

Software Defined Radio SDR-1000

Digitale Zukunftstechnik für's Shack?

Klaus Lohmann, DK7XL/WD5DQE

Im Juli 2004 wurden erste Erfahrungen mit dem Software Defined Radio SDR-1000 beschrieben. Seit dem hat sich bei der Software, aber auch bei der Hardware eine Menge getan, so dass eine erneute Zwischenbilanz angezeigt ist.

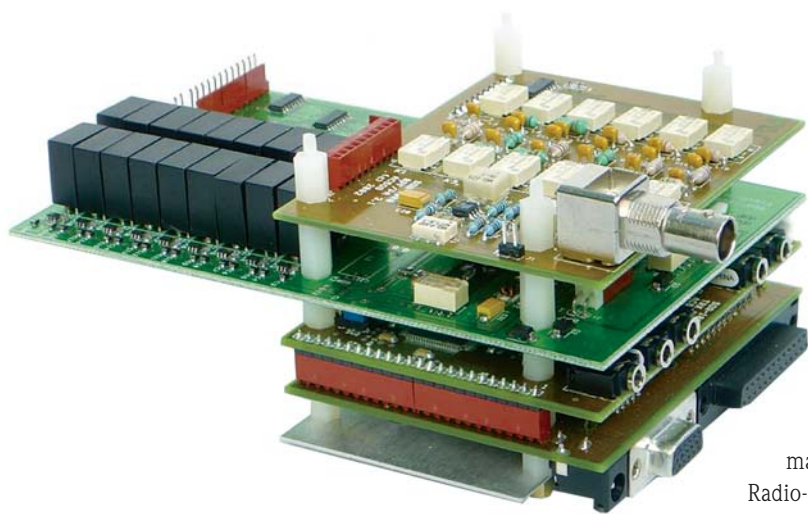
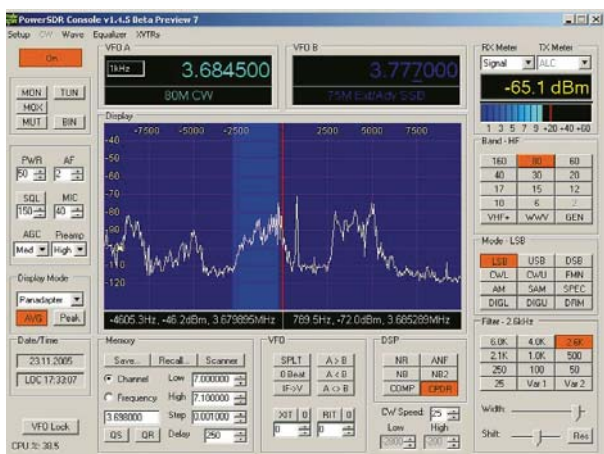


Bild 1:
Aktuelle
Bedienoberfläche
des SDR-1000

Zunächst: Im Laufe der Monate hat sich beim Verfasser und bei einer zunehmenden Anzahl der Nutzer die Bezeichnung „Software-Transceiver“ eingebürgert. So ist mit eingeführten Begriffen gut beschrieben, worum es geht. Zentrale Idee des Software-Transceivers ist, dass ihm seine wesentlichen Eigenschaften prinzipiell durch von jedem Nutzer veränderbare Software verliehen werden. Das ist der konzeptionelle Unterschied zu Transceivern mit PC-In-



terface oder einer implementierten DSP. Obwohl die Hardware und weitere Peripherie kommerziell im Vertrieb ist, hat FlexRadio das Konzept offener Systemarchitektur und Verfügbarkeit des Quellcodes noch erweitert: Jedermann, ob Käufer der FlexRadio-Hardware oder nicht, kann die Software nutzen und verändern (GPL-Lizenz).

Was hat sich getan?

Anfangs waren die ersten Programme mit VisualBasic realisiert (siehe CQ DL 6/04). Zum Jahresende 2004 kam ein Durchbruch hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Konzeptes. Die Umstellung der Software auf die Programmiersprache C# (gesprochen C-sharp) innerhalb der Softwareumgebung .NET von Microsoft war arbeitsintensiv, aber lohnend.

