastes befestigt werden (Abbildung 32.30).



**Abbildung 32.30** Endisolator der HyEndFed auf der Spitze eines GFK-Mastes

Wenn Sie am Standort Ihrer Funkaktivitäten auf eine andere Spannmöglichkeit für eine Drahtantenne zurückgreifen können, müssen Sie keinen auch noch so leichten GFK-Mast mitführen. Meist besteht das Problem darin, dass man entweder an dem Baum oder dem Gipfelkreuz hochklettern müsste und ein Seil, mit dem man die Antenne hochzieht und spannt, irgendwie »herumbekommen« muss.

Hier hilft entweder eine spezielle Vorrichtung, die aus einer Angelrolle und einer Zwille besteht, oder Sie nähren sich aus einem robusten Stück Stoff (Jeans, dickes Leinen) eine Wurf tasche. Diese befüllen Sie am Aufbauort mit kleinen Steinen, binden das Führungsseil daran und werfen diese über das Gipfelkreuz oder den Baum. Am freien Seilende hängen Sie Ihre Drahtantenne ein – und schon sind Sie QRV. Die Wurf tasche finden Sie in Abbildung 32.31. In der Mitte der Taschenöffnung befinden sich zwei gegenüberliegende Nieten. Durch deren Bohrungen wird das Seil gezogen und verknotet.



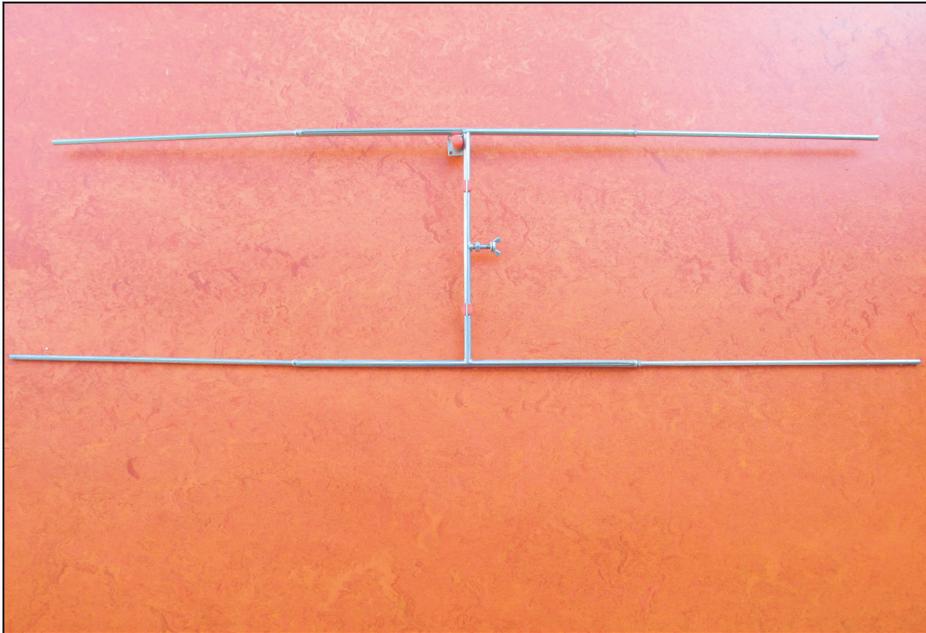
Abbildung 32.31 Wurftasche mit dünnem Seil

Wenn Sie unabhängig von Spannmöglichkeiten agieren wollen, brauchen Sie eine Antenne, die sich selbst trägt. Für den Portabelfunk bieten sich entsprechend lange Teleskopantennen (es gibt sie bis 5 m Länge) an, die Sie mit einem Anpassgerät abstimmen. Auch lange Mobilstrahler für Kurzwelle sind hier gute Alternativen. Für dem Mehrbandbetrieb bieten einige Hersteller Portabelantennen an wie *Buddipole*, *Buddistick*, *I-Pro Traveller*, *MP-1* oder *HF-P1*. Diese Antennen benötigen alle Radiale für eine brauchbare Abstrahlung. Sie arbeiten überwiegend mit Verkürzungsspulen. Damit werden die Antennen schmalbandig, und von der kostbaren Sendeenergie wird, je tiefer die Frequenz ist, weniger abgestrahlt.

Da sind dann auch die magnetischen Antennen durchaus Alternativen. Die *Chameleon P-Loop* deckt die Bänder 40 m bis 10 m ab und ist zerlegbar. Eine leichte magnetische Antenne können Sie einfach selbst bauen. Der Abstimmkondensator kann über eine lange, isolierte Kunststoffachse betätigt werden. Etwas Sicherheitsabstand schadet aber auch hier nicht, selbst bei geringen Sendeleistungen.

Handfunksprechgeräte und Portabelfunkgeräte für die Funkbänder ab 144 MHz haben angeschraubte Antennen. Mit diesen ist FM- oder Digitalbetrieb möglich, da hier mit vertikal polarisierten Antennen gearbeitet wird. Für Verbindungen in SSB und CW benötigen Sie aber eine horizontal strahlende Antenne.

Für den Betrieb auf den VHF- und UHF-Bändern gibt es einige kompakte, aber leistungsfähige Antennenformen. Die *HB9VC*-Antennen (Monoband) gibt es zerlegbar und rucksackgerecht für die »Bergfunker« (siehe Abbildung 32.32).



