

Frisch ausgepackt: der softwaredefinierte Empfänger SDR-IQ

CLEMENS SEIDENBERG

Bereits vor drei Jahren bot der FA einen ersten Blick auf den SDR-IQ. Komplettiert mit adrettem Gehäuse und aktueller Software, geht er jetzt an den hiesigen offiziellen Verkaufsstart. Grund genug für ein Wiedersehen.

Wo mancherorts die mangelnde Akzeptanz der softwaredefinierten Radios (SDR) beklagt wird, erblickt bereits die Folgegeneration der ersten Geräte die Radiowellenwelt. Für den ersten Bericht im FA [1] stand noch die rohe Empfängerplatine zur Verfügung – mehr gedacht für einen Testaufbau, um die Funktionsweise und Leistungsdaten eines SDR-Empfänger experimentierend zu erkunden. Mit dem jetzt erhältlichen SDR-IQ-Sorglospaket ist man sofort startklar für den alltäglichen Einsatz.



■ Worum geht es?

Nicht die geballte Ansammlung diskreter Bauteile mit ihren starren Verbindungen einer – zu Recht als Hardware bezeichneten – elektrischen Schaltung, sondern die Übernahme ihrer Funktionen durch flexible entwicklungsfähige Software mit einem Minimum an Hardware ist das luftige Ideal des softwaredefinierten Radios und seiner Entwickler. Voraussetzung für die Ausbreitung des SDR-Konzepts ist die weitere logarithmische Zunahme der Leistungsfähigkeit (Moore'sches Gesetz) elektronischer Chips bei fallendem Preis pro Leistungseinheit. Limitiert wird die Entwicklung nur durch den Energieverbrauch respektive die Verlustleistung. Einerseits gilt dies für die Vermittler an der Schnittstelle zwischen der widrigen analogen Außenwelt und ihrer internen verrechenbaren diskreten Zahlenrepräsentation. Die Qualität der Analog-

Digital-Umsetzer (ADU, engl. ADC) wird durch ihre Abtastfrequenz und Auflösung bestimmt. Beide sind entscheidend für die Fähigkeit, die hochdynamischen Signale der richtigen Welt linear abzubilden. Andererseits gilt das oben Gesagte für die schiere Rechenkraft, der in universell einsetzbaren Geräten zur algorithmischen digitalen Datenverarbeitung werkenden Prozessoren. Diese persönlichen Computer (PC) übernehmen auch die Wiederbereitstellung analoger Signale im optischen (Monitor) und akustischen Frequenz-

Bild 1:
Ein Radiowellen-Sinnesorgan – SDR-IQ

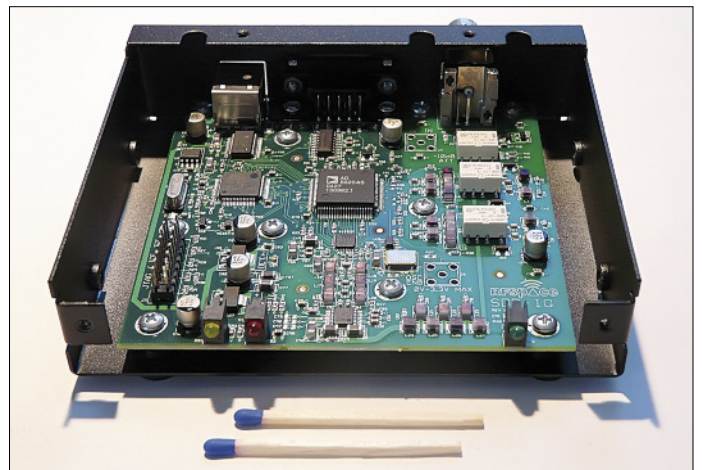


Bild 2:
Digitales Innenleben

spektrum (Kopfhörer), über die alleine die menschlichen Nutzer aufgrund eines evolutionär bedingten Mangels an breitbandigen digitalen Schnittstellen kommunizieren können. Ein Update ist hier bei langen nutzerseitigen Entwicklungszyklen zeitnah nicht in Sicht. Auf die Ikone des analogen Funkwellendaseins, das mit vielen Uhren und Bedienelementen beeindruckende, autark lebende Radiogerät (sendefähiger Transceiver genannt), folgt das SDR als PC-Sensor (bzw. -Aktor) für die Signalverarbeitung im Radiofrequenzabschnitt des elektromagnetischen Spektrums [2], [3].

■ Das Radiowellenorgan

Durch seine Kompaktheit und die allein ausreichende USB-Verbindung (2.0) zum PC, die neben der Daten- und Steuerbe-

Technische Daten nach [11]

Empfangsbereich: 500 Hz bis 30 MHz in 1-Hz-Schritten
Eingangsspegel bei max. Verstärkung: < -4 dBm
max. darstellbarer Frequenzbereich: 190 kHz
Abtastrate: 66,666 MHz
I/Q-Seitenbandunterdrückung: ≥ 80 dB (typ.)
minimal detektierbares Signal (500 Hz): -127 dBm @ 14 MHz (MDS)
Eingangs-IP3 des ADU (Dither ein): >15 dBm
Versorgungsspannung: 5 V (über USB)
Leistungsaufnahme: 425 mA
Abmessungen: 95 mm × 95 mm × 32 mm
Betriebsarten: abhängig von der PC-Software
max. FFT-Größe: 262 144 oder mehr (softwareabhängig)
dargestellter Rauschpegel: 133 dBm/Hz @ 14 200 MHz
Pfeifstellen (Birdies): -80 dBfs, -100 dBfs (typ.)
Vertrieb: WiMo GmbH, 76863 Herxheim, Tel. (0 72 76) 9 66 80, www.wimo.com ,
Preis: 566,50 €

fehl-Übertragung auch die Energieversorgung übernimmt, wird der Sensor-Charakter des SDR-IQ besonders augenfällig. Praktisch für den ambulanten Einsatz – entsprechende Rechenkraft des Notebook vorausgesetzt. Geht doch direkt nach dem Antenneneingang und einigen folgenden analogen Filtern – besonders dem begrenzenden Tiefpass – ein Umsetzer mit einer

Abtastfrequenz von 66,666 MHz auf das gesamte Spektrum von 500 Hz bis 30 MHz los. Bei 14 Stufen Auflösung entsteht eine gewaltige Datenmenge (siehe Kasten). Die fossile ZF-Stufe wurde nämlich – bei Verfügbarkeit ausreichend schneller und preiswerter Wandler (etwa 11 € für den hier verwendeten AD9245) – komplett in die digitale Domäne verlegt; sie ist dort billiger und leichter zu realisieren, zudem genauer und flexibler als ihr analoges Pendant. Eine drastische Reduktion der Informationsmenge ist zur Überbrückung der Lücke zwischen schnellem ADU und der folgenden Endverarbeitung in den Silizium- und DNS-basierten Allzweck-Rechnerarchitekturen erforderlich. Ein Regalbrett tiefer findet sich ein passender Chip, der bereit ist, die Datenflut

entgegenzunehmen und daraus einen gewünschten Ausschnitt zu extrahieren. Dieser digitale Empfänger-Baustein erfüllt drei zusammenhängende Aufgaben: das Heruntermischen des Signalspektrums von der ausgewählten Trägerfrequenz ins Basisband, die Herabsetzung der erforderlichen Abstraten (Dezimation) und das Ausfiltern der ungewünschten Signal- und Rauschteile aus dem breiten angelieferten Ausgangsspektrum. Für diesen Dreifachprozess wird der Begriff *Digital Down Converter (DDC – digitaler Abwärtsmischer)* benutzt [4].

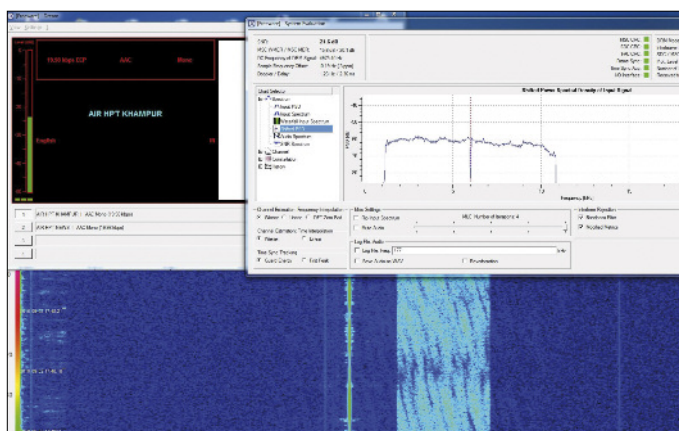
Römischen Soldaten drohte bei kollektiver Feigheit die Strafe der Dezimierung. Jeder zehnte verlor dabei sein Leben, wie der Chronist Titus Livius berichtet. Im Gegensatz dazu bringt das Weglassen überzähliger Daten-Samples mit begleitenden gezielten Filtermaßnahmen sogar einen willkommenen (Prozess-)Gewinn. Er entstammt der verbesserten Beziehung zwischen Nutzsignal und der durch die Dezimation stark beschränkten Rauschleistung und verbessert das Signal-Rausch-Verhältnis des ADU im Nachgang um bis zu 36 dB. Dessen nutzbare Dynamik – bei 14-Bit-Auflösung und rechnerischen 84 dB – liegt im wirklichen Gebrauch bei überschaubaren 76 dB und wird durch den Prozessgewinn erst realitätstauglich.

Nur dermaßen gestärkt und beschnitten können die Daten über die USB-Schnittstelle zur Verarbeitung in den PC geschickt werden. Nach der „komplexen“ Mischung in der Eingangsstufe des DDC durch einen numerisch gesteuerten Oszillator, der mit zwei um 90° verschobenen Kanälen der Mischfrequenz arbeitet, liegt das Signal in der I/Q-Repräsentation im komplexen Zahlenraum vor.

■ Programm-Alternativen: Praktisches und Exotisches

Das mitgelieferte PC-Programm *SpectraVue* (aktuelle Version 3.09) [5] wurde in [1] schon ausführlich vorgestellt. Da die bereitgestellten I/Q-Datenpakete aber die voll-

Bild 4: DRM-Empfang mit SpectraVue und DReaM



ständigen Informationen des gewählten Frequenzabschnitts enthalten und universell nutzbar sind, wurden mittlerweile Alternativen entwickelt:

Eine interessante Software-Neuentdeckung ist die *SDR-Radio-Console* [6]. Konsequenterweise wird deren Schnittstelle zum Nutzer von der klassischen „Radio-Ansicht“ durch die Integration eher computertypischer Werkzeuge und einer ansprechenden ergonomischen Optik fortentwickelt. Der Clou ist aber die nahtlose Integration eines Multi-Decoders für eine Vielzahl von digitalen Betriebsarten. Das reicht vom klassischen, ungeschlagen schmalbandigen, CW über alle PSK- und QPSK-Spielarten bis zu innovativen Multiton-Modi (MFSK) wie OLIVIA 1000/32 [7]. Letztere erlauben auch bei bescheidenem SNR noch eine Kommunikation. Der eingebaute Decodierer nimmt dabei nicht die NF eines vorgeschalteten Demodulators über komplizierte Umwege einer virtuellen oder wirklichen zweiten Soundkarte entgegen, sondern greift direkt auf die vom SDR-IQ angelieferten I/Q-Datenpakete zu. Er verfügt über ein eigenes Wasserfallprogramm zur Signalauswahl.

Die Auswertung gesendeter *Reed-Solomon-IDs* soll künftig eine automatisierte Erkennung der Betriebsart ermöglichen. Die Ergebnisse sind schon jetzt meist überzeugender als die von nachgeschalteten Decodierprogrammen. Die Integration in das

Hauptprogramm schon zudem die PC-Leistungsreserven. Der integrierte Decoder ist ab der aktuellen Beta-Version (1.1) der SDR-Radio-Console, die auf einem Microsoft Windows 7 64 Bit-System problemlos lief, verfügbar und im kostenlosen Download erhältlich. Wie bei *SpectraVue* ist über die serielle Schnittstelle die Frequenzsynchronisierung mit einem Transceiver und der Einsatz als Panoramaaufsatz möglich.

Die Feature-Liste vervollständigt ein Client-Server Modul, mit dem der SDR-IQ abgesetzt über das Internet etwa bei QRM-amer Verwandtschaft auf dem Land betrieben werden kann.

Für die Anhänger von Betriebssystemen, die nicht vom reichsten Menschen der Welt stammen, stellt das unter Linux lauffähige LINRAD [8] eine politisch korrekte Alternative dar. Wer sich durch die Installation der aktuellen FDTI-Kernel-Module und eine flache Lernkurve bei der exotischen Bedienung gekämpft hat, dem steht ein – bis in alle Einzelheiten (separate Parametereinstellung der DDC-Filter) – konfigurierbares und für anspruchsvollste Aufgaben der Signalauswertung prädestiniertes Analysewerkzeug zur Verfügung. Zum Beispiel nach entsprechender Frequenzumsetzung im Satellitenverkehr, wobei die große Bandbreite die Signalverfolgung ohne laufende Doppler-Korrektur ermöglicht.

Noch ein Thema: DRM. Gefühlte 30 Jahre nach der Einführung dieses digitalen Rundfunkstandards – mit nicht weniger angetreten als dem Anspruch, die Welt der amplitudenmodulierten Sendungen zu revolutionieren – lässt der Durchbruch weiter auf sich warten. Trotzdem – wer es nicht lassen kann: