



433-MHz- Funktechnik

Daten- und Sprechfunk ohne Lizenz

Die höchsten Zuwachsraten nach der Liberalisierung im Telekommunikationsbereich lagen eindeutig im Bereich der mobilen Kommunikation. Neben den allgegenwärtigen Handys als Zeichen der neuen Mobilfunkfreiheit hat auch die Freigabe von zusätzlichen Frequenzen für Funkanwendungen mit geringer Sendeleistung und geringer Reichweite für einen Boom in speziellen Anwendungsbereichen gesorgt. Den größten Anteil daran hat der Frequenzbereich im 70-cm-Band bei 433 MHz, auf den hier näher eingegangen werden soll.

Begonnen hat die lizenzfreie Verwendung von Funkgeräten für den privaten Gebrauch mit den Funkfernsteuerungen im Modellbau schon vor über 50 Jahren. Später (in der Bundesrepublik sehr spät) kam dann der CB-Funk dazu, der erst vor etwa 20 Jahren legalisiert wurde. Allerdings waren diese Anwendungen weder genehmigungs- noch gänzlich gebührenfrei - lediglich der Wegfall einer mit Auflagen oder einer Prüfung verbundenen Lizenzvergabe sorgte schon für Jubel - und einen wahren CB-Funk-Boom, der nach einigen Jahren durch die Zulassung weiterer Kanäle und der Frequenzmodulation nochmals angeheizt wurde. Im Bereich um 40 MHz gab es auch schon früher die Möglichkeit, drahtlose Mikrofone und Fernbedienungen (z.B. für Garagentore) zu betreiben, aber ohne Genehmigung ging fast nichts. Das hat sich in den letzten Jahren gründlich geändert. Ein Anfang wurde mit genehmigungs- und

gebührenfreien Modell-Fernsteuerungen und dem CB-Funk im 11-m-Band gemacht. So richtig los ging es aber erst später mit der Möglichkeit, im Bereich um 433 MHz Funkeinrichtungen geringer Leistung genehmigungsfrei zu betreiben, die auch als Low-power-devices (LPD) und international als Short-range-devices (SRD) bekannt sind.

Während in diesem 70-cm-Bereich praktisch alle denkbaren Anwendungen (Sprechfunk, Datenfunk, Fernsteuerungen, Alarmsysteme) anzutreffen sind, gibt es neuerdings auch drei speziell für den Sprechfunk freigegebene Frequenzen im 2-m-Band, die unter der Bezeichnung FreeNet (Kurzstreckenfunk) gehandelt werden. Auf den Frequenzen 149,025 MHz, 149,05 MHz und 149,0375 MHz darf mit bis zu 0,5 W abgestrahlter HF-Leistung frequenzmoduliert gesendet werden. Die angebotenen Geräte sind meist von 2-m-Amateurfunk-Handgeräten abgeleitet (z.B. Stabo und Kenwood) und verfügen über umfangreiche Selektivrufmöglichkeiten. Die Zulassung ist bis Ende 2005 befristet, eine Nutzung außerhalb Deutschlands ist derzeit noch nicht zulässig.