**Abbildung 32.32** HB9CV-Antenne

*Anjo* stellt eine kleine LPDA-Antenne her, die zerlegt problemlos mitgenommen werden kann. Ein kleiner GFK-Mast mit zwei oder drei Metern Höhe reicht aus, um damit Betrieb zu machen. (Abbildung 30.14 zeigt diese Antenne.)

Sehr wenig Gewicht und Platzbedarf hat der Zweiband-Dipol (WIMO) für das 2-m- und das 70-cm-Band in Abbildung 32.33. Er ist zerlegbar und besteht aus stabilen Teilen.

Die Dipoläste werden einfach angesteckt, und das Mittelteil wird mit dem Speisekabel verbunden. Zur Befestigung des Mittelteils dient ein Gewindebolzen (M4). Für die Befestigung an Ästen oder dünnen Latten kann man eine Leimklemme benutzen, die auch in Abbildung 32.33 zu sehen ist. Diese Klemme hat im Griffstück eine Bohrung. Mit der Flügelmutter wird die Antenne ausreichend gesichert. Abbildung 32.34 zeigt die Einzelteile der Antenne und die Klemme.



Abbildung 32.33 VHF/UHF-Dipol

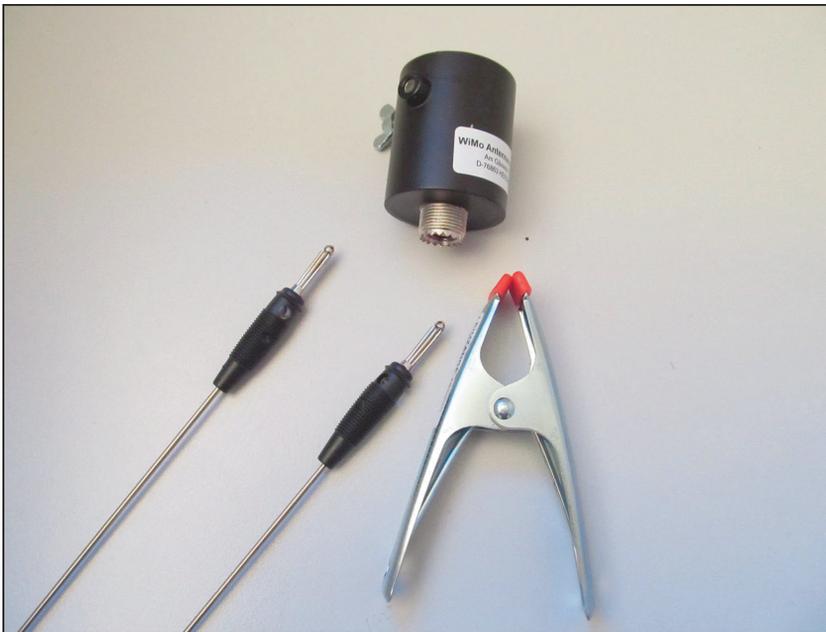


Abbildung 32.34 VHF/UHF-Dipol und Leimklemme

Zudem kann das Mittelteil an ein U-Profil geschraubt werden (siehe Abbildung 32.35). Daraus ergeben sich weitere Befestigungsmöglichkeiten, z. B. an GFK-Masten, Sonnenschirmständern oder Balkongeländern.



**Abbildung 32.35** Mittelteil, an einem U-Profil befestigt

# Inhalt

Materialien zum Buch .....	21
Vorwort .....	23
Geleitwort des DARC e. V.: Eine faszinierende Welt – der Amateurfunk .....	27

## 1 Erlebnis Amateurfunk 29

---

<b>1.1 Amateurfunk, Freenet, PMR und CB-Funk .....</b>	<b>29</b>
<b>1.2 Funken? .....</b>	<b>30</b>
<b>1.3 Funkern zugehört .....</b>	<b>31</b>
1.3.1 Buchstabieren .....	32
1.3.2 Q-Gruppen .....	34
1.3.3 Weitere betriebliche Abkürzungen .....	38
1.3.4 Rufzeichen .....	39
1.3.5 Was hört man? .....	39
<b>1.4 Funkübertragung .....</b>	<b>40</b>
<b>1.5 Amateurfunk mithören .....</b>	<b>44</b>
1.5.1 SDR-Empfang per Internet .....	44
1.5.2 SDR-Empfänger am PC .....	49
1.5.3 Klassische Empfangsgeräte .....	50
1.5.4 Bausätze .....	51
1.5.5 Antennen für den Empfang .....	51
<b>1.6 Funkamateure persönlich kennenlernen .....</b>	<b>54</b>
<b>1.7 Technik als Erlebnis .....</b>	<b>56</b>

## TEIL I Amateurfunktechnik

## 2 Fachrechnen 59

---

<b>2.1 Basisgrößen des SI-Einheitensystems .....</b>	<b>59</b>
<b>2.2 Dezibelrechnung für Verstärkung und Dämpfung (Leistung) .....</b>	<b>66</b>
2.2.1 Berechnung des Leistungs- oder Dämpfungsfaktors .....	68
2.2.2 Berechnung der Verstärkung in dB aus dem Leistungsfaktor .....	69
2.2.3 Wichtige dB- und Leistungsfaktorwerte .....	69