Die völlige Neukonzipierung des Kerns der Software, der DSP, ermöglichte einige Leistungssprünge. Das „Gesicht“ des Software-Transceivers hat sich deutlich gewandelt (**Bild 1**), wenngleich die Oberfläche in der ästhetischen Qualität eher Puristen ansprechen dürfte. Aber an Alternativen, die dem Auge etwas bieten sollen, wird gearbeitet, wie der Entwurf eines OM aus Italien zeigt (**Bild 2**). Wer sich einmal an die Vorzüge eines echten Panoramaadapters im Empfangsbetrieb gewöhnt hat, wird diese „analoge Orientierung“

innerhalb eines Bandabschnittes nicht mehr missen wollen.

Bevor ein Blick auf die Software und seine künftige Entwicklung erfolgt, ist von weiteren, wesentlichen Erfahrungen und Neuerungen bei der Hardware zu berichten. Die Schwächen des ersten Entwurfs des SDR-1000 sind beschrieben worden. FlexRadio hat dies durch die mittlerweile obligate Erweiterung der Grundplatten um eine zusätzliche Platine (Radio Frequency Extension Board RFE) behoben. Das Board weist zusätzlich einen Impulsgenerator auf, der später durch die Software zu Testzwecken eingebunden werden kann.

Das aktuelle Blockschaltbild ist in **Bild 3** dargestellt. Die ursprüngliche 1-W-PA-Stufe hat man durch einen Nachfolger mit höherer Verstärkung auf der Zusatzplatine ersetzt. Vor der Endstufe sind nun steilflankige Tiefpassfilter geschaltet. Hinter der verbesserten PA werden die ursprünglich einzigen passiven Selektionsmittel, vier Bandpassfilter bzw. das Tiefpassfilter nachgeschaltet. Der Empfänger erhielt einen rauscharmen Vorverstärker, der in erster Linie dafür Sorge trägt, dass der Quadratur Sampling Detector (QSD) unter allen Betriebsbedingungen weitgehend mit reell 50 Ω abgeschlossen ist. Dies hat die Nebenempfangsstellen drastisch reduziert und das Großsignalverhalten deutlich verbessert. Dazu tragen auch die steilflankigen Tiefpassfilter des RFE-Boards bei, da der Quadraturdemodulator (QSD) zur „Mischung“ mit der 3. Harmonischen der Oszillatorfrequenz (aus der DDS) neigt.

Die Abstrahlung der Oszillatorfrequenz in evtl. Zweitempfänger ist nun ebenfalls weitgehend unterbunden. Für OMs, die den Selbst- oder Umbau von 100-W-PAs scheuen, wird eine passende Endstufe angeboten. Ein automatischer Antennentuner zur Korrektur der Anpassung auf Koaxial-Speiseleitungen ist ebenfalls erhältlich. Der Betrieb des SDR-1000 am Laptop wird immer be-

lieber, hier fehlt aber meist ein Parallelport, sodass mit einem speziellen Adapter, am SDR-1000 aufgesteckt, der Anschluss über USB-Kabel möglich wird.

Charakteristik der Hardware SDR-1000

Die Vorteile des Konzeptes des SDR mit Tayloe- bzw. Sampling Detektor seien nochmals kurz in Erinnerung gerufen:

1. Es fehlt ein Mischer im traditionellen Sinn mit nichtlinearer Kennlinie und Mischverlusten. Der Quadratur Sampling Detektor (QSD) arbeitet hingegen bei ca. 1 dB Dämpfung annähernd verlustfrei.

2. Die dem QSD folgenden hochwertigen NF-Verstärker (Instrumentation Amplifier – INA) bestimmen mit den Abschluss- bzw. Eingangswiderständen von QSD und INA sowie den Sampling-Kondensatoren die Bandbreite der Verarbeitung des NF-Bandes (Baseband) in der nachfolgenden Soundkarte. Gegenwärtig sind dies ca. 90 kHz. Mit Veränderungen der Kondensatoren und der Anpassung kann man die Bandbreite erhöhen und verringern – bei gegenläufigen Auswirkungen auf das Dynamikverhalten des Rx. Jede weitere Selektion erfolgt dann auf digitaler Ebene durch die DSP.