Tabelle 1. Zulässige Frequenzbereiche und maximale Leistung

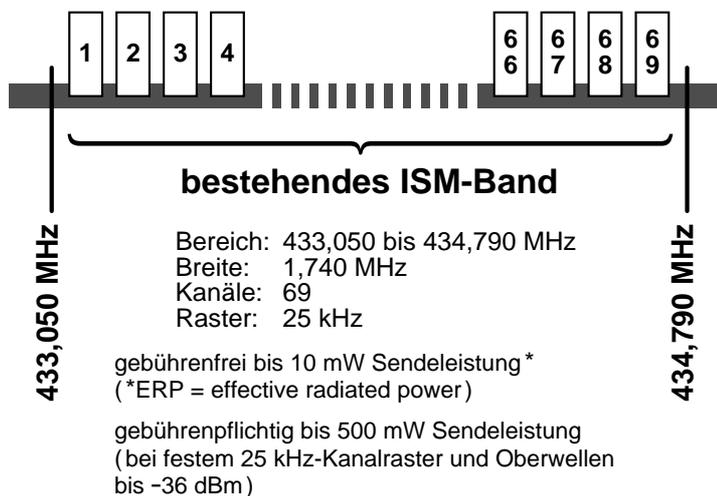
Frequenzen bzw. Frequenzbereich		max. Trägerleistung	
26,957,	27,283	MHz	10 mW
40,66	- 40,70	MHz	10 mW
433,05	- 434,79	MHz	10 mW
2400,00	- 2483,50	MHz	10 mW
5725,00	- 5875,00	MHz	25 mW
24,00	- 24,25	GHz	100 mW

ISM-FREQUENZEN

Im Gegensatz zu den exklusiv für den Sprechfunk reservierten Frequenzen im 2-m-Band sind sogenannte ISM-Bänder primär für die industrielle, wissenschaftliche und medizinische Nutzung eingerichtet worden. ISM steht für Industrial, Science und Medicine. Die für Funkanlagen geringer Leistung zulässigen ISM-Frequenzbereiche sind mit den jeweiligen maximalen Trägerleistungen in **Tabelle 1** angegeben. Außerhalb Europas gibt es auch abweichende ISM-Frequenzen, etwa zwischen 260 und 470 MHz in den USA und zwischen 299 und 320 MHz in Kanada. Die Bereiche bei 27 und 40 MHz wurden bereits erwähnt. Auf 2,4 GHz arbeiten vor allem Mikrowellen-Öfen und industrielle Mikrowellen-Anwendungen, in jüngster Zeit sind aber auch genehmigungs- und gebührenfreie LPDs speziell für die Übertragung von Videosignalen dazugekommen (Mini-TV-Sender). Der Vorteil dieses Frequenzbereichs ist die Möglichkeit, auch breitbandige Signale wie Videosignale oder Datensignale mit hohen Datenraten zu übertragen, z.B. für drahtlose lokale Netzwerke ("Mikrowellen-LANs"). Der Nachteil liegt in der bei kleiner Leistung sehr geringen Reichweite, da die Dämpfung bei der Ausbreitung mit der Frequenz zunimmt. Je kürzer die Wellenlänge, desto "lichtähnlicher" wird das Ausbreitungsverhalten, desto geringer ist dann auch die "Durchdringung" innerhalb von Gebäuden.

In dieser Hinsicht sind die Verhältnisse bei 433 MHz wesentlich günstiger. **Bild 1** zeigt die Frequenzlage dieses ISM-Bereichs, der in 69 Kanäle bei 25 kHz Kanalrastrer unterteilt ist. Eine Besonderheit dieses ISM-Bandes liegt darin, daß es auch von lizenzierten Amateurfunkern für Ihre Zwecke genutzt wird, die zwischen 430 und 440 MHz ihre 70-cm-Amateurfunkgeräte betreiben. Da es sich aber im ISM-Bereich nicht um eine Primärnutzung handelt, müssen die Funkamateure die Mitnutzung durch LPDs dulden. Umgekehrt müssen aber auch die Betreiber von LPDs bei Ihren Anwendungen damit rechnen, daß ihnen andere Nutzer dieser Frequenzen in die Quere kommen. Das Problem wird durch die geringen Leistungen und Reichweiten der LPDs zwar reduziert, es gibt aber auch legale Anwendungen (Amateurfunk und gebührenpflichtige Sender) mit höherer Leistung. Man muß also Störungen tolerieren können oder durch niedrige Übertragungsraten, sichere Codes, hohe Redundanz und selektive Empfänger vorsorgen. Wegen des mittlerweile gut ausgelasteten 433-MHz-Bereichs ist auf europäischer Ebene ein zusätzlicher

1



980038 - 11

Bild 1. Frequenzlage des 433-MHz-ISM-Bandes.