<b>2.3</b>	<b>Rechnen mit Dezibelwerten</b> .....	70
<b>2.4</b>	<b>Dezibelrechnung für Verstärkung und Dämpfung (Spannung)</b> .....	71
2.4.1	Wichtige dB- und Spannungsfaktorwerte .....	71
<b>2.5</b>	<b>Dezibelrechnung: Leistungspegel</b> .....	73
2.5.1	Wichtige Leistungspegel .....	73
<b>2.6</b>	<b>Dezibelrechnung: Spannungspegel</b> .....	74
<b>2.7</b>	<b>S-Meter und dB</b> .....	75
<b>2.8</b>	<b>Zahlensysteme</b> .....	78
2.8.1	Umrechnen von Dualzahlen .....	78
2.8.2	Umrechnen von Hexadezimalzahlen .....	80

### **3 Bauteilkunde** 85

---

## **4 Physikalische Grundlagen** 89

---

<b>4.1</b>	<b>Der Stromkreis</b> .....	89
4.1.1	Schaltelemente und Schaltzeichen im Stromkreis .....	90
4.1.2	Schalter und Taster .....	91
4.1.3	Relais .....	93
4.1.4	Der Kurzschluss – Supergau im Stromkreis .....	94
4.1.5	Die Sicherungen .....	95
<b>4.2</b>	<b>Spannung als Ursache</b> .....	99
<b>4.3</b>	<b>Strom</b> .....	102
<b>4.4</b>	<b>Ladungsmenge</b> .....	104
<b>4.5</b>	<b>Stromleitverhalten verschiedener Stoffe</b> .....	105
4.5.1	Leiter .....	105
4.5.2	Halbleiter .....	106
4.5.3	Nichtleiter, Isolatoren .....	109
4.5.4	Zusammenfassung .....	110
<b>4.6</b>	<b>Spezifischer Widerstand und Leitfähigkeit</b> .....	112

<b>5</b>	<b>Die Welt der Widerstände</b>	115
<b>5.1</b>	<b>Schaltzeichen</b>	116
<b>5.2</b>	<b>Widerstände als Bauelement</b>	117
5.2.1	Bauausführungen von Widerständen	117
5.2.2	Wertangaben für SMD-Widerstände	120
5.2.3	Manuell veränderbare Widerstände	123
5.2.4	Widerstandsreihen	125
<b>5.3</b>	<b>Berechnung von Widerständen, Spannung, Strom, Leistung</b>	126
5.3.1	Widerstandsberechnungen im Detail (Strom und Spannung)	127
5.3.2	Widerstandsberechnungen und Leistung	128
<b>5.4</b>	<b>Innenwiderstand von Strom- und Spannungsquellen</b>	131
<b>5.5</b>	<b>Leistungsanpassung</b>	132
<b>5.6</b>	<b>Serienschaltung (Reihenschaltung) von Widerständen, Spannungsteiler</b>	132
<b>5.7</b>	<b>Parallelschaltung von Widerständen (verzweigter Stromkreis)</b>	134
<b>5.8</b>	<b>Gemischte Schaltung von Widerständen</b>	137
5.8.1	Berechnungen mit variablen Widerständen	139
5.8.2	Gemischte Schaltung: Symmetrisches Dämpfungsglied	140
<b>5.9</b>	<b>Experimentieren und simulieren</b>	142
5.9.1	Steckplatine	143
5.9.2	Aufbau des Stromkreises und Experimente mit Widerständen	143
5.9.3	Simulation am Rechner	147
<b>6</b>	<b>Elektrische Leistung</b>	151
<b>6.1</b>	<b>Wirkungsgrad</b>	152
<b>6.2</b>	<b>Elektrische Arbeit</b>	153
<b>7</b>	<b>Wechselstrom/Signale</b>	155
<b>7.1</b>	<b>Schwingungsformen</b>	160
<b>7.2</b>	<b>Berechnung der Frequenz</b>	162

<b>7.3</b>	<b>Berechnung der Periodendauer</b> .....	162
<b>7.4</b>	<b>Berechnung der Frequenz aus der Periodendauer</b> .....	163
<b>7.5</b>	<b>Berechnung der Wellenlänge</b> .....	164
<b>7.6</b>	<b>Berechnung des Effektivwerts</b> .....	166
<b>7.7</b>	<b>Spannungsmessung mit dem Oszilloskop</b> .....	167
<b>7.8</b>	<b>Zeigerdarstellung sinusförmiger Signale</b> .....	167
<b>7.9</b>	<b>Phasendifferenzen</b> .....	168
<b>7.10</b>	<b>Nichtsinusförmige Signale</b> .....	169
<b>8</b>	<b>Das elektrische Feld (elektrostatische Feld)</b> .....	177
<hr/>		
<b>8.1</b>	<b>Das elektrische Feld als Bauelement: Der Kondensator</b> .....	180
8.1.1	Vom Dielektrikum zum Bauelement .....	180
8.1.2	Zusammenschaltung von Kondensatoren .....	191
8.1.3	Ladung und Entladung eines Kondensators im Gleichspannungskreis .....	194
<b>9</b>	<b>Magnetisches Feld und Induktivitäten</b> .....	197
<hr/>		
<b>9.1</b>	<b>Das magnetische Feld</b> .....	197
9.1.1	Der Skin-Effekt und Wirbelströme .....	198
<b>9.2</b>	<b>Induktivität (Spulen und Transformatoren)</b> .....	199
<b>9.3</b>	<b>Schaltzeichen für Induktivitäten</b> .....	200
<b>9.4</b>	<b>Induktivitäten selbst bauen</b> .....	200
<b>9.5</b>	<b>Induktivitäten (Bauelemente)</b> .....	201
<b>9.6</b>	<b>Grundlagen der Induktivität</b> .....	206
<b>9.7</b>	<b>Eigenschaften von Induktivitäten</b> .....	207
9.7.1	Experimente .....	207
<b>9.8</b>	<b>Vertiefung mit Berechnungen</b> .....	208
9.8.1	Spulenberechnungen .....	208
9.8.2	Die magnetische Feldstärke .....	211
9.8.3	Magnetische Flussdichte .....	213

<b>9.9</b>	<b>Zusammenschaltung von Induktivitäten</b> .....	214
<b>9.10</b>	<b>Die Spule im Gleichstromkreis</b> .....	214
<b>9.11</b>	<b>Transformatoren und Übertrager</b> .....	216
9.11.1	Allgemeines zu Transformatoren und Übertragern .....	217
9.11.2	Verhältnis von Spannungen zu Windungszahlen .....	221
9.11.3	Verhältnis von Strömen zu Windungszahlen .....	222
9.11.4	Stromdichte bei Transformatorenwicklungen .....	223
9.11.5	Übertrager, Impedanzen und die Übersetzung von Widerstandsverhältnissen .....	224
9.11.6	Balun – balanced-unbalanced .....	226
<b>10</b>	<b>R, C und L im Wechselstromkreis</b> .....	229
<b>10.1</b>	<b>Ohmscher Widerstand</b> .....	229
<b>10.2</b>	<b>Kondensator im Wechselstromkreis</b> .....	230
10.2.1	Kondensatorverluste, Verlustwiderstand, Auswahl des Dielektrikums .....	232
<b>10.3</b>	<b>Induktivität einer Spule</b> .....	233
10.3.1	Spulenverluste, Güte .....	235
10.3.2	Induktivitäten in Schaltungen und Geräten .....	235
<b>10.4</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	235
10.4.1	Experimente .....	236
<b>10.5</b>	<b>Reihenschaltung von Kondensator und Widerstand</b> .....	237
<b>10.6</b>	<b>Reihenschaltung von Spule und Widerstand</b> .....	237
<b>10.7</b>	<b>Tief- und Hochpassfilter für den Audiobereich</b> .....	237
10.7.1	Tief- und Hochpassfilter aus R und C oder L berechnen .....	238
10.7.2	Ermitteln der Spannungsverhältnisse .....	240
<b>10.8</b>	<b>Schwingkreise mit Spulen und Kondensatoren</b> .....	240
10.8.1	Schwingung im LC-Kreis .....	241
10.8.2	Schwingungsarten .....	242
10.8.3	Der Reihenschwingkreis .....	243
10.8.4	Parallelschwingkreis .....	246
10.8.5	Die Resonanzfrequenz von Schwingkreisen .....	247
10.8.6	Frequenzändernde Eingriffe am Schwingkreis .....	249
10.8.7	Bandbreite und Güte von Schwingkreisen .....	250

<b>10.9 Bandfilter</b> .....	257
10.9.1 Schwingquarze als Bandfilter .....	260
10.9.2 Hoch- und Tiefpassfilter mit Spule und Kondensator .....	261
<b>10.10 Probleme in Hochfrequenzschaltungen</b> .....	265
10.10.1 Experimente .....	265
<b>11 Die Halbleiterdiode</b> .....	267
<hr/>	
<b>11.1 Schaltzeichen</b> .....	267
<b>11.2 Dioden (Bauelemente)</b> .....	267
<b>11.3 Diodentypen und Eigenschaften</b> .....	270
<b>11.4 Spannungsabfall an Dioden</b> .....	272
11.4.1 Experiment: Messung des Spannungsabfalls an einer Siliziumdiode 1N4001 .....	272
<b>11.5 Dioden in Schaltungen</b> .....	274
11.5.1 LED mit Vorschaltwiderstand .....	274
11.5.2 Z-Diode zur Spannungsstabilisierung .....	275
11.5.3 Kapazitätsdiode .....	277
11.5.4 Spannungsbegrenzer mit antiparallelen Dioden .....	277
11.5.5 Entkopplung von Spannungsquellen .....	278
<b>12 Der Transistor und seine Grundschaltungen</b> .....	281
<hr/>	
<b>12.1 Schaltzeichen</b> .....	281
<b>12.2 Transistoren (Bauelemente)</b> .....	282
12.2.1 Aufbau und Funktion von bipolaren Transistoren .....	283
12.2.2 Aufbau und Funktion von Feldeffekttransistoren .....	300
<b>12.3 Integrierte Schaltkreise</b> .....	306
12.3.1 Analoge ICs: Der Operationsverstärker .....	307
12.3.2 Monolithic Microwave Integrated Circuit (MMIC) .....	312
12.3.3 Digitale ICs: Logische Schaltungen .....	312

