

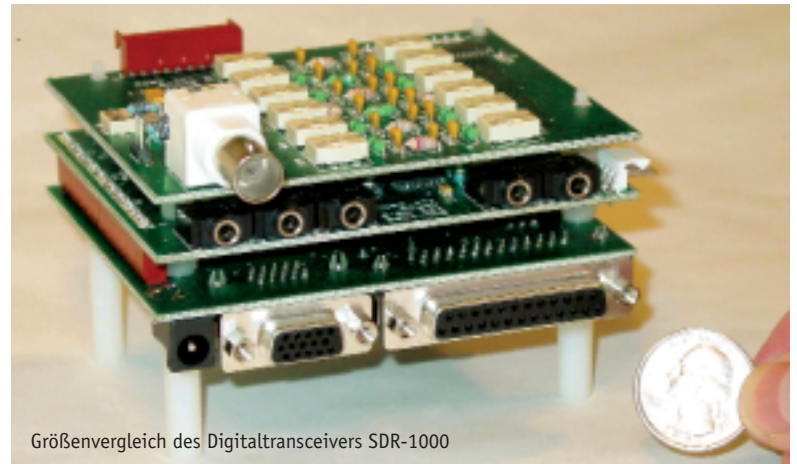
Erste Erfahrungen mit dem SDR-1000

Klaus Lohmann,
DK7XL/WD5DQE

Im Oktober 2003 wurde ein Software Defined Radio (SDR-1000) vorgestellt [3]. Mit diesem Gerät soll jeder Funkamateur Zugang zur Spitzentechnologie erhalten und sich einen digitalen Transceiver selbst bauen können. Lesen Sie einen ersten Erfahrungsbericht.

Der SDR-1000 arbeitet nach dem in Bild 1 gezeigten Prinzip. In einer 4-teiligen Artikelserie in der QEX mit dem Titel „A Software Defined Radio for the Masses“ (Jahrgang 2002) ist vollständig die Entstehungsgeschichte des SDR-1000 sowie die Entwicklung der Hard- und Software beschrieben worden. Die vier Artikel sind unter [1] herunter zu laden. Über einen Tiefpass bzw. fünf Bandpässe wird das von der Antenne gelieferte Signalspektrum selektiert und einem 2-fach-Direktmischer (double-balanced mixer) zugeführt.

Dieser wird aus einem schnellen acht-fach FET-Schalter von Fairchild (FST 3253, dual 4 : 1-Multiplexer/Demultiplexer Bus Switch) gebildet und arbei-



Größenvergleich des Digitaltransceivers SDR-1000

tet nahezu verlustfrei. Durch zwei um 90° phasenverschobene Signale geschieht die Direktüberlagerung, abgeleitet aus einem 200-MHz-Oszillator (DDS – Direct Digital Synthesizer). Gleichspannungsverstärker von Texas Instruments (INA-163) heben die für Quadraturmodulation charakteristischen 90° phasenverschobenen Mischprodukte um 23 dB bzw. 40 dB an. Sie werden anschließend dem Stereoeingang der Soundkarte des Rechners zugeführt (Q/I-Kanal Rx).

PC bestimmt Basisbandbreite

Die Qualität der nun folgenden Verarbeitung des NF-Spektrums (d.h. des Basisbandes) bestimmen die wesentlichen

Eigenschaften des Transceivers. Dessen Grenzen werden u.a. durch die Leistungsfähigkeit des Analog/Digitalwandlers, den Dynamikbereich und die Bandbreite der Soundkarte, aber auch durch die Grenzen des Betriebssystems Windows gesetzt.