ISM-Bereich bei 868 MHz (**Bild 2**) geplant, in dem mehrere Kanäle exklusiv für Sicherheits- und Sicherheitsanwendungen reserviert werden sollen. Allerdings sind einige Kanäle in diesem Bereich bis auf weiteres noch durch analoge schnurlose Telefone (CT2-Standard) belegt. Für alle ISM-Bereiche gibt es Bestrebungen zur Vereinheitlichung durch europaweit geltende Standards (ETS = European Telecommunication Standards). Für den 433-MHz-Funk gilt in den Staaten der EU die ETS 300 220, und auch für 868 MHz wird es eine ETS geben.

LPD

Unter diesem Begriff sind vor allem kleine Handfunkgeräte bekannt geworden, die auf den freigegebenen Frequenzen bei 433 MHz betrieben werden (**Bild 3**). Diese Handys sind ähnlich aufgebaut wie 70-cm-Amateurfunk-Handys und unterscheiden sich davon im wesentlichen durch die auf 10 mW reduzierte HF-Leistung und durch den eingeschränkten Frequenzbereich, in dem

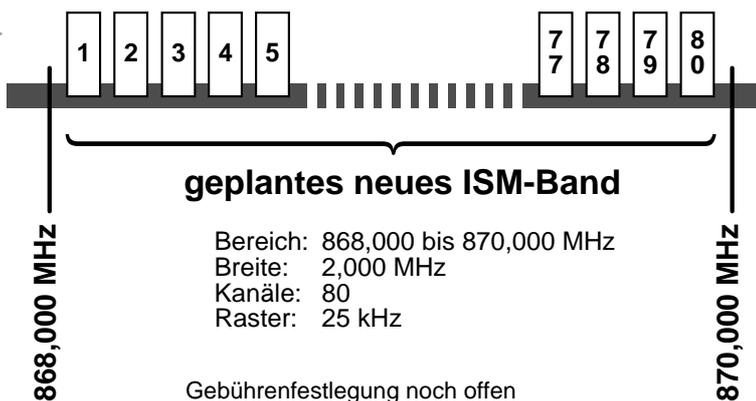
69 Kanäle im 25 kHz-Raster mit Frequenzmodulation (Schmalband-

FM) nutzbar sind. Das bedeutet bei guter Begrenzung der Bandbreite des Modulationssignals einen Frequenzhub von bis zu ± 5 kHz. Obwohl die Sendeleistung mit 10 mW nicht höher als bei schnurlosen Telefonen ist, wird aufgrund der nur halb so hohen Sendefrequenz und der recht empfindlichen Empfänger eine wesentlich höhere Reichweite erzielt, die im freien Gelände etwa 2-3 km beträgt.

Für die zahlreichen Anwendungen mit digitalen Signalen werden meist kleine HF-Module für Sender und Empfänger verwendet. Diese Module verfügen über eine eigene Zulassung. Das hat den großen Vorteil, daß man sich als Anwender solcher Module nicht mehr um die Zulassung kümmern braucht. Das gilt für industriell gefertigte Geräte ebenso wie für selbst gebaute Anwendungen. Zu beachten ist allerdings, daß die Module innerhalb der zulässigen und vom Hersteller spezifizierten Grenzen (z.B. für Betriebsspannung und Modulationssignalpegel) betrieben werden. Außerdem darf

Bild 2. Geplantes ISM-Band bei 870 MHz.

2



980038 - 12

3



Bild 3. Handfunkgerät für den 433-MHz-Bereich: 69 Kanäle im 25-kHz-Raster bei maximal 10 mW HF-Leistung und etwa 5 kHz Frequenzhub.

in Deutschland kein unmodulierter Dauerträger gesendet werden. Tele-

metrieanwendungen sind so auszulegen, daß der Sender durch das Datensignal aktiviert wird und bei fehlendem Datensignal automatisch abschaltet. Beim Betrieb müssen Sendepausen von minimal 30 s eingehalten werden.

433-MHz-MODULE

Auf dem Markt gibt es inzwischen ein recht vielfältiges Angebot an LPD-Modulen für unterschiedliche Anwendungen, wobei die Preise je nach technischer Ausstattung von knapp 20 DM für das einfachste Sendermodul bis zu mehreren hundert DM für einen hochwertigen Sender mit Frequenzsynthese und speziellem Datenmodulator reichen. In der Regel sind die Empfänger aufwendiger und teurer als die Sender. Während die meisten Module nur für digitale Modulations-signale gedacht sind, ist es bei einigen auch möglich, analoge Signale (z.B. NF im Sprachfrequenzbereich) zu übertragen. Fast

immer sind die Modulschaltungen in SMD-Technik aufgebaut. Die einfachsten Ausführungen verwenden amplitudenmodulierte Sender und Regenerativ-Empfänger (Pendler). **Bild 4** zeigt die Schaltung eines derartigen einfachen AM-Senders, in **Bild 5** ist die Schaltung eines entsprechenden Empfängermoduls zu sehen. Der Sender besteht aus einem Oszillator mit einem einzigen Transistor, der an seiner Basis mit dem Datensignal (amplituden)moduliert wird. Ein Oberflächenwellenresonator (OFW, engl. SAR) stabilisiert die Schwingfrequenz. Eine sehr ähnliche Schaltung wurde mit Platinenlayout in Elektor 7-8/92 auf S. 95 vorgestellt, allerdings mit Frequenzmodulation über zwei Kapazitätsdioden und einer Abgleichmöglichkeit im OFW-Kreis. Der Empfänger in Bild 5 besteht ebenfalls nur aus einem Transistor, der als Pendler (Regenerativempfänger) vom Antennensignal angestoßen wird und so das Signal hoch verstärkt und gleichzeitig demoduliert. Das demodulierte Signal wird dann noch durch die beiden folgenden Opamps verstärkt und zu Impulsen geformt, so

4

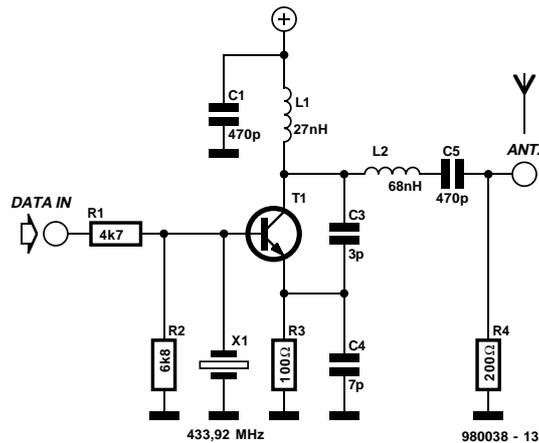


Bild 4. So einfach können Sender sein: Schaltplan eines 433-MHz-Sendermoduls mit Amplitudenmodulation.