3. Das Schaltungskonzept der DDS braucht in diesem Konzept nicht den Anforderungen genügen, wie sie für ein DDS-Oszillatorsignal in einem traditionellen Mischer zu fordern wären. Die DDS ist – physikalisch vom HF-Signal getrennt – lediglich als „Taktgeber“ für den QSD tätig. Sie sorgt für den Vorgang des Abtastens (sampling) des An-



Bild 2: Beispiel für eine frei gestaltete „Frontplatte“ (Entwurf: IK3VIG)

tennensignals – und zwar viermal pro HF-Schwingung (alle 90° oder in jedem Quadranten – deshalb Quadratur-Modulation). Folgerichtig wird das DDS-Signal auch zweifach (sin/cos-Signal) als Rechtecksignal dem schnellen Schalter (QSD) zugeführt. Spektrale Unreinheiten entstehen aber noch durch Phasen- und Amplituden-Modulationsanteile auf dem DDS-Signal. Das Konzept erlaubt es, dass man die DDS ohne nach geschalteter PLL ausführen kann. Das DDS-Signal wird nur deshalb über ein Tiefpassfilter mit der Grenzfrequenz 70 MHz eingespeist, weil auf der 3. Harmonischen im QSD besonders leicht eine (unerwünschte) Mischung erfolgt.

Neue Wege der Entwicklung

Zur offenen Systemarchitektur gehört auch, dass die Weiterentwicklung der Software – aber auch der Hardware – durch die unmittelbare Beteiligung der Kunden bzw. Nutzer erfolgt. Im unmittelbaren Kontakt mit der Firmenleitung von FlexRadio kann man über Telefonkonferenzen im Internet Probleme und Entwicklungslinien diskutieren. Bestimmte Entscheidungen zur Oberfläche u.a. werden durch Abstimmun-

gen im Internet auf ihre Akzeptanz geprüft.

Die Lizenzierung der Software unter dem Regime „GPL“ gestattet den Nutzern die Veränderung der Software. So ist in Zukunft wohl mit verschiedenen Entwicklungslinien zu rechnen, die erhebliche Abweichungen in den Leistungscharakteristika der Entwürfe zur Folge haben – aber das ist das Einzigartige, Innovative und das Spannende eines Software-Transceivers.

Überhaupt spielt die Diskussion, der Erfahrungsaustausch über das Internet eine tragende Rolle und ist unverzichtbar bei der Optimierung des eigenen Aufbaus. Obwohl kein Anlass besteht, haben eine Reihe von Funkamateure in DL Scheu, sich mit lückenhaften Sprachkenntnissen schriftlich zu beteiligen. FlexRadio hat deshalb ein paralleles deutschsprachiges Forum geschaffen, das gerade dem Einsteiger die Erörterung seiner Fragen und Probleme ermöglichen soll.

Software-Trx mit integrierten Testmitteln

Man kann es nicht deutlich genug sagen: Die Software bestimmt in sehr weiten Grenzen die Eigenschaften und