## 13 Die Elektronenröhre 319

---

## 14 Schaltungskunde: Stromversorgung 323

---

14.1 Schaltnetzteil vs. klassische Längsregelung .....	323
14.2 Berechnung einfacher Versorgungsschaltungen .....	323
14.3 Gleichrichtung .....	324
14.4 Gleichspannungsrückgewinnung bzw. Spannungsvervielfacher .....	329
14.5 Spannungsglättung .....	331
14.6 Spannungsregelung .....	333
14.7 Spannungsregelung mit Festspannungsreglern .....	335
14.8 Die Funktionsweise von Schaltnetzteilen .....	337
14.9 Rückwirkungen in das Stromnetz, Störungen .....	338
14.10 Hochspannungsgleichrichter .....	338
14.11 Fernspeisung, BIAS-T .....	339

## 15 Grundlagen der elektronischen Schwingungserzeugung 341

---

15.1 Oszillator (Schwingungserzeuger) .....	341
15.1.1 Rückkopplung als Grundlage der Schwingungserzeugung .....	342
15.1.2 Der richtige Messpunkt an Oszillatoren .....	347
15.1.3 Zusammenfassung zu Oszillatoren .....	347
15.2 Phasenregelkreise (PLL) .....	348
15.2.1 Der Phasenvergleicher ? .....	349
15.2.2 Der Teiler .....	350
15.2.3 Der VCO .....	350
15.2.4 Der Tiefpassfilter .....	351
15.3 Direkte digitale Synthese (DDS) .....	351

<b>16</b>	<b>Sende- und Empfangstechnik</b>	353
<b>16.1</b>	<b>Sendearten, Modulation</b>	353
16.1.1	Sendearten und deren Kennzeichnung	354
16.1.2	Eigenschaften verschiedener Modulationsarten	355
16.1.3	Intermodulation und Kreuzmodulation	366
16.1.4	Vertiefung zu Modulationsarten	367
16.1.5	Praktische Darstellung von modulierten Signalen	368
16.1.6	Morsetelegrafie (CW)	369
<b>16.2</b>	<b>Betriebsarten</b>	370
16.2.1	Richtungsangaben in der Kommunikation	370
16.2.2	Übersicht der Betriebsarten im Amateurfunk	371
<b>16.3</b>	<b>Modulator und Demodulator</b>	380
16.3.1	Amplitudenmodulation (AM)	380
16.3.2	Einseitenband, Single Sideband (SSB)	384
16.3.3	Frequenzmodulation (FM)	388
16.3.4	Phasenmodulator	393
<b>16.4</b>	<b>Die Arbeit mit Blockschaltbildern</b>	394
<b>16.5</b>	<b>Die Arbeitsweise von Empfängern</b>	396
16.5.1	Digitale Signalverarbeitung in Empfängern und Sendern	414
16.5.2	Die Bedienung von Empfängern, Sendern und Funkgeräten	415
<b>16.6</b>	<b>Sendetechnik</b>	424
16.6.1	Einzelne Senderbaugruppen	424
16.6.2	Transverter (»Nachsetzer«)	430
16.6.3	(Leistungs-)Verstärker in Sendern	431
16.6.4	Details zum SSB-Sender	436
16.6.5	Details zum VHF-FM-Sender	439
16.6.6	Senderschaltungen mit Transistoren	439
16.6.7	Senderschaltungen mit Röhren	442
16.6.8	Leistungsmessung	444
16.6.9	Leistungsangaben	444
<b>16.7</b>	<b>Unerwünschte Aussendungen vermindern</b>	445
<b>17</b>	<b>Digitale Sende- und Empfangstechnik</b>	449
<b>17.1</b>	<b>Die digitale Darstellung von Signalen</b>	449
17.1.1	Digitalisierung analoger Signale	449
17.1.2	Analog-Digital-Wandlung	452

17.1.3	Digital-Analog-Wandlung .....	454
17.1.4	Über- und Unterabtastung .....	455
<b>17.2</b>	<b>Digitale Signalverarbeitung .....</b>	<b>455</b>
17.2.1	Signale im Zeit- und Frequenzbereich, Spektrum und Wasserfalldiagramm .....	455
17.2.2	Elemente digitaler Signalverarbeitung .....	458
<b>17.3</b>	<b>Die Codierung digitaler Signale (Quellencodierung) .....</b>	<b>462</b>
<b>17.4</b>	<b>Funkübertragung digitaler Signale .....</b>	<b>464</b>
17.4.1	Funkkanäle, Kanalkapazität .....	465
17.4.2	Kanalcodierung .....	468
<b>17.5</b>	<b>Digitale Funkübertragungsverfahren .....</b>	<b>474</b>
17.5.1	Digitale Modulationsverfahren .....	474
17.5.2	Digitale Sendertechnik .....	479
17.5.3	Empfang digitaler Signale .....	480
<b>17.6</b>	<b>Software Defined Radio (SDR) .....</b>	<b>481</b>
<b>17.7</b>	<b>Kanalzugriffsverfahren .....</b>	<b>483</b>
<b>17.8</b>	<b>Glossar zur Digitaltechnik .....</b>	<b>484</b>
<b>18</b>	<b>Antennen .....</b>	<b>487</b>
<hr/>		
<b>18.1</b>	<b>Antennenformen .....</b>	<b>487</b>
<b>18.2</b>	<b>Der Korrekturfaktor (Verkürzungsfaktor) .....</b>	<b>490</b>
<b>18.3</b>	<b>Der Dipol und seine Varianten .....</b>	<b>491</b>
18.3.1	Horizontales und vertikales Strahlungsdiagramm .....	492
18.3.2	Strom- und Spannungsverteilung beim Halbwellendipol .....	493
18.3.3	Außermittig gespeiste Halbwellenantennen .....	495
<b>18.4</b>	<b>Dipol-Weiterentwicklungen: Trapantennen und W3DZZ .....</b>	<b>499</b>
18.4.1	Die W3DZZ-Antenne .....	499
18.4.2	Trapantennen allgemein .....	500
<b>18.5</b>	<b>Die G5RV-Antenne .....</b>	<b>501</b>
<b>18.6</b>	<b>Der Faltdipol .....</b>	<b>502</b>
<b>18.7</b>	<b>Die Delta-Loop (Dreiecksschleife) .....</b>	<b>502</b>
<b>18.8</b>	<b>Die Quadantenne .....</b>	<b>503</b>
<b>18.9</b>	<b>Praxis: Drahtantennen bauen .....</b>	<b>503</b>

<b>18.10 Richtantennen</b> .....	504
18.10.1 Aufbau von Yagi-Antennen .....	505
18.10.2 Details zu Yagi- und Richtantennen .....	505
<b>18.11 Vertikalantennen und Rundstrahlantennen</b> .....	510
<b>18.12 Praxis: Besondere Antennenformen</b> .....	515
18.12.1 Magnetische Ringantennen .....	515
18.12.2 Aperiodische Antenne: die T2FD (Tilted Terminated Folded Dipole) .....	519
<b>18.13 Verkürzung von Antennen</b> .....	520
<b>18.14 Polarisation von Antennen</b> .....	521
<b>18.15 Installation von Sendeantennen</b> .....	523

## **19 Übertragungsleitungen** 525

---

<b>19.1 Allgemeines zu Übertragungsleitungen</b> .....	525
<b>19.2 Paralleldrahtleitung</b> .....	526
<b>19.3 Koaxialkabel</b> .....	528
19.3.1 Der Aufbau von Koaxialkabeln .....	528
19.3.2 Berechnung des Wellenwiderstands $Z$ .....	528
19.3.3 Verminderte Ausbreitungsgeschwindigkeit .....	529
19.3.4 Der Verkürzungsfaktor $k$ .....	530
19.3.5 Kabeldämpfung .....	531
<b>19.4 Übersicht über Koaxialkabel</b> .....	534
<b>19.5 Steckverbinder für Koaxialkabel</b> .....	535

## **20 Stehwellen und Leistungsrückfluss** 539

---

## **21 Mantelwellen** 545

---

## 22 Anpassung, Transformation und Symmetrierung 547

22.1 Die $\lambda/4$ -Leitung .....	547
22.2 Die $\lambda/2$ -Leitung .....	550
22.3 Symmetrierung .....	551
22.4 Grundsaltungen von Antennenanpassgeräten .....	553

## 23 Das elektromagnetische Feld 557

23.1 Polarisation von Antennen .....	557
23.2 »Von der Antenne in den Äther« .....	558
23.3 Die Wellenausbreitung der Kurzwelle .....	561
23.3.1 Bodenwellenausbreitung .....	562
23.3.2 Vorgänge in der Ionosphäre .....	562
23.3.3 Sonnenflecktätigkeit und Ionosphäre .....	563
23.3.4 Partikelstrom, Sonnenwind .....	564
23.3.5 Schichten der Ionosphäre (Übersicht) .....	564
23.3.6 MUF und Co. im Detail .....	566
23.4 UKW-Ausbreitung .....	569
23.4.1 Normales Ausbreitungsverhalten .....	569
23.4.2 Troposphärische Überreichweiten .....	570
23.4.3 Sporadic-E .....	571
23.4.4 Aurora .....	571
23.4.5 Meteorscatter .....	572
23.4.6 Rainscatter .....	572
23.4.7 Aircraft-Scatter .....	572

## 24 Leistung und Feldstärke 573

24.1 Effektiv abgestrahlte Leistung am Dipol (ERP) und am isotropen Strahler (EIRP) .....	573
24.2 Errechnung der EIRP aus Sendeleistung und Antennengewinn dBi .....	575
24.3 EIRP/ERP des Rückverhältnisses bei Richtantennen .....	575
24.4 Feldstärkeberechnungen .....	576
24.5 Personenschutz, Berechnung von Schutzabständen .....	577