5

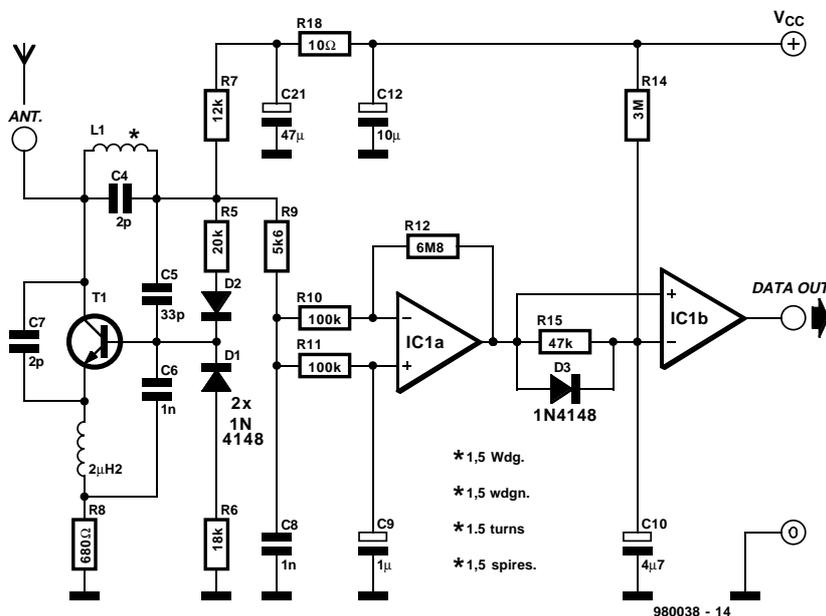


Bild 5. Schaltung eines einfachen AM-Empfängermoduls mit einem einzigen Transistor im (Regenerativ-) HF-Teil. Manchmal gibt es noch eine Vorstufe mit einem zweiten Transistor.

daß am Ausgang ein verwertbares Digitalsignal mit einem High-Pegel von 2/3 der Betriebsspannung (3-4,5 V) anliegt. Die Reichweite ist aufgrund der geringen Sendeleistung (etwa 1 mW) und des unempfindlichen und breitbandigen Empfängers geringer als bei höherwertigen Modulen, außerdem werden Amplitudenstörungen in keiner Weise unterdrückt. Diese Low-cost-Module sind daher nur für sehr einfache Anwendungen wie etwa nicht zeitkritische Schaltfunktionen geeignet.

Für höherwertige Anwendungen kommt nur Frequenzmodulation in Frage. Bild 6 (Sender) und Bild 7 (Empfänger) zeigen die Blockschaltbilder von typischen FM-Modulen.

Der Sender aktiviert sich über die Impulsflankenerkennung automatisch mit einer definierten Einschaltzeit (typ. 4 ms), sobald Datenimpulse am Dateneingang anliegen und geht beim Ausbleiben von Daten nach etwa 200 ms in den Standby-Modus. Die Frequenz wird auch hier durch einen OFW-Resonator stabilisiert. Diese Resonatoren sind preiswert, die Frequenz unterliegt aber einer größeren Exemplarstreuung und ist auch nicht so temperaturstabil wie bei einem Quarz. Da die Bandbreite des FM-modulierten Sendersignals nicht zu groß werden darf, ist der Frequenzhub begrenzt ($\pm 2,5$ kHz bis ± 20 kHz, je nach Hersteller und Anwendungsbereich) und ebenso die Eingangsdatenrate (Tiefpaßfilter), so daß die maximale Datenrate der FM-Module bei etwa 10 kbit/s (5 kHz max. Modulationsfrequenz) liegt.

Die Sendeantennen sind häufig in Form einer Leiterbahnschleife integriert, üblich sind auch $\lambda/4$ -Wurfdrahtantennen (ca. 17 cm) und Steckverbindungen für den Antennenanschluß. Das im Blockschema (Bild 7) gezeigte FM-Empfängermodul ist als Superhet ausgeführt. Auch hier sorgt ein OFW-Resonator im Oszillator für die Frequenzstabilisierung. Für die ZF-Filterung kann man auf preiswerte 10,7-MHz-Keramikfilter zurückgreifen. Wegen der möglichen Frequenzablage der OFWs ist ohnehin eine relativ große Bandbreite (280 kHz) erforderlich. FM-Module sind

