

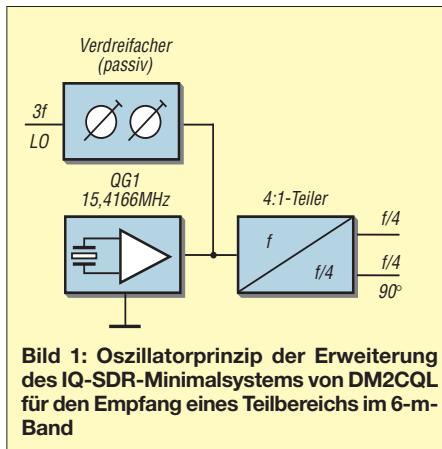
Bandbeobachtung mit dem PC: IQ-SDR-Minimalsystem für 6 m

FUNKAMATEUR-LESERSERVICE

IQ-SDR ist heute ein Synonym für eine zeitgemäße Verbindung von PC- und HF-Technik. Da es möglich ist, interessante Projekte mit wenig Aufwand zu realisieren, ist diese Technologie auch für den Selbstbau geeignet. Standen beim SDR-Kit [1] Hörexperimente im Vordergrund, so zeigt dieses Projekt, wie man ein Minimalsystem bauen kann, mit dem sich ein empfindliches und hochauflösendes Bandskop realisieren lässt, das man sonst nur in deutlich teureren Transceivern findet.

Wer wünscht sich nicht, während anderer Tätigkeiten aktuell informiert zu sein, was auf dem Magic Band läuft, um keine Öffnung zu verpassen. Man kann auf dem PC das DX-Cluster laufen lassen oder einen Empfänger auf die DX-Anruffrequenz abstimmen. Oder man nutzt einen IQ-SDR-Empfänger und einen PC. Nicht primär um zu hören, sondern um in Echtzeit beobachten zu können, wie ein bestimmter Frequenzbereich gerade mit Signalen belegt ist. Selbst wer einen modernen DSP-Transceiver wie z.B. den FT-2000 oder IC-756PROIII im Shack zu stehen hat, dürfte sich für eine so simple Lösung begeistern, denn schließlich wird das teure Amateurfunk-Equipment so nicht mit simplen Monitoringaufgaben blockiert.

Da die meisten Funkamateure im Shack ohnehin einen PC benutzen, liegt es nahe, auf



dem Computer ein SDR-Programm in einem Fenster laufen zu lassen und das Band nebenbei zu beobachten. Genau dazu kann man diese einfache Baugruppe benutzen.