<b>25 Messungen und Messgeräte</b>	583
<b>25.1 Arten der Messwerke</b>	584
25.1.1 Drehspulmesswerke	585
25.1.2 Dreheisenmesswerke	586
25.1.3 Einbaulagen analoger Messinstrumente	587
25.1.4 Digitale Messinstrumente	588
<b>25.2 Messbereichserweiterungen</b>	589
<b>25.3 Arbeiten mit dem Multimeter/Vielfachmessgerät</b>	590
<b>25.4 Widerstandsmessung</b>	595
<b>25.5 Empfindlichkeit und Innenwiderstand von Messinstrumenten für Strom- und Spannungsmessungen</b>	596
<b>25.6 Die Genauigkeit von Messinstrumenten</b>	597
<b>25.7 Details zu Strom- und Spannungsmessungen</b>	599
25.7.1 Bestimmung der Eingangsleistung	599
<b>25.8 Berücksichtigung des Innenwiderstands der Messgeräte bei Messungen</b>	600
<b>25.9 Hilfsschaltungen für Messaufgaben</b>	602
25.9.1 Künstliche Antenne (Dummy Load)	602
25.9.2 HF-Tastkopf	603
25.9.3 Leistungsmesskopf	604
<b>25.10 Der Absorptionsfrequenzmesser</b>	606
<b>25.11 (Einfacher) Feldstärkeanzeiger</b>	607
<b>25.12 Das Dipmeter</b>	607
<b>25.13 Das Stehwellenmessgerät (SWR-Meter)</b>	610
<b>25.14 Das Oszilloskop</b>	613
<b>25.15 Der Frequenzzähler</b>	618
25.15.1 Antennen mit dem vektoriellen Netzwerkanalysator (VNA) messen	619
<b>26 Störungen und andere Probleme</b>	621
<b>26.1 Störungen des Empfangs</b>	621
<b>26.2 Einströmungen</b>	623

<b>26.3</b>	<b>Einstrahlungen in Geräte</b> .....	625
<b>26.4</b>	<b>Empfangsstörungen durch Korrosion an Antennenanschlüssen</b> .....	626
<b>26.5</b>	<b>Einstreuungen in das Stromnetz</b> .....	626
<b>26.6</b>	<b>Störungen beim Sendebetrieb vermeiden</b> .....	627
<b>26.7</b>	<b>Vorgehensweise im Störfall</b> .....	628
26.7.1	Vorbereitung .....	628
26.7.2	Vorgehen beim Nachbarn .....	628
26.7.3	Zusammenarbeit und ein gutes Verhältnis sind entscheidend .....	629

## **27 Sicherheit** 631

---

<b>27.1</b>	<b>Gefahren durch Stromschlag</b> .....	631
<b>27.2</b>	<b>Gefahren durch Hochfrequenzeinwirkung</b> .....	632
<b>27.3</b>	<b>Im Notfall</b> .....	632
<b>27.4</b>	<b>Unfallverhütung für Funkamateure</b> .....	633
<b>27.5</b>	<b>Adernkennfarben</b> .....	636
<b>27.6</b>	<b>Die Sicherheit von Antennen</b> .....	637
<b>27.7</b>	<b>Sicherer Amateurfunk im Kraftfahrzeug</b> .....	640

## **TEIL II Praxis und Projekte**

### **28 SDR-Empfang mit dem SDRplay RSP2pro** 645

---

### **29 Die Amateurfunkprüfung** 653

---

<b>29.1</b>	<b>Wo wird eine Amateurfunkprüfung abgelegt?</b> .....	653
<b>29.2</b>	<b>Anmeldung zu einer Amateurfunkprüfung</b> .....	653
<b>29.3</b>	<b>Der Ablauf der Amateurfunkprüfung</b> .....	653

<b>30</b>	<b>Nach bestandener Prüfung – Stationsaufbau</b>	655
<b>30.1</b>	<b>Funkgeräte – Typenkunde</b>	655
30.1.1	Handfunksprechgeräte	655
30.1.2	Portabelfunkgeräte	658
30.1.3	Mobilgerät, im Kraftwagen, portabel und als Feststation	661
30.1.4	Geräte für den stationären Einsatz	662
30.1.5	Zusammenfassung	663
30.1.6	Wichtiges Zubehör: Das Netzteil	663
<b>30.2</b>	<b>Aufbewahrung und Funkmöbel</b>	665
<b>30.3</b>	<b>Die Antennenwahl</b>	667
30.3.1	Wenn gar nichts geht ...	667
30.3.2	Was nehmen?	667
30.3.3	Zuleitungen	670
<b>30.4</b>	<b>Musteraufbau – die BEMV-Erklärung</b>	670
<b>31</b>	<b>Antennenbau für Einsteiger</b>	685
<b>31.1</b>	<b>Projekt: Ein Dipol für das 10-m-Band</b>	685
31.1.1	Bauteile	685
31.1.2	Berechnung	688
31.1.3	Zurichten der Teile	688
31.1.4	Erster Aufbau	689
31.1.5	Abgleich	689
<b>31.2</b>	<b>Drahtantennen richtig spannen</b>	692
<b>31.3</b>	<b>Die »magnetische Antenne« – eine Sonderform unter den Antennen</b>	693
31.3.1	Materialbedarf	693
31.3.2	Maße und Material für den Rahmen	693
31.3.3	Abstimmbox (Gehäuse und Kondensator)	694
31.3.4	Fernabstimmung	696
31.3.5	Koppelschleife	699
31.3.6	Aufgebaut!	700
<b>31.4</b>	<b>Aufbau von industriell hergestellten Antennen</b>	703
<b>31.5</b>	<b>Von Masten und Rotoren</b>	704