6

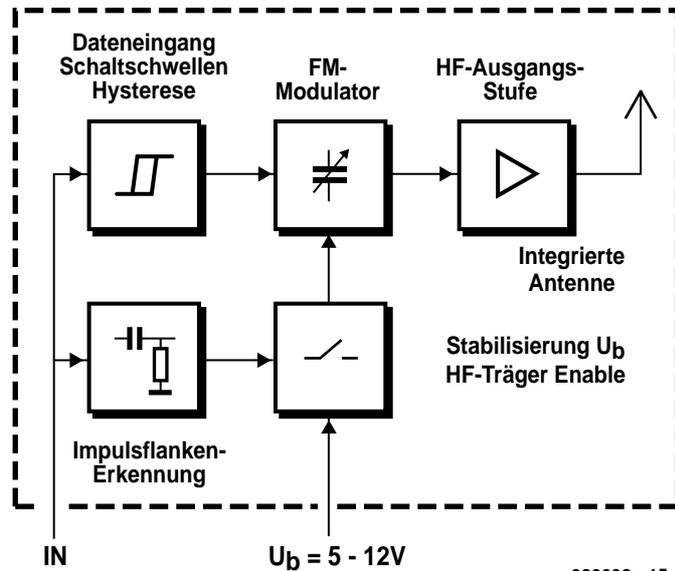


Bild 6. Blockschaltbild eines typischen 433-MHz-FM-Sendemoduls.

980038 - 15

7

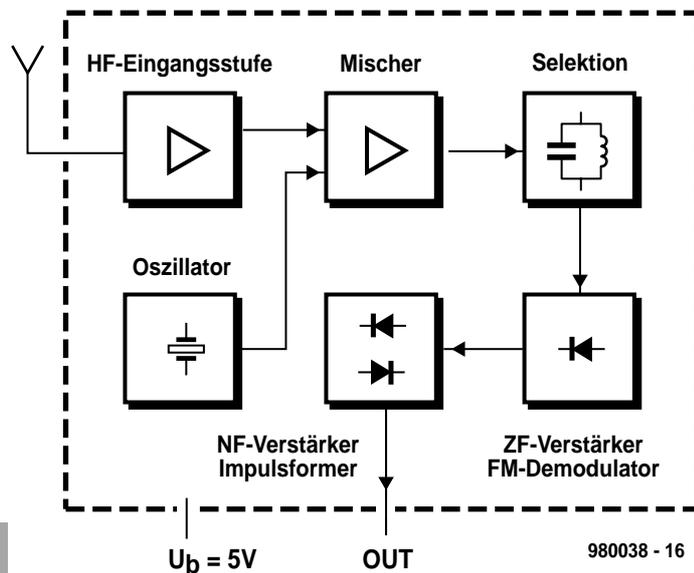


Bild 7. FM-Empfängermodule sind Superhets oder sogar Doppelsuper.

980038 - 16

zumeist mit 5-V- oder 3-V-Systemen kompakt

ausgelegt.

Noch höherwertige Module sind dank Miniaturisierung zwar nicht unbedingt größer, aber wesentlich aufwendiger und teurer. Die Sender zeichnen sich dank Frequenzsynthese mit Quarzreferenz durch hohe Frequenzstabilität und Genauigkeit aus, auch für die Oberwellenfilterung wird mehr Aufwand getrieben. Die Empfänger sind in der Regel Doppelsuper mit Syntheseabstimmung und

schmalbandigen Filtern. Die Technik der High-end-FM-Module ist ähnlich der von 70-cm-Handfunkgeräten.