Die Soundkarte verarbeitet (A/D- und D/A-Wandlung) beide Kanäle, derzeit bei einer Abtastrate von 44,1 kHz und einer Bandbreite von 40 kHz. Das überrascht auf den ersten Blick, da nach dem Nyquist-Theorem die max. Bandbreite auf die halbe Abtastrate begrenzt ist. 40 kHz sind nur möglich, da die Nutzung der Stereokanäle einer Verdopplung der Abtastrate gleichkommt. Die auf den zwei Kanälen nach Phase und Betrag verschiedenen Signale werden mittels Software weiterverarbeitet. Dieser Prozess ist der Kern eines SDR. Nach erneuter Wandlung – diesmal Digital/Analog – wird der Nachrichteninhalt über die Lautsprecher ausgegeben. Im Sendefall verläuft der Signalzug entsprechend: Aus der analogen NF – beispielsweise des Mikrofons – entstehen digitale Signalströme, die beliebig Rechenoperationen zu unterwerfen sind (Umwandlung in Modulationsarten, Festlegung der Bandbreite usw.).

Nach der anschließenden Umwandlung in die analoge Form wird das Produkt von zwei um 90° phasenverschobener Signale (beliebiger Modulation) aus der Soundkarte herausgeführt

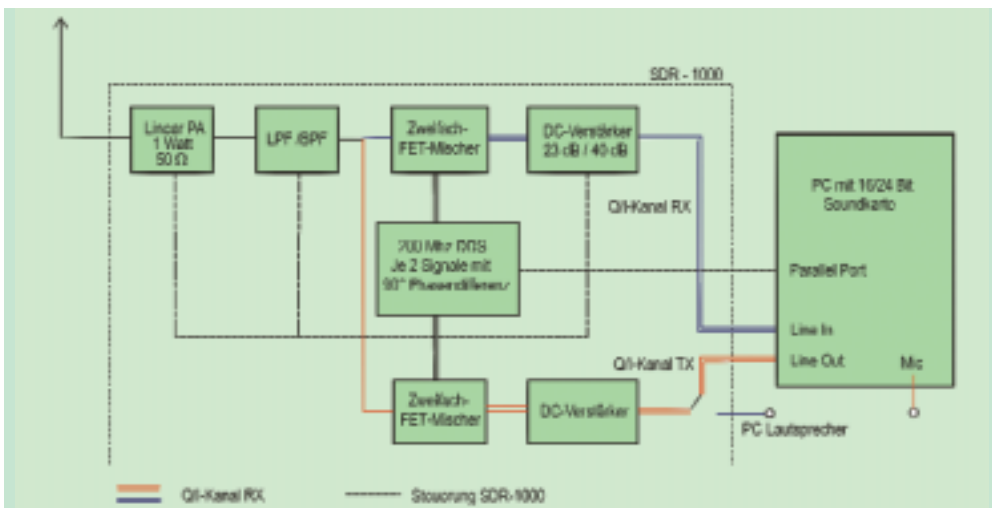


Bild 1: Funktionsplan des SDR-1000

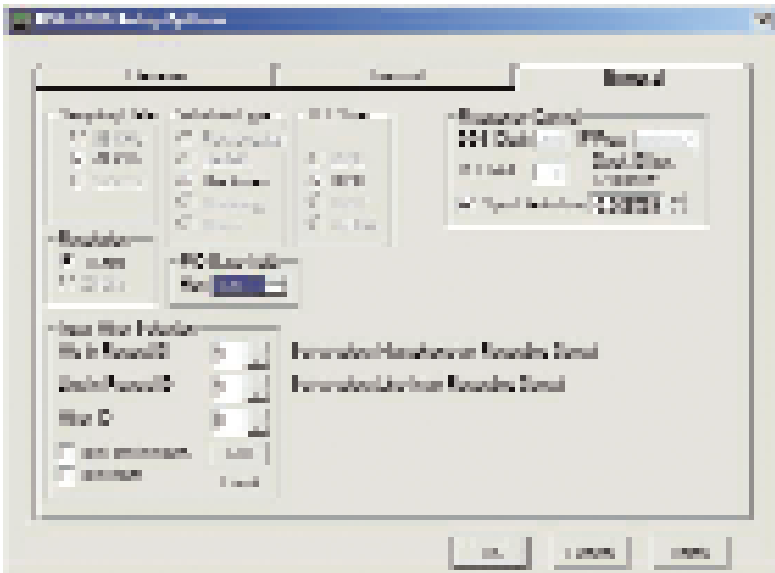


Bild 2: Mit einer Erhöhung der Sampling-Rate ließe sich die zu verarbeitende Bandbreite erhöhen, leider kann diese Einstellung im Dialogmenü wegen der Grenzen von Windows (noch) nicht vorgenommen werden