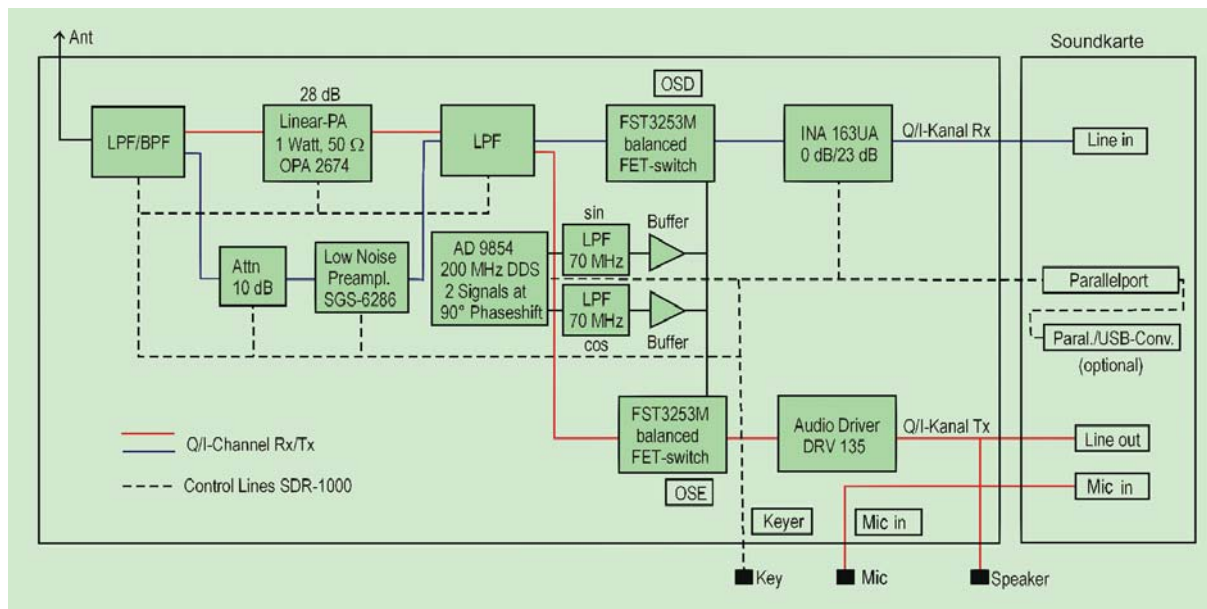


Bild 3: aktuelles Blockschaltbild des SDR-1000

den Leistungsumfang des Transceivers. Beispiel hierfür ist der „eingebaute“ Zweitton-Generator: Mit seiner Hilfe lassen sich Korrekturen über alle Stufen der Signalverarbeitung im Sender vornehmen. Die Töne sind natürlich frei wählbar.

Zur Fehlersuche dient auch die Überprüfung der Pegelsymmetrie der beiden I/Q-Kanäle (Balance-Test). Die Korrektur in Phase und Betrag der I/Q-Kanäle im Rx ist zwischenzeitlich so verbessert, dass die Unterdrückung der Spiegelfrequenzen auf der Arbeitsfrequenz mühelos mit besser 85 dB gelingt. Ein ähnlicher Abgleich wurde auf der Tx-Seite „eingebaut“ (programmiert). Nun können die Intermodulationsprodukte auf der Tx-Seite sichtbar abgesenkt werden. Der Eingangs erwähnte Impulsgenerator dient künftig ebenfalls Test- und Abstimmungsaufgaben.

Die Soundkarte – weiterhin zentrales Thema

Ein besonderes Augenmerk gilt weiterhin der Wahl der Soundkarte. Das NF-Spektrum, das die SDR-1000-Hardware liefert, wird erst durch die Soundkarte digitalisiert und mit der Software verarbeitet. In der alltäglichen Anwendung am PC, im Consumerbereich, zeichnet sich die Tendenz ab, dass die im Rechner integrierten Soundchips in ihrer Leistung immer besser werden, sodass für den Consumerbereich die Notwendigkeit externer oder zusätzlicher PCI-Soundkarten zunehmend schwindet. Gleichzeitig aber gibt es seit geraumer Zeit aus der Musikszene (Studioapplikationen, Bühnenmusik) hochwertige Soundkarten. Die mit diesen Karten er-

zielbaren Eigenschaften des SDR-1000 können sich sehen lassen. Hier sind die M-Audio Delta 44 zu nennen oder die Audiophile 192 – beides PCI-Karten. Hinweise auf Testberichte und Messwerte sind in den Literaturangaben zu finden.

Eine völlig andere Situation ergibt sich, wenn die Soundkarte nicht im PC, sondern als Soundsystem extern betrieben wird. Diese Interfaces können über USB-Kabel oder über die Firewire-Schnittstelle angebunden werden. Ein derartiges professionelles Soundsystem bietet PreSonus als FIREBOX an. Der Dynamikbereich dieser Einheit liegt deutlich über 110 dB bezogen auf die gesamte Bandbreite – umgerechnet auf SSB-Bandbreiten sind dann mehr als 125 dB Dynamikumfang für den SDR-1000 nutzbar.

Auf eine zusätzliche Entwicklung soll nur kurz hingewiesen werden: Für die Einbindung von weiteren Programmen für digitale Betriebsarten (wie MixW32) oder DRM-Empfang ist der Betrieb einer zweiten Soundkarte möglich. Die Software unterstützt diese Konfiguration. Eleganter funktioniert es mittlerweile mit sogenannten virtuellen Soundkabeln bzw. -systemen (virtual audio cable), die im PC die Audio-Datenströme Programmen bzw. dem Soundsystem zuordnen.