## 32 Funkbetrieb außerhalb der eigenen vier Wände 705

<b>32.1 Stromversorgung</b> .....	706
32.1.1 Kabelverbindungen .....	706
32.1.2 Energiequellen .....	708
32.1.3 »Strom verpackt« .....	711
32.1.4 Spannungs- und Strommessgerät im Eigenbau .....	715
32.1.5 Laderegler .....	722
32.1.6 Quellen für den Ladestrom .....	724
<b>32.2 Funkkoffer</b> .....	727
<b>32.3 Antennen für den Portabeinsatz</b> .....	728

## 33 Amateurfunk digital 735

<b>33.1 Textbasierte Verfahren</b> .....	736
33.1.1 Funkfern schreiben .....	736
33.1.2 »Weak-Signal«-Modes .....	738
<b>33.2 Digitale Sprachübertragung</b> .....	742
33.2.1 DMR, BrandMeister-Netz, DMR+ .....	744
33.2.2 D-STAR .....	748
33.2.3 C4FM .....	748
33.2.4 FreeDV .....	748
33.2.5 M17 .....	750
<b>33.3 Datenfunk</b> .....	750
33.3.1 Packet Radio .....	750
33.3.2 Das HAMNET .....	751
<b>33.4 Digitale Bild- und Fernsehübertragung</b> .....	752
33.4.1 Digitale Bildübertragung .....	752
33.4.2 Digitales Amateurfunk-Fernsehen .....	752
<b>33.5 Funkgerät und PC verbinden</b> .....	753
33.5.1 Programmierung des Funkgeräts .....	753
33.5.2 Steuerung des Funkgeräts .....	753
33.5.3 Digitaler Funkverkehr mit PC und Funkgerät .....	754

<b>34 Remote-Funkbetrieb</b>	759
<b>34.1 Verbindung der Funkanlage mit dem Netzwerk</b>	759
<b>34.2 Remote-Funkbetrieb innerhalb der eigenen Grundstücksgrenze</b>	760
<b>34.3 Remote-Funkbetrieb weltweit</b>	761
<b>35 Morsen</b>	763
<b>35.1 Morsezeichen</b>	764
<b>35.2 Ablauf einer Morseverbindung</b>	766
<b>35.3 Welche Taste?</b>	769
<b>35.4 Morsen lernen</b>	771
Index	773

## Materialien zum Buch

Die amtlichen Fragenkataloge beziehen Sie über die Internetseite der Bundesnetzagentur:

<https://www.bundesnetzagentur.de>

Viele Informationen bietet zudem das Portal 50 Ohm:

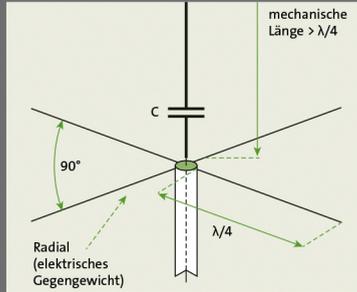
<https://50ohm.de/>

## Einstieg, Technik, Funkpraxis

Mit diesem Kompendium gehen Sie auf Sendung und bauen Ihre eigene Funkstation auf. Von den technischen Grundlagen bis zur Funkpraxis, vom Arbeiten mit Taschenrechner und Löt-kolben bis zu Übungsfragen für die Amateurfunkprüfung bieten Harald Zisler (DL 6 RAL) und Thomas Lauterbach (DL 1 NAW) in diesem Handbuch das ganze Wissen für Funkamateure.



Grundlagen verstehen



Technik und Physik



Station aufbauen

## Alles für den Einstieg

Schon mit wenig Aufwand hören Sie Funkamateure auf der ganzen Welt zu – SDR macht es möglich. Und wenn Sie selbst senden wollen, finden Sie hier alles, was Sie für Ihren Einstieg in den Amateurfunk benötigen.

## Technik und Physik des Amateurfunks

Warum funkt eigentlich ein Funkgerät? Welche Rolle spielt dabei die Antenne? Hier finden Sie technisches Fachwissen, das Ihnen im Funkbetrieb und beim Bestehen der Amateurfunkprüfung weiterhilft. Ideal für den Funkbetrieb, das Selbststudium und die Fortbildung.

## Amateurfunk in der Praxis

Setzen Sie Ihr Wissen in die Praxis um, konstruieren Sie eigene Antennen und bauen Sie Ihre Funkstation auf. Funken Sie mit anderen Funkamateuren auf den Fielddays um die Wette, pflegen Sie Kontakte in alle Welt und erleben Sie die ganze Faszination des Amateurfunks.



**Harald Zisler** und **Thomas Lauterbach** sind seit Jahrzehnten auf den Funkwellen zu hören. Auch nach so langer Zeit lässt die Faszination für Technik und Funkkontakte nicht nach. Hier teilen sie Erfahrung und Wissen mit Ihnen.

## Aus dem Inhalt

Geleitwort des DARC  
Erlebnis Amateurfunk

### Amateurfunktechnik

Bauteilkunde  
Physikalische Grundlagen  
Wechselstrom und Signale  
Digitale und analoge Sende-  
und Empfangstechnik  
Antennen: Funktion und  
Selbstbau  
Störungen & Troubleshooting  
Betriebssicherheit

### Praxis und Projekte

SDR-Empfang  
Stationsaufbau und  
Antennenwahl  
Mobiler Funkbetrieb  
Digitaler Amateurfunk  
Morsen