(Q/I-Kanal Tx). Sie gelangen über Gleichspannungsverstärker zum Quadrurmischer und erfahren eine Überlagerung mit den DDS-Oszillatorsignalen. Das Mischprodukt, also die seitenbandrichtige HF, wird über die LPF („Low Pass Filter“) bzw. BPF („Band Pass Filter“) einem Linearverstärker zugeführt, der bis zu 1 W an 50 Ω liefern kann.

Die Bedienung des Transceivers erfolgt ausschließlich durch den PC. Beliebig gestalten lässt sich durch die Software hingegen die „Frontplatte“, die schließlich nur „virtuell“ auf dem Monitor des PCs existiert.

Der Parallelport des PC dient zur Steuerung aller Funktionen (DDS, Schaltung LPF/BPF, Tx-/Rx-Umschaltung, Verstärkung 23 dB/40 dB). Ein 25-poliges Datenkabel verbindet die SDR-1000-Platinen mit dem Parallelport und mittels drei Stereo-NF-Kabeln auch die Soundkarte.

Was ist das Besondere?

Direktüberlagerungsempfänger gibt es seit Jahrzehnten. Die Quadraturmodulation kann aus der „Phasemethode“ abgeleitet werden – sie ist aus den Anfängen der SSB-Technik bekannt. Transceiver mit Computer-Interface gibt es auch schon eine Weile. Digitale Signalverarbeitung gehört im Amateurfunk ebenfalls zum Stand der Technik. Was also ist so neu am SDR-1000-Konzept? Zuerst: Es ist ein Gemeinschaftsprojekt von Funkamateuren. Kernstück ist die Software, die jedem als Quellcode zur Verfügung steht.

Es gibt die Möglichkeit, über das Internet eine Gruppe von Entwicklern zu bilden. Jeder Interessent kann außerdem Diskussionen zu Lösungsmöglichkeiten mitverfolgen.

Der SDR-1000 benötigt lediglich handelsübliche Computer. Eine CPU mit Taktfrequenzen >600 MHz/256 MB RAM stellt die Mindestanforderung dar und bewegt sich damit unter dem heute üblichen Standard-PC. Für erste „Gehversuche“ genügt meistens sogar die eingebaute Soundkarte.

Als Folge der Rahmenbedingungen wird deutlich, dass dieses Konzept auf gemeinsame Weiterentwicklung ausgelegt ist. Der Transceiver „veraltet“ nicht – er wird durch die Software (Visual Basic) ständig neuen Anforderungen angepasst. Entwickler Gerald, AC5OG, sagt zur Erwei-

terung der Anwendungen des SDR-1000 deshalb treffend: „... dream it and code it“ (träume deine Anwendung und programmiere sie).

Fertig zur Installation

Die Literatur zum Konzept, das Installationshandbuch und weitere mit den Platinen gelieferten bzw. im Internet vorhandene Hilfen sind nur in Englisch verfügbar. Ohne Probleme gelingt die Installation der Software, allerdings ist Erfahrung im Umgang mit dem PC erforderlich.

Da der Parallelport zur Steuerung aller Funktionen dient, ist ein spezielles Programm als Schnittstelle zum Visual-Basic-Programm zu installieren. Als Betriebssystem sollte Windows 2000 oder XP benutzt werden – hierfür erfolgt auch Unterstützung bei Problemen.