■ SDR-Kit mit Konverter

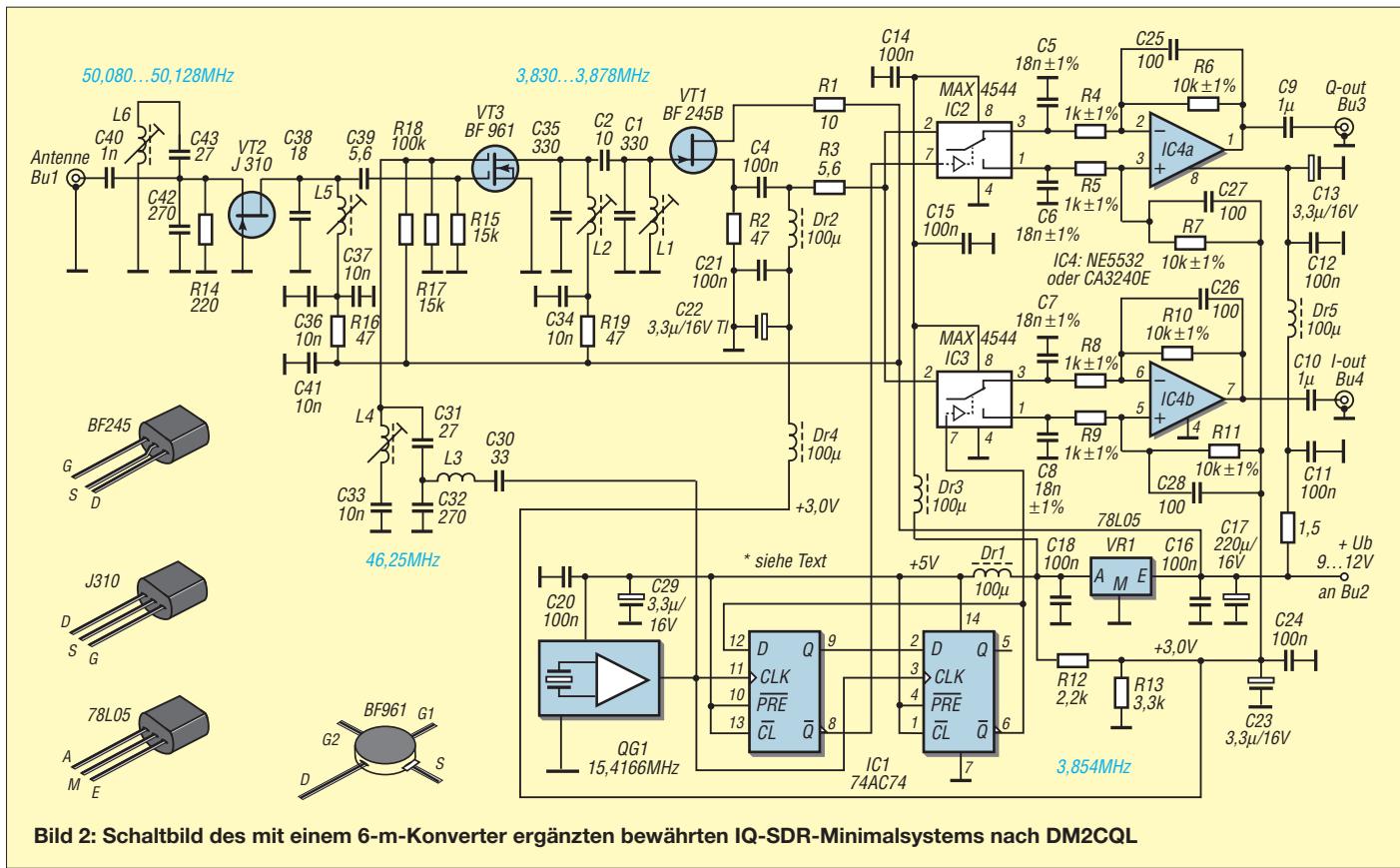
Da sich das inzwischen hunderte Male nachgebaute und bewährte SDR-Konzept [1] nicht ohne weiteres für das 6-m-Band nutzen lässt, liegt die Verwendung eines Konverters nahe, der die 6-m-Signale auf einen Frequenzbereich umsetzt, der vom DM2CQL-SDR-Kit verarbeitet werden kann.

Zunächst war ein einfacher externer Konverter im Gespräch, der zwischen 6-m-Antenne und SDR-Empfänger eingefügt wird.

Diese Idee wurde jedoch verworfen, weil auf der ZF durchschlagende Signale die Nutzbarkeit des Gerätes beeinträchtigen würden. Zum Glück hat DM2CQL bei seinem Projekt ein Gehäuse Nr. 7 der Otto Schubert GmbH gewählt, in dem bei 55 mm × 148 mm × 30 mm noch ausreichend Platz ist, um die Platine zu vergrößern und so die wenigen Bauteile des Vorsetzers unterzubringen.

Konverterschaltungen findet man in der Amateurfunkliteratur der 70er- und 80er-Jahre reichlich, wenn sich auch nicht alle in der Gegenwart noch realisieren lassen. Viele Halbleiter sind nicht mehr verfügbar, was uns veranlasste, auf die Typen J310 und BF961 zu setzen, auf die wir Zugriff haben.