DATEN ÜBERTRAGUNG

Für eine einfache Datenübertragung, zum Beispiel für Fernsteuerzwecke, benötigt man einen passenden Encoder auf der Senderseite und einen entsprechenden Dekoder auf der Empfängerseite. Dafür gibt es spezielle ICs wie etwa MM57410N (National Semiconductor), MC145026/MC145028

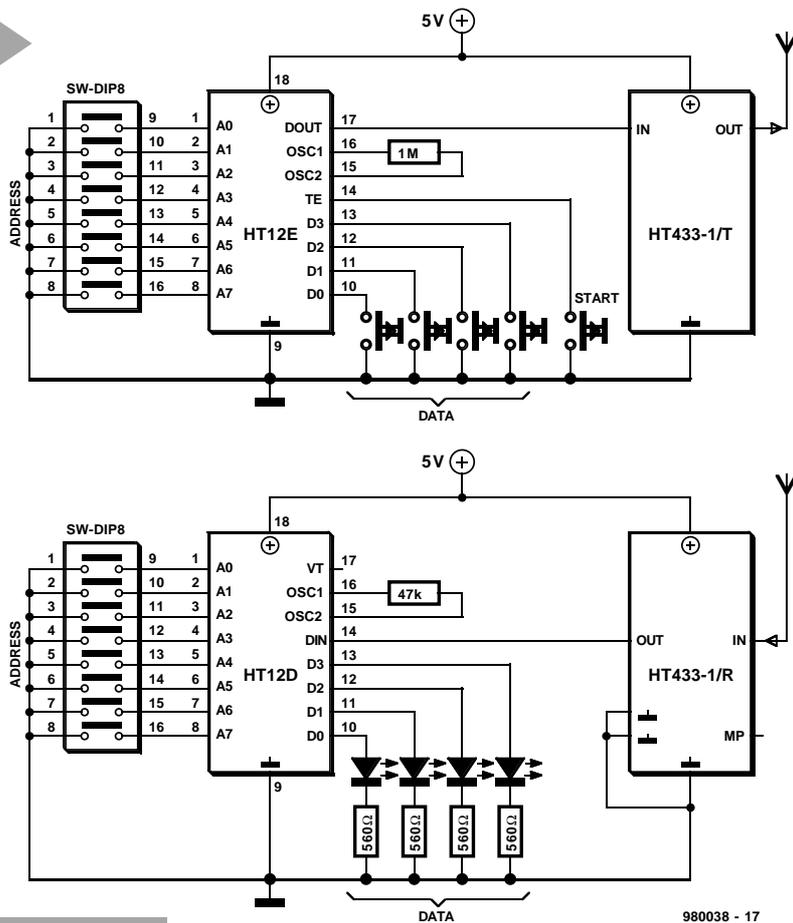


Bild 8. Applikations-schaltung für eine adressierbare digitale Signalübertragung mit 433-MHz-FM-Modulen.

(Motorola) und HE8 und HT12 (HE/Heiland Electronic). Ein Beispiel einer adressierbaren Signalübertragung ist in Bild 8 zu sehen. Das Encoder-IC

HT12E liefert seine Daten direkt an den Modulationseingang des Sendermoduls, ebenso liegt das Dekoder-IC HT12D direkt am Ausgang des Empfängermoduls. Mit den DIP-Schaltern des Koders wird die gleiche Adresse eingestellt wie beim dem Empfänger

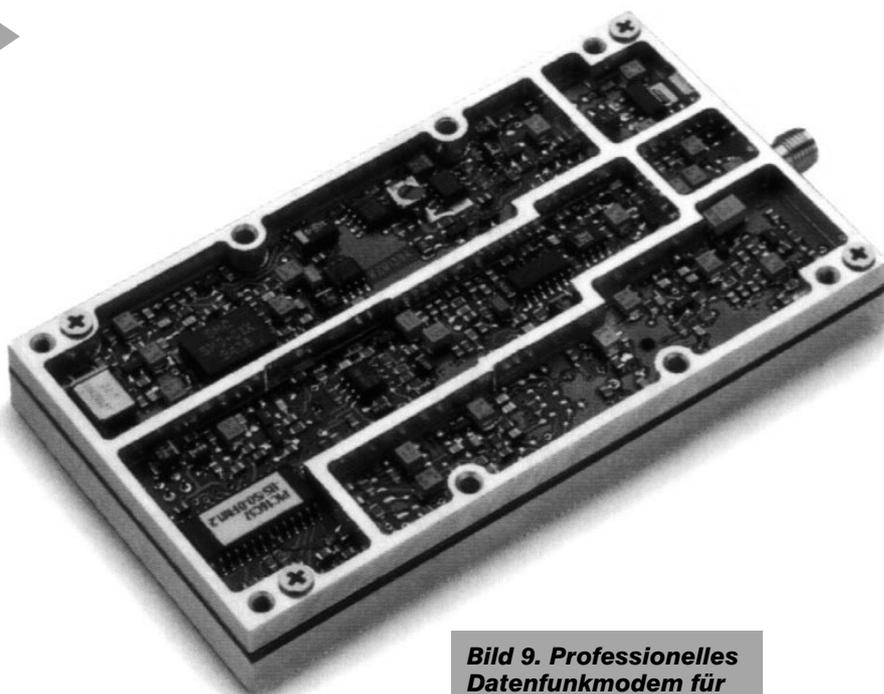


Bild 9. Professionelles Datenfunkmodem für den 433-MHz-Bereich.

(es können mehrere sein), der angesprochen werden soll. Zusätzlich können an den vier Daten-Eingängen vier Datenbits (hier durch Taster) angelegt werden. Mit dem Anlegen eines Transmit-Enable-Signals (/TE) gibt der Koder die 12 bits (8 Adreß- und 4 Datenbits) seriell an den Sender. Der Dekoder empfängt das 12-bit-Wort und interpretiert die ersten 8 bit als Adresse und die letzten 4 bit als Daten. Stimmt die empfangene Adresse mit der Adreßeinstellung am Dekoder überein, werden die 4 Datenbits an den Ausgängen (hier mit LEDs beschaltet) gelatcht ausgegeben. Um eine hohe Übertragungssicherheit zu erzielen, sendet der Koder das 12-bit-Wort bei jedem /TE viermal hintereinander. Der Koder gibt die Daten erst aus, wenn sie dreimal übereingestimmt haben. Der Ausgang VT zeigt dann an, daß gültige Daten empfangen wurden.

Dieses Verfahren ist für eine langsame Datenübertragung gut geeignet. Für etwas höhere Datenraten kann man anstelle spezieller ICs natürlich auch Mikrocontroller einsetzen, allerdings muß man sich dann selbst Gedanken über die Softwareeroutinen zur (sicheren) Datenübertragung machen. Wenn Daten zwischen Geräten mit serieller Schnittstelle in beide Richtungen übertragen werden sollen, kommt man dann schnell zu einer Lösung ähnlich der bei einer Infrarotübertragung (siehe "Long-Distance IrDA", Elektor 5/97, S.28). Für anspruchsvollere Telemetrieanwendungen werden spezielle Datenfunkmodems unter Verwendung von hochwertigen 433-MHz-Modulen eingesetzt. Ein Protokoll verbessert dabei die Übertragungssicherheit. Häufig wird AX.25 angewandt, eine Abwandlung des X.25-Protokolls, die der Amateurfunk schon lange für Packet-Radio nutzt.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, daß bei der Datenübertragung mit FM-Modulen eigentlich FSK (Frequenzumtastung) betrieben wird. Der geringe technische Aufwand dieser Modulationsart wird aber mit großem Bandbreitenbedarf und (wegen der schlechten Ausnutzung der HF-Leistung) mit geringer Reichweite bezahlt. Wenn man die für 433-MHz-Sprechfunkgeräte zulässigen 25 kHz (bei -36 dBm) auch für den Datenfunk verlangt (siehe Bild 1), kann man mit FSK höchstens 500 bit/s übertragen! Für professionelle Anwendungen wurden daher spezielle Modulationsverfahren wie GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) entwickelt, die den Bandbreitenbedarf um den Faktor 15 und mehr reduzieren und gleichzeitig die Übertragungssicherheit wesentlich erhöhen.