Bild 3: Vom Autor leicht überarbeitete „Frontplatte“ (Bedienoberfläche) des SDR-1000 in der Version 1.4. Mittlerweile ist die Version 1.5.2beta in der Erprobung

Für auftretende Schwierigkeiten werden schriftliche Hilfen angeboten. Bei der Inbetriebnahme tritt in DL ein Problem auf: Runtime Error 13 „type mismatch“, für das allerdings keine ausreichende Lösung beschrieben wird –

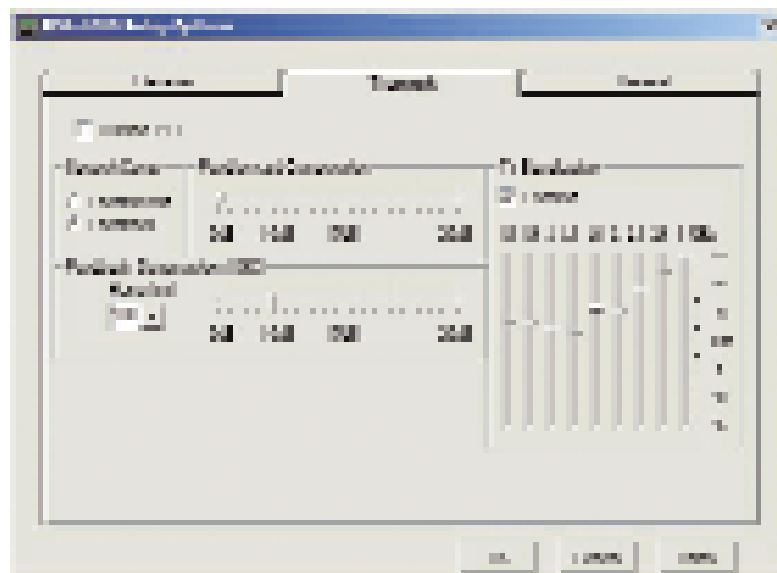


Bild 4: Sendeseitig stehen alle Möglichkeiten offen, die Modulation zu beeinflussen

Die Bestellung der Hardware ist in den USA oder über einen Distributor [2] für den deutschsprachigen Raum möglich.

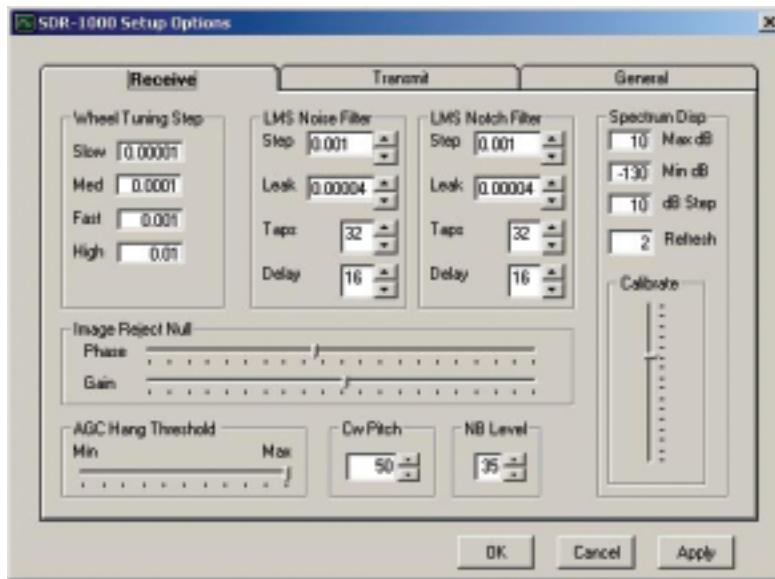


Bild 5: Konfigurationsdialog des Empfängers

dabei ist die Ursache trivial: Im amerikanischen Zeichensatz werden Punkt und Komma zur Notation von Dezimalpunkt und zur Gliederung großer Zahlen (10^3 -Schritte) umgekehrt zur deutschen Konvention verwandt. Mit der Systemsteuerung von Windows XP unter „Regionaleinstellungen“, „Format für Datum/Zahlen/Zeit“ ist das aber schnell gelöst.

Einige Tests sind für die richtige Einstellung der Soundkarte erforderlich – die Einstellungen variieren mit den verwendeten Soundkarten.

Windows-Mixer pegelt ein

Mit dem Windows Systemprogramm „Sndvol32.exe“ lassen sich alle Ein- und Ausgänge einpegeln bzw. abschalten. Zu beachten ist dabei, dass die Soundkarte vom SDR-1000 das Empfangs-Signal über Aufnahme Line-in erhält (nicht über Wiedergabe – der Kanal muss im Empfangsfall stumm geschaltet sein).

Bei der Leistungsfähigkeit der Soundkarten sind in den vergangenen Jahren Fortschritte gemacht worden, manche gibt es mit über 100 dB Dynamikumfang (z.B. Creative Labs Audigy 2). Auch Abtastraten von 96 kHz wären möglich – leider noch nicht unter Windows. Mit 96 kHz (**Bild 2**) ließe sich die Bandbreite des zu verarbeitenden Signalspektrums (also der „NF“ aus dem Direktmischer bzw. des Basisbandes) nochmals verdoppeln.

Nicht nur zum Betrieb des SDR-1000 an einem Laptop ist eine externe Soundkarte mit USB-Schnittstelle eine gute Wahl. Mehr Flexibilität und bequemer Zugang zu den Anschlüssen erleichtern gerade in

der Anfangsphase die Optimierung des Gesamtsystems. Eingebaute Karten haben hingegen den Vorteil besserer Schirmung/Verdrosselung.

Temperatur an der Grenze

Die thermische Belastung einzelner ICs des SDR-1000 ist grenzwertig ausgelegt – die zurzeit ausgelieferten Platinen haben bei den Spannungsreglern bessere Kühltechnik. DDS, Spannungsregler und PA-Schaltkreis werden hoch belastet. Es ist daher ratsam, für entsprechende Ventilation zu sorgen.

Bei allen Versuchen mit Arbeiten an den Platinen unter Spannung ist mit Umsicht vorzugehen. Sonst ist „Lehrgeld“ fällig: Die PIN-Belegung der Kontaktleiste auf der Filterplatine zum Anschluss von Peripherie, z.B. einer externen PA (PTT-Kontakt), ist nicht „narrsicher“ konstruiert.

12-V-Stift und 5-V-Anschluss liegen nebeneinander – eine versehentliche Überbrückung zerstört die Mischer und zum Teil die Gleichspannungsverstärker. Gleichzeitig wird die Soundkarte auf Toleranz von DC-Pegeln getestet: Die Gleichspannungsverstärker (Instrumentation Amplifier) „kippen“ nach einer Seite und geben vollen Pegel, d.h. 12 V an den Eingang der Karte. Die Gleichspannungskopplung ist übrigens sinnvoll, um auch nahe 0 Hz das Basisband zu übertragen.

Ableich per Software

Ableicharbeiten sind ausschließlich über die Software notwendig. Die Güte der Quadraturmodulation steht und fällt mit der absoluten Symmetrie der um 90° phasenverschobenen Kanäle. Unsymmetrien der Bauteile auf den Platinen des SDR-1000 und in der Soundkarte in beiden Signalkanälen werden erst nach der Digitalisierung ausgeglichen: Mit erstaunlicher Präzision lässt sich so auf der digitalen Ebene die Spiegelfrequenzunterdrückung optimieren. Der Autor konnte >80 dB erreichen (**Bild 3**).

Die Kalibrierung des S-Meters erfolgt ebenfalls über eine Softwareroutine. Es ist lediglich ein geeigneter Referenzpegel notwendig. Die Frequenzgenauigkeit der DDS wird auch mittels Software justiert. Ein eleganter Weg ist dabei die Abstimmung auf einen starken Rundfunksender mit bekannter Frequenz und hoher Genauigkeit (z.B. Deutsche Welle 6075 kHz): In der Betriebsart Doppelseitenband kann man sich so an der sicht- und hörbaren Schwebung sehr genau orientieren.

Die Anpassung des verwendeten Mikrofons in der Frequenzcharakteristik ist

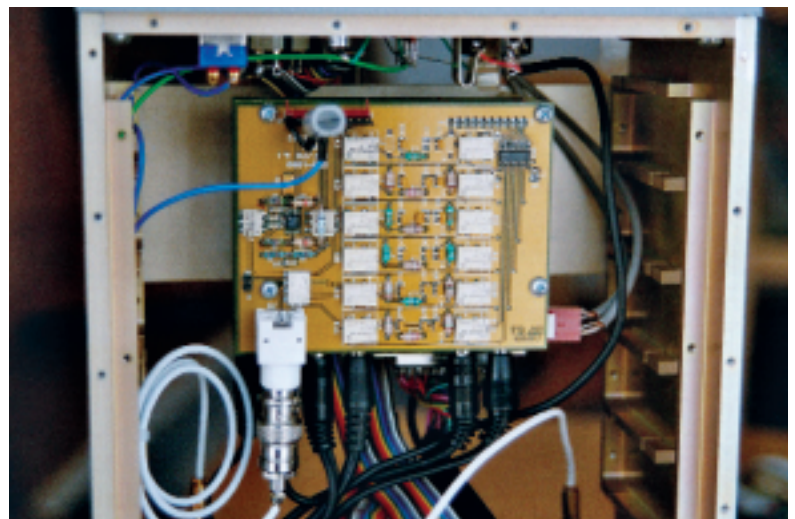


Bild 6: So hat der Autor den SDR-1000 in einem Gehäuse integriert

Weitere Hardware wie 40-W-PA und Vorverstärker werden mittlerweile auch von Flex-Radio angeboten.

durch den „eingebauten“ 8-Kanal-Equalizer möglich (**Bild 4**). Für Tests lässt sich auch die Sendebandbreite variieren.

Betriebserfahrungen

In der Praxis zeigt sich die außergewöhnliche Steifflankigkeit der Filter.

Die Abstimmung bzw. Bedienung über Mausrad, Tastatur und Mausklick ist derzeit typisch für ein Software Defined Radio. Wem dies nicht zusagt, hat grundsätzlich die falsche Wahl getroffen. Es gibt aber schon Hardware für die Verbesserung der Ergonomie, z.B. einen „richtigen“ Abstimmknopf.

Das Display ist ein wertvoller Nebeneffekt des Konzeptes SDR. In der Displayeinstellung „Spektrum“ lassen sich mit erstaunlicher Genauigkeit NF-Spektren und die Bandbelegung in den Grenzen des Basisbandes sichtbar machen. Digitale Störunterdrückung einschließlich -Austaster und automatisches Notchfilter sind schon funktionsfähig, jedoch noch in der Entwicklung.

Unterhalb 2 MHz finden sich viele Phantomsignale („birdies“) mit Stärken bis S9 – teilweise darüber. Der Grund dürfte zum einen in der Abstrahlung von Frequenzspektren seitens des PCs über die Steuerleitung liegen. Beim Autor haben Klappferite bisher nicht helfen können. Zum anderen kommen auch aus der DDS Spektren, die für diese Beeinträchtigungen verantwortlich sind.

Probleme bekannt

Mit angeschlossener Antenne vervielfacht sich dann das Problem, da diese Signale Mischprodukte mit den Spektren von der Antenne bilden können.

Als einer der Hauptverursacher lässt sich auf der Schnittstellenplatine (PIO) der 5-V-Schaltregler lokalisieren, denn beim Tausch gegen einen 7805 (höherer Kühlungsbedarf) sind die Störungen erheblich reduziert.

Ein völlig neues Layout der Platinen und/oder der Schaltung u.a. mit vollständiger Schirmung und Entkopplung der DDS, der Steuerungslogik und der Mischer/LPF bzw. BPF würde ebenfalls zur Entstörung beitragen. Dies ist jedoch bekannt und wird im Internet-Forum bereits diskutiert. Der Autor kann die Berichte von OMs bestätigen, dass mit abgestimmter Antenne (real 50 Ω) auf den Amateurbändern keine nennenswerte Beeinträchtigung vorliegt.

Die Regelung des Empfängers (**Bild 5**), insbesondere hinsichtlich der Zugriffs-

zeit (AGC attacktime) ist gut. Dies ist erstaunlich angesichts der Tatsache, dass die Regelspannung ausschließlich aus der „NF“, also dem Basisband gewonnen wird. In weiten Grenzen ist die Regelcharakteristik einstellbar. Der AGC-Algorithmus muss aber noch überarbeitet werden, da bei kleinen Signalpegeln die AGC plötzlich auslöst und den Rx abrupt um 20 dB herunterregelt.

An eine Eigenschaft muss man sich gewöhnen: Die Signalverarbeitung dauert von der Antenne bis zum Lautsprecher etwa 200 ms. Dies gilt auch für den Weg zurück. Soundkarten nutzen DirectX-Zugriffe unter Windows. Allein die Pufferung der Daten benötigt für einen Zyklus bei 44,1 kHz Abtastrate 185,6 ms.

Erste Messungen

Erste Messungen an zwei SDR-1000 konnten im HF-Labor von Hans Hilberling, DK7LG, unternommen werden. Als Soundkarte wurde eine Audigy 2 von Creative Labs an einem Laptop eingesetzt. Die ermittelten IP3-Werte und das Blocking-Verhalten beider SDR-1000 waren eher durchschnittlich. Dies gilt auch für die Empfindlichkeit auf den höheren KW-Bändern.

Ein Vorverstärker ist eine sinnvolle Erweiterung: Das Oszillatorsignal geht nur wenig bedämpft an die Antenne – dies beeinflusst andere Empfänger im Shack deutlich. Der Vorverstärker kann hier für Abhilfe sorgen.

Bild 6 zeigt den Aufbau beim Autor. Zu einer vorhandenen kommerziellen 100-W-Endstufe wurde die SDR-1000-Hardware hinzugefügt. Das Bandpassfilter zur Schaltung der PA geschieht noch manuell, da die Grenzen 100-W-PA/SDR-1000 nicht harmonisieren. Zur Überwachung des Festspannungsnetzteiles wurde ein Voltmeter vorgesehen (**Bild 7**).

Optimal dürfte die Integration des SDR-Platinensatzes mit der Soundkarte und einer PA mit 10 W in einem Gehäuse sein. Kurze Leitungen zur Soundkarte



Bild 7: SDR-1000 im Gehäuse

sind vorteilhaft. Als Verbindung zum PC blieben dann nur noch USB-Kabel und das Kabel zum Parallel-Port.

Fazit

Der SDR-1000 ist (noch) keine ersatzlose Alternative für den Alltagstranseiver, sondern eher ein großer, leistungsstarker Experimentierbaukasten. Die Arbeit am eigenen Transceiver – wenn gewünscht ohne einen Tropfen Lötzinn – eröffnet jedem Funkamateurliebhaber neue Chancen in unserem vielseitigen Hobby. Aber auch für Hardware-Enthusiasten bietet das Konzept in der vorliegenden Ausführung viele Möglichkeiten.

Dank an Hans Hilberling, DK7LG, der bei Inbetriebnahme, Schadensbehebung und zum Gesamtverständnis des SDR-1000 Hilfestellung gab.

DK7XL

Den Autor erreichen Sie unter: Klaus Lohmann, DK7XL, Godeke-Michels-Weg 12, 21762 Otterndorf

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Webseite zum SDR-1000-Projekt: www.flex-radio.com; Hilfen und Orientierung und weitere Artikel unter www.flex-radio.com/forum
- [2] Distributor: Wolfgang K. Meister, OE1MWW, meister@via.at. Lieferung der Platinen einschließlich CD mit Installationshinweisen
- [3] Martin Klaper, HB9ARK: „Zukunftstechnik fürs Shack“, CQ DL 10/03 S. 698
- [4] Gerrit Buhe, DL9GFA: „Grundlagen der Quadratur-Signalverarbeitung“, CQ DL, 12/03, S. 848
- [5] G. Youngblood: „A Software Defined Radio for the Masses (1)“, QEX 7/8-02, S. 21; (2) QEX 9/10-02, S. 16; (3) QEX 11/12-02, S. 30; (4) QEX 3/4-03, S. 20
- [6] Software-Download, Bezug und erste Orientierungen unter: www.flex-radio.com