Problematisch ist die genaue Wahl der ZF, also der Eingangsfrequenz des eigentlichen IQ-SDR-Empfängers. Frequenzen innerhalb von Rundfunk- und Utility-Bändern



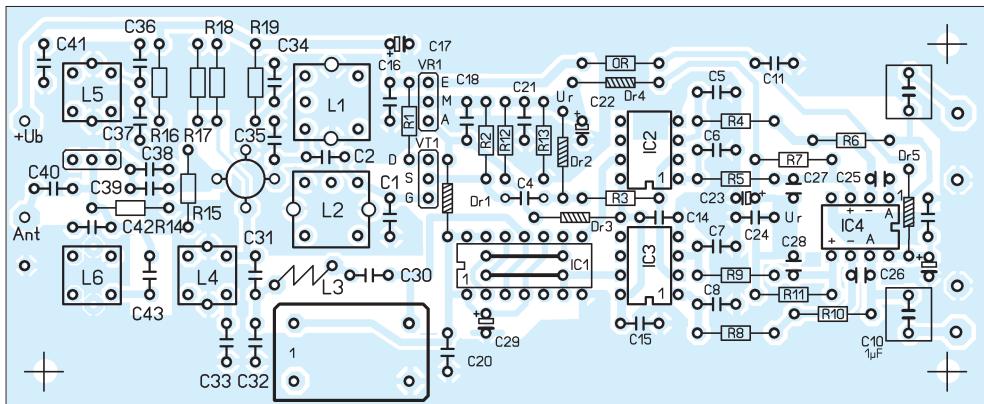


Bild 3:
Platine im Maßstab 1:1.
Das um den Konverter erweiterte
IQ-SDR-Minimalsystem
von DM2CQL

dern scheiden aus und so wurde ein Bereich oberhalb des 80-m-Bandes gewählt. Um sich miteinander mischende Oszillatortosignale auszuschließen, leiten wir die beiden um 90° phasenverschobenen Signale für die Schalter-ICs und die LO-Frequenz des Konverters aus einem einzigen Oszillator ab. Dazu wählten wir einen speziell gefertigten TTL-Oszillator von 15 416,6 kHz (\pm Toleranz), mit dem sich

Als Induktivität L3 nutzen wir eine fertige Luftspule (15 Wdg., Ø 5 mm) mit 0,32 μ H. L4, L5 und L6 sind abgleichbare Spulen mit 0,5 μ H, die zufällig in ausreichender Stückzahl vorhanden sind, für die aber auch ein Neosid-Äquivalent einsetzbar wäre.

In der Vorstufe kommt ein Sperrsicht-FET J310 in Gate-Schaltung zum Einsatz. Der arbeitet absolut stabil und hat einen

legentlich bei Source- und Emitterfolgern auftreten können.

Für die beiden Schaltermischer IC2 und IC3 haben wir den Typ MAX 4544 gewählt, weil damit bereits sehr gute Erfahrungen vorliegen. Die beiden Steuersignale der Mischer müssen eine Phasendifferenz von 90° aufweisen, sie werden über QG1 und IC1 quarzstabil bereitgestellt.

Die dem IQ-Schaltermischer folgenden Sample-Tiefpässe bedürfen einer korrekten Dimensionierung. Im Gegensatz zu einem per Hardware abgestimmten Direktmischer, wo die Grenzfrequenz bei 1 kHz (CW) oder 2,7 kHz (Fonie) liegt, muss man hier weit höher gehen. Bei einer 16-Bit/48-kHz-Soundkarte liegen die Frequenzen – bezogen auf die Nullstelle – bei ± 24 kHz. Setzt man die Summe der Vorwiderstände ($R_{\text{quell}} + R_3 + R_{\text{on}}$) für die Sample-Kondensatoren zu 150 Ω an, so folgt daraus für C5 bis C8 eine rechnerische Kapazität von je 22 nF (Tastverhältnis 0,5 berücksichtigt).

Der genaue Wert ist unkritisch, jedoch sollten diese Kondensatoren untereinander eine Toleranz von weniger als $\pm 1\%$ haben. Dazu liegen dem Bausatz ausgemessene Sätze von vier 18-nF-Kondensatoren bei. Die auf die Sampling-Tiefpässen folgenden OPVs IC4a/b arbeiten als Differenzverstärker. Die gemeinsamen Gleichstromarbeitspunkte für die Schalter- und OPV-Eingänge erzeugt der Spannungsteiler R12/R13 aus der stabilisierten 5-V-Schiene. Die an den Schalterausgängen anstehenden NF-Signale werden zehnfach verstärkt (20 dB).