Dass hochwertige USB-Soundsysteme bzw. Firewire-Soundinterfaces neben den PCI-Audiokarten für den SDR-1000 so interessant sind, liegt an der Möglichkeit eines besonders attraktiven Aufbaus des Software-Transceivers gerade in Verbindung mit einem Laptop. Der SDR-Baustein kann, wie

schon erwähnt, mittlerweile auch über einen USB-Anschluss kommunizieren. Die SDR-Hardware und die USB-Soundkarten lassen sich damit über einen USB-Minihub im SDR-Gehäuse verbinden. Einziges Kabel zum PC bzw. Laptop wäre nur noch ein USB-Datenkabel mit (fast) beliebiger Länge, angesichts des heutigen „Strippensalats“ aus Audiokabeln und Datenkabel gerade bei mobilen Anwendungen eine sehr verlockende Lösung.

Mit Spannung darf man erwarten, wie hinsichtlich der Soundkarten die Entwicklung weitergehen wird. Eine Gruppe von Funkamateuren verfolgt den Gedanken, mit Hilfe spezieller A/D-Wandler (Wolfson 24 Bit/192 kHz-Stereo-A/D-Wandler kombiniert mit 16 Bit D/A-Wandler und USB-Interface) eine auf den Software-Transceiver zugeschnittene Lösung zu finden.

Der Software-Trx im Alltag

Mit der neuen Software hat der Betrieb des SDR-1000 in mancher Hinsicht neue Dimensionen erhalten: Das ständig in Echtzeit verfügbare Panorama-Bild der Frequenzen links und rechts mit (noch) 10 kHz Bandbreite steht in allen Betriebsarten zur Verfügung. Die Erweiterung durch Nutzung höherer Abtastraten steht unmittelbar vor der Tür. Eine Weiterentwicklung der Software unter Nutzung von SharpDSP durch Phil, N8VB, erlaubt schon gegenwärtig eine Bandbreite mit der zweifachen Abtastrate, also 96 kHz Abtastrate bei 96 kHz Bandbreite.

Die Auflösung nach Frequenz und Amplitude, die Linearität der Anzeige und die Kalibrierung genügt auch Ansprüchen, die an Messgeräte zu stellen sind. Der QSO-Betrieb mit dieser Unterstützung eröffnet ständige Einblicke in die Bandbelegung (**Bild 4**) und über das Signal der Gesprächspartner. Seitenband- bzw. Trägerunterdrückung und die Intermodulationsprodukte anderer Stationen sind gut sichtbar und erlauben verlässliche Aussagen und Hilfestellungen.

Das ARRL-Labor hat im April 2005 einen SDR-1000 begutachtet und wesentliche Messwerte veröffentlicht. Bei allen Aussagen zur Qualität des SDR-1000 ist zu berücksichtigen, dass die Soundkarte, ihre korrekte Anpassung an die SDR-1000-Hardware sowie angemessene Aussteuerungsverhältnisse in der Signalkette außer dem SDR-1000 selbst entscheidenden Einfluss haben.

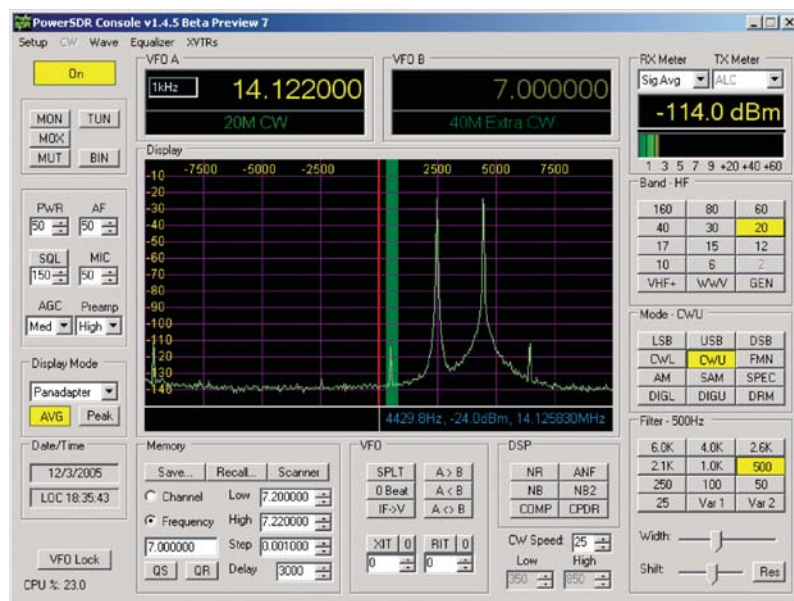


Bild 4:
Messmöglichkeiten durch kalibrierte Feldstärkenanzeige. Dargestellt ist eine IMD-Messung bei 2 kHz (!) Abstand.

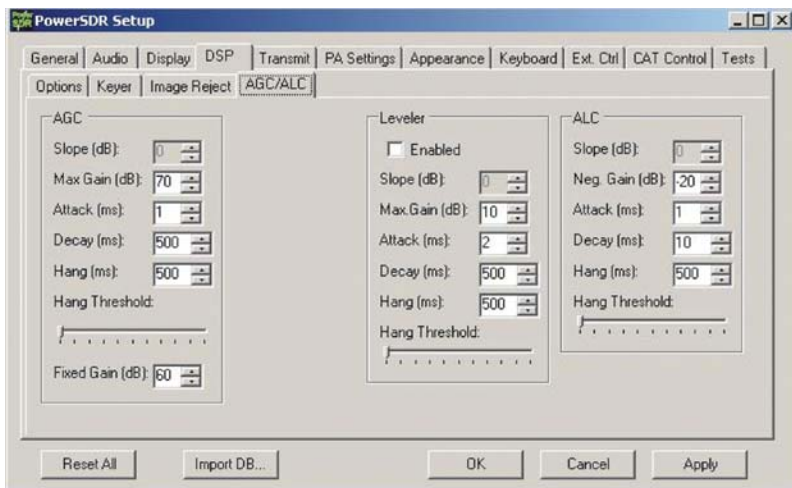


Bild 5:
Einstellmöglichkeiten
zur AGC/ALC in der
Entwicklung

Ausreichende Rechnerleistung und das richtige „Tuning“ der Software (Betriebssoftware PowerSDR sowie ggf. ASIO-Treiber und Betriebssystem) sind z.B. entscheidend für den betriebstechnisch wichtigen Aspekt der Latenzzeit. Kommt die Delta-44-Soundkarte oder das PreSonus-System zum Einsatz, die über eigene ASIO-Treiber verfügen, sind die Latenzzeiten im QSO-Betrieb mittlerweile ohne Bedeutung.

Aber auch das Großsignalverhalten des Empfängers wird durch die richtige Wahl der Einstellungen z.B. der Verstärkung der NF-Verstärker (INA) und der Verstärkungseinstellung der Soundkarte entscheidend beeinflusst. Die Betriebsart CW erforderte durch den in die Software implementierten Keyer viel Programmierarbeit. Sowohl mit diesem „eingebauten“ Keyer als auch mit externen Tasten ist der SDR-1000 heute voll gebrauchstüchtig.

Digitale Betriebsarten mit dem SDR-1000 auf einem PC sind jetzt problemlos möglich. Die Verbindung der Software (HRD, MixW32, DigTRX usw.) erfolgt über virtuelle Schnittstellen, die als COM-Ports oder ggf. virtuelle Soundkabel definiert sind. Ebenso funktioniert der DRM-Empfang: Die zweite Soundkarte – ob real oder virtuell – mit dem das DRM-Programm arbeitet, erlaubt den uneingeschränkten Empfang der DRM-Sender in HiFi-Qualität.

Bedienbarkeit

Ergonomie ist sicher nicht die Stärke eines Software-Transceivers. Die nahezu ausschließlich Bedienung mit Maus und Tastatur lässt auch bei Puristen mitunter den Ruf nach einem leicht zu bedienenden Drehknopf für den VFO aufkommen. Das Mausrad und sein Partner, der Zeigefinger, sind allzu dürftige Hilfsmittel im Vergleich mit dem

schweren Abstimmknopf am „normalen“ Transceiver. Auch hier ist seit geraumer Zeit für Abhilfe gesorgt. Über ein USB-Kabel kann auf Wunsch ein gediegen wirkender Drehknopf (Griffin PowerMate) aus der HiFi-Branche ein vollkommenes Abstimmgefühl vermitteln.

Wie geht es weiter?


Der SDR-1000 kommt jetzt in eine Entwicklungsphase, die ihn befähigt, die grundsätzlichen Vorteile oder Unterschiede zu analogen, besser gesagt zu „Hardware“-Transceivern zur Geltung zu bringen. Die Schularbeiten sind gemacht und nun geht es um die kreative Nutzung der Potenziale der Technologie und des Konzeptes.

Beobachtet man die Nutzer des SDR-1000 in den USA, drängt sich der Eindruck auf, dass der SDR-1000 vorwiegend als Nachsetzer für „exotische Betriebsarten“ genutzt wird. Dabei geht es um den Empfang schwächster Signale im Zusammenhang mit EME oder Rain-Scatter. Die Bedürfnisse der SDR-1000-Nutzer in unserem Raum sind da eher bodenständig: Prüfstein für den Erfolg des Konzeptes ist hier die Alltags-tauglichkeit des Konzeptes, d.h., die Eigenschaften für den QSO-Betrieb.

Künftig werden den Nutzern des SDR-1000 auch unterschiedliche Leistungsspektren per Software zur Auswahl gestellt. So kann man zu Gunsten der Entlastung des Rechneraufwandes (gerade bei Laptops ein Thema) auf die extrem steilflankigen Filter verzichten. Der SDR lässt sich schon jetzt durch CAT-Programme (z.B. HRD) bedienen. Der enge Verbund der SDR-Software mit anderen Programmen (z.B. MixW32, DigTRX etc.) über virtuelle COM-Ports und virtuelle Soundkabel bzw. -karten ist wie erwähnt realisiert. Die Einbin-

dung der SDR-Software und damit des Transceivers in das LAN/WLAN im Haushalt des Funkamateurs ist auch nicht mehr fern. Dabei ist es völlig unerheblich, ob dies bei jedem Anwender von praktischem Nährwert ist oder nicht.

Es wird immer wieder nach der Beschreibung der Wesensmerkmale des SDR gefragt. Ein Versuch der Erklärung lautet, dass die Hardware bei diesem Konzept wie ein Klumpen Ton ist, der erst durch die Hand des Töpfers (das ist die Software) seine Bestimmung bekommt: Vase, Gebrauchsgeschirr, Kunstwerk bzw. Transceiver oder spezieller Empfänger etc. Eine weitere Überlegung: Es gibt keine „gebrauchten“ oder „veralteten“ SDR-1000 – mit jedem neuen Download der Software ist er „up to date“.

Ist nun der SDR-1000 ein Gerät für Jedermann? Im Prinzip Ja. Voraussetzung ist die Bereitschaft, dazu lernen zu wollen. PC-Kenntnisse sollten vorhanden sein. Dennoch, nicht jeder Funkamateur wird mögen, was mit dem Konzept verbunden ist: Nämlich der Status einer fortwährenden Baustelle, eines nie endenden (Software)Projektes in der Beta-Phase. Dieses Attribut wird das Gerät (hoffentlich) nicht so bald verlassen, denn gerade das ist so reizvoll: Der Verfasser fühlte sich vor zwei Jahren in die Zeit zurückversetzt, als bei ihm im Alter von 13 Jahren der Cosmos-„Radiomann“ auf dem Gabentisch lag. Heute, nach mehr als 24 Monaten intensiver Beschäftigung mit der Technologie und der Konzeption Software Defined Radio und fast täglichem Gebrauch des Transceivers ist nichts von der (wieder gewonnenen) Faszination des technisch-experimentellen Amateurfunkdienstes, die mit diesem Projekt verbunden ist, verblasst. Derartige Erfahrungen und Freuden seien an dieser Stelle vielen Nutzern gewünscht. 

Literatur und Bezugsquellen

- [1] Klaus Lohmann, DK7XL: „Erste Erfahrungen mit dem SDR-1000“ CQ DL 07/04, S. 494
- [2] Aktueller Überblick zu Software Defined Radio und SDR-1000 unter: www.dj9cs.raisdorf.net
- [3] Alternative Hardware für den SDR-1000 ist zu finden unter: www.cqdx.it/sdr1000box.html
- [4] Testbericht vom SDR-1000 der ARRL sowie Infos, Artikel und Messwerte einschließlich Software zum kostenlosen Download unter: www.flex-radio.com
- [5] Informationen zum Programm Virtual Audio Cable unter: www.ntonyx.com/vac.htm
- [6] Eine interessante Entwicklungslinie zum SDR wird gut dokumentiert bei Phil Covington unter: www.philcovington.com