Sollte der Audiopegel für die vorliegende Soundkarte nicht ausreichen, brauchen lediglich die Widerstände R6, R7, R10 und R11 etwas vergrößert zu werden (z. B. auf 22 k Ω). Hohe Verstärkungswerte sind aber meistens nicht erforderlich, weil die Soundkarten genügend Verstärkungsreserven bieten. Bei der eigenen Umdimensionierung der Gegenkopplung ist das Verstärkungs-Bandbreite-Produkt des OPV-Typs zu beachten.

In einigen Datenblättern findet man den Verstärkungsverlauf als Funktion der Fre-



Bild 4: Testaufbau des 6-m-IQ-SDR-Systems. Um die einwandfreie Funktion zu gewährleisten, ist der Einbau in ein Weißblechgehäuse (Bestellbezeichnung BX-059) sinnvoll.

eine 6-m-Mittenfrequenz von 50,104 MHz ± 24 kHz in den Bereich 3,830 ... 3,878 MHz umsetzen lässt.

Dessen 3. Oberton weist einen Pegel von fast +7 dBm auf, genug, um einen Dioden- oder einen Dualgate-FET-Mischer anzusteuern. Allerdings muss es gelingen, die unerwünschten Harmonischen ausreichend zu unterdrücken.

Dazu dienen ein Serien- und ein Parallelschwingkreis, dessen heißes Ende direkt an das Gate 2 des Mischer-FETs führt. Die höheren Oberwellen des TTL-Oszillators produzieren allerdings Nebenempfangsstellen, an denen der Empfänger aber wegen der Vorselektion deutlich unempfindlicher ist, sodass sie in der Praxis kaum eine Rolle spielen dürften.

Eingangswiderstand in der Nähe der Impedanz der Antenne.

Der Rest der Schaltung wurde von dem DM2CQL-SDR-Kit [1] übernommen.

Schaltung des SDR-Kits

Der Ausgangskreis des Mischers besteht aus der Becherspule L2 und C35. Über C2 wird ein zweiter Schwingkreis aus C1 und L1 angekoppelt.

VT1 dient zur Erzeugung der phasenverschobenen Signale für die Schalter-ICs. Für einen optimalen Arbeitspunkt ist der Drainstrom von VT1 über R2 auf einen Wert einzustellen, der etwa 15 bis 20 % unter I_{DS} liegt. Dem Bausatz liegen bereits vorselektierte Exemplare bei. R1 verhindert parasitäre Schwingungen, die ge-

Bandbereich des 6-m-Bausatzes für eine 48-kHz-Soundkarte

Variante	$f_{\text{OG1}}/\text{kHz}$	f_e/kHz	Bandsegment
BX-056	15 417	50 104,0 \pm 24	50 080,0 bis 50 128,0 kHz (6 m, DX-Anruffrequenz)

Gemessenen Ströme und Spannungen an einem Mustergerät

Messpunkt	Messwert
Eingang VR1	9,1 V
I_{ges}	44 mA
Pin14 @ IC1	4,9 V
Pin8 @ IC2,3	4,9 V
Pin8 @ IC4	9,0 V
Pin1 @ IC4	2,73 V
Pin7 @ IC4	2,75 V
I_{DSS} @ VT1	9 mA
I_{D} @ VT1	7,6 mA
U_{S} @ VT1	358 mV

Bauteile des beim Leserservice optional erhältlichen Gehäuse-Kits BX-059

Symbol	Bezeichnung
Bu1	BNC-Buchse, schraubar
Bu2	Einbauverbinder für Hohlstecker 2,1 mm
St1	Hohlstecker 2,1 mm
Bu3, Bu4	Cinch-Einbaubuchse, Metallausführung Audio-Kabel Klinke/Chinch, 1,5 m lang Weißblechgehäuse Nr. 7 mit allen Löchern versehen

Zusammenstellung der Bauteile für das 6-m-SDR-Minimalsystem

Symbol	Bezeichnung / Wert
Transistoren	
VT1	BF245B (selektiert)
VT2	J310
VT3	BF961
VR1	78L05
ICs	
QG	TTL-Oszillator 15,4166 MHz
IC1	74AC74
IC2, IC3	MAX4544
IC4	NE5532
Widerstände	
0R	1,5 Ω
R1	10 Ω
R2	47 Ω
R3	5,6 Ω
R4, R5,	1 kΩ ±1 %
R8, R9	(Metallschichtwiderstand)
R6, R7	10 kΩ ±1 %
R10, R11	(Metallschichtwiderstand)
R12	2,2 kΩ
R13	3,3 kΩ
R14	220 Ω
R15, R17	15 kΩ
R16, R19	47 Ω
Spulen	
R18	100 kΩ
L1, L2	Filterspule; 2704053AM ≈ 5,0 μH
L3	Luftspule; fertig, ≈ 0,3 μH
L4, L5, L6	Filterspule; klein; 0,5 μH
Kondensatoren	
Dr1 ... Dr5	Drosselspule SMCC 100 μH
C1, C35	330 pF, RM 5
C2	10 pF, RM 5
C5...C8	18 nF, ausgemessen auf ±1 %
C4, C11, C12,	
C14...C16,	
C18...C21,	
C24	100 nF, RM 5
C9, C10	1 μF, MKS-2 RM 5
C25...C28	100 pF, RM 2,5
C13, C22,	
C23, C29	3,3 μF/16 V, RM 2,5
C17	220 μF/16 V
C30	33 pF, RM 5
C31, C43	27 pF, RM 5
C32, C42	270 pF, RM 5
C33, C34, C36,	
C37, C41	10 nF, RM 5
C38	18 pF, RM 5
C39	5,6 pF, RM 5
Sonstige	
C40	1 nF, RM 5
Lötstifte	6 x 1 mm
Lötschuhe	6 x 1 mm
Platine	ohne Bezeichnung
Bauanleitung	
Gehäuse	Weißblechgehäuse Nr. 7 4 Teile
Bu1	BNC-Einbaubuchse
Bu2	Einbau-DC-Buchse, 2,1 mm
St1	Hohlstecker, 2,1 mm
Bu3, Bu4	Cinch-Einbaubuchse
Audiokabel	AVK118, 2 x Cinch auf 3,5-mm-Stereoklinke

quenz aufgetragen und ist überrascht, wie weit die Verstärkung bei 100 kHz abfällt. Die an den Ausgängen I und Q anliegenden NF-Signale werden der Soundkarte zugeleitet und dort mit einer geeigneten Software, siehe [1], [2], demoduliert.

Aufbau und Inbetriebnahme

Der Aufbau wird schrittweise erledigt. Da wäre zunächst die sorgfältige Bestückung der Platine und der Einbau in das Gehäuse, danach kommt die Kontrolle der Gleichspannungs-Arbeitspunkte, und im letzten Schritt geht es um das Zusammenspiel der Hardware (Empfänger, Soundkarte, PC) mit der SDR-Software, die uns verschiedene Programmierer als Freeware bereitgestellt haben.

Vorbereitungen zum Aufbau

Wie schnell Sie – ausgehend vom vorliegenden Bausatz – zu einem funktionsfähigen Empfänger kommen, hängt u.a. davon ab, wie gut Sie die ganze Aktion vorbereitet haben. Auch wenn es sich um ein Einsteigerprojekt handelt, ist ein Minimum an technischen Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten eine unabdingbare Voraussetzung für den Aufbau und die erfolgreiche Inbetriebnahme dieses kleinen Gerätes. Wer in dieser Beziehung noch zu große Lücken sieht, sollte sich vorher noch mit der einschlägigen Literatur beschäftigen, z.B. [6], und gegebenenfalls den Rat eines erfahrenen OMs einholen. Ist soweit alles klar, empfehle ich folgende Arbeitsschritte:

1. Kontrolle der gelieferten Bauteile und Vorsortierung gemäß der Stückliste. Hierbei ist es wichtig, dass man die Bezeichnungen aller Bauteile richtig deuten kann. Bei Widerständen ist es relativ einfach, weil sich die Werte leicht mit einem Multimeter (im Widerstandsbereich) nachmessen lassen. Eine Liste mit der Kennzeichnung der Kondensatoren ist ebenfalls sehr hilfreich.
2. Einrichtung des Arbeitsplatzes mit Lötstation, Werkzeug und Hilfsmitteln. Dazu gehören: Lötzinn mit Flussmittelseele, Pinzette, Seitenschneider, Flachspitz-

zange, etwas Schaltdraht, kleine Maulschlüssel für die Buchsen, eine Lupe und eine gute Lampe. Wird ein Bauteil falsch eingelötet, kann man das Lötauge mit einer ausgeglühten Stopfnadel (nimmt kein Zinn an) nachträglich wieder freistechen.

3. Die Bestückung beginnt hier mit den Drahtbrücken und den Lötstiften. Weiter geht es – wie immer – mit den flachsten Teilen (Widerstände) und dann in der Reihenfolge der Bauhöhe. Die Filterspulen L1 und L2 müssen mit etwas Kraftaufwand in die Löcher hineingedrückt werden – aber keine Gewalt anwenden!

Besondere Vorsicht gilt den Teilen, die durch elektrostatische Aufladungen zerstört werden können (CMOS-IC, FET). Wer ganz sicher gehen will, „erdet“ sich mit einem Metallarmband oder achtet auf eine halbwegs leitfähige Arbeitsfläche (keine Plastikbeschichtung, Tisch kurz feucht abwischen, evtl. ein großes Stück Pappe als Arbeitsfläche auflegen, Füße still halten, nicht auf dem Teppich herumscharren, ab und zu den Schutzkontakt anfassen etc.).

4. Grobe Fehlerquellen sind gleich von Anbeginn durch eine sorgsame Kontrolle der Bestückung auszuschalten. Ein Vergleich zwischen der Schaltung, dem Bestückungsplan und dem Foto des Mustergerätes ist keine verschwendete Zeit. Lötbrücken, verpolte Elektrolytkondensatoren sowie falsch herumzisende ICs und Transistoren sind die häufigsten Fehler. Eine Lupe verwenden, nicht mit zuviel Zinn löten, evtl. Absauglitze verwenden. Kleine Kapazitätswerte zuerst einbauen, Abblock-Kondensatoren zuletzt. Alle Widerstände zur Sicherheit nachmessen, Filterspulen und Drosseln auf Durchgang prüfen.

5. Wer das Gehäuse-Kit mitbestellt hat, kann jetzt die Buchsen einbauen, die Platine einlöten und die wenigen Drahtverbindungen von der Platine zu den Buchsen legen. Um vor einer Batteriefalschpolung sicher zu sein, empfehle

ich, in der Testphase eine Schutzdiode in die Plus-Leitung zu legen.

6. Anschluss der Stromversorgung und Kontrolle der Gleichspannungsspeigel gemäß Tabelle 5.

Wer die SDR-Software bereits eingerichtet hat und über eine geeignete Antenne

verfügt, kann jetzt mit den ersten Empfangsversuchen beginnen; andernfalls ist vorher noch die Datei *Weitere_Hinweise.pdf*, mit den Abschnitten „Rocky 1.5, Einrichtung und Bedienung“ sowie „Verschiedenes“ durchzuarbeiten.

Fehlersuche

Wenn alle bisherigen Schritte sorgfältig ausgeführt wurden, sind Fehler zwar sehr unwahrscheinlich, aber nicht restlos auszuschließen. Die häufigsten Fehler wurden bereits im Punkt 4 genannt. Da seitens des FA-Leserservice lediglich die Sampling-Kondensatoren C5 bis C8 bei der $\pm 1\%$ -Auswahl sowie die SFETs bei der I_{DSS} -Selektion überprüft wurden, kann sich schon einmal ein defektes oder falsch beschriftetes Bauteil einschleichen.

Sollte ein MAX4544 defekt sein, arbeitet nur ein NF-Kanal. Arbeitet der digitale Phasenschieber nicht, kommen in beiden Kanälen keine Signale zur Soundkarte. Ob der Quarzoszillator schwingt und auch die Steuersignale für die Schaltermischer anliegen, lässt sich mit einem Dioidentastkopf in Verbindung mit einem Digital-Multimeter kontrollieren. Große Vorsicht ist beim Antasten der Pins 11/IC1, 7/IC2 und 7/IC3 angebracht, ein Abrutschen mit der Tastspitze kann zu Kurzschlüssen führen.

Des Weiteren lassen sich mit einer Soundkarte auch sehr aussagefähige Messungen am NF-Teil des Empfängers durchführen, wie ich ebenfalls in der Datei *Weitere_Hinweise.pdf* beschrieben habe. Eine umfassende Einführung in das Messen mit Soundkarten finden Sie in [7]. Die diesem Buch beiliegende CD enthält auch die dazu notwendigen Programme.

■ Software

Für die ersten Empfangsversuche eignet sich am besten das Softwarepaket *Rocky* [8] von VE3NEA (auf der CD enthalten). Das Programm läuft, ebenso wie *SDRadio* [9] und *Winrad* [10] von I2PHD, auch noch auf vielen PCs mit Windows98. Da man beim Aufruf der *Rocky*-Hilfe auf die zugehörige Website umgeleitet wird und sich dort nur mit guten Englisch-Kenntnissen informieren kann, enthält die dem Bausatz beiliegende CD-ROM in der Datei *Weitere_Hinweise.pdf* in Deutsch wichtige Erläuterungen zur Anwendung dieser bestens überschaubaren Software, die auch Recorderbetrieb zulässt. Bitte beachten Sie auch die in [2] gegebenen Hinweise zur Software.

Eine weitere beliebte SDR-Decoder-Software ist KDG-SDR von M0KGK [11]. Bei der Installation der aus dem Internet heruntergeladenen Files ist zu beachten, dass die Folgeversionen nicht unbedingt alle

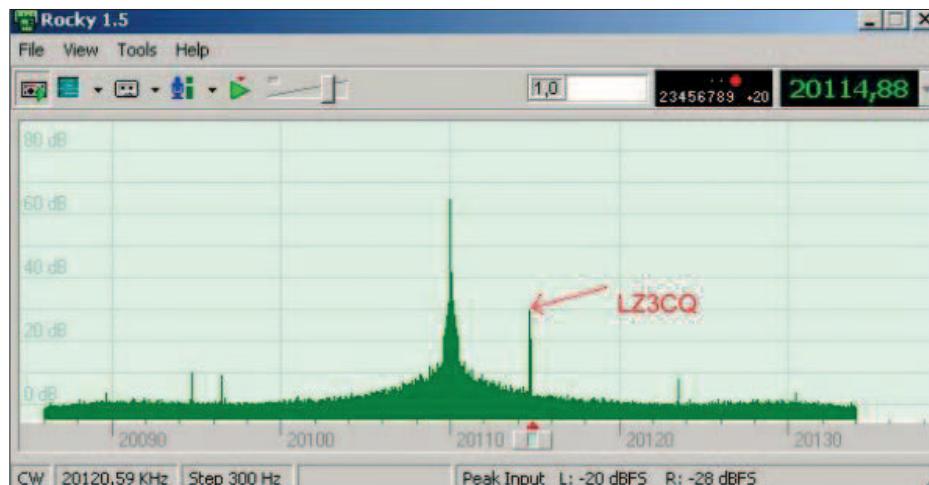


Bild 5: Das Signal von LZ3CQ im Spektrum (Pfeil und Beschriftung wurden nachträglich von Screenshot mit Rocky 1.5 von DL9USA

notwendigen Dateien enthalten. Zur Sicherheit empfehle ich daher, zunächst eine ältere Version aufzuspielen und erst danach die neuere Version darüberzuinstallieren.

Wenn man bei der Bestückung keine Fehler macht und die Hinweise zum Aufbau, Einbau und Betrieb beachtet, sollte der Empfänger auf Anhieb funktionieren. Der Abgleich ist simpel, da man ihn mithilfe des PCs vornehmen kann. Alle Spulenkerne werden so justiert, dass ein Nutz- oder Messsendersignal eine möglichst hohe Spitze im Spektrum erzeugt.

■ Messergebnisse

Es zeigte sich, dass bereits Signale ab 0,1 μ V im von der *Rocky*-Software V. 3.2 dargestellten Spektrum sichtbar sind. Der darstellbare Amplitudenbereich hängt von der Qualität der Soundkarte ab. Die unseres Labor-PCs war in der Lage, Signale bis 50 μ V, also S9+20 dB, zur Anzeige zu bringen. Erst bei höheren Eingangsspannungen wurde die obere Grenze des logarithmischen Amplitudenbereichs überschritten.

Nebenempfangsstellen sind im 4-m-Band bzw. UKW-Rundfunkband zu erwarten, brauchen aber Pegel von über 1 mV, um im Spektrum sichtbar zu werden.

Das scheinbar starke Signal in der Mitte der Anzeige ist prinzipbedingt und von Faktoren wie Brumm- und anderen Einstreuungen abhängig.

■ Fazit

Die Empfindlichkeit des 6-m-SDR-Kits ist mit kommerziellen Empfängern der Mittelklasse zu vergleichen. Bild 5 zeigt eine von DL9USA ermittelte Empfangssituation.

■ Ausblick

Wir werden versuchen, den einen oder anderen SDR-Software-Entwickler dazu zu

bewegen, sein Programm so zu ändern, dass reale Frequenzangaben auf dem PC-Monitor erscheinen. Ansonsten muss man mit dem kleinen Schönheitsfehler leben, dass der Konverter-Offset nicht richtig angezeigt wird.

shop@funkamateuer.de

Literatur

- [1] Raban, K., DM2CQL: IQ-SDR-Minimalsystem für 40/80 m. FUNKAMATEUR 55 (2006) H. 9, S. 1041–1042; Download im FA-Online-Shop
- [2] Raban, K., DM2CQL; Richter, G., DL7LA: Experimentalvarianten für SDR auf 80, 49 und 40 m. FUNKAMATEUR 55 (2006) H. 8, S. 920 ff.
- [3] Mollière, T., DL7AV: Der BCC-Kurzwellen-Preselektor. FUNKAMATEUR 46 (1997) H. 1, S. 76–77
- [4] Wetzel, R., DK2AG: Aktiver Preselektor für 40 m – Q-Multiplier macht möglich. FUNKAMATEUR 55 (2006) H. 9, S. 1042
- [5] Kirschke, A., DJ0TR: Rothamms Antennenbuch. 12. Auflage, DARC-Verlag, Baunatal 2001; sowie frühere Ausgaben
- [6] Zenker, P., DL2FI; Zenker, N., DL7NIK: Selbstbau-Welt bei Peter, DL2FI, und Nikolai, DL7NIK. www.qrpproject.de/bastelschule.htm
- [7] Raban, K., DM2CQL: Testen und Messen mit der Soundkarte. In: Hegewald, W., DL2RD (Hrsg.): Software für Funkamateure (2). Box 73 Amateurfunkservice GmbH, Berlin 2006; S. 31–66
- [8] Shovkopyas, A., VE3NEA: Rocky 1.5, Freeeware. www.dxatlas.com/rocky/
- [9] di Bene, A., I2PHD: SDRadio – a Software Defined Radio. <http://digilander.libero.it/i2phd/sdradio/index.html>
- [10] di Bene, A., I2PHD: WinRad. <http://digilander.libero.it/i2phd/winrad/index.html>
- [11] Munro, D., M0KGK: M0KGK SDR Decoder Software „KGKSDR“. www.m0kgk.co.uk/sdr/index.php
- [12] Raban, K., DM2CQL: Einfacher PSK31-Empfänger für das 80-m- oder 40-m-Band. FUNKAMATEUR 53 (2004) H. 3, S. 281–283
- [13] Meyer, M., HB9BGV: SDR-1000: Eine neue Ära im Amateurfunk ist eingeläutet“ (1). FUNKAMATEUR 53 (2004) H. 5, S. 454–457
- [14] Scholz, B., DJ9CS: SoftRock – Einstiegsplattform für softwaredefiniertes Radio. FUNKAMATEUR 55 (2006) H. 6, S. 665–668; H. 7, S. 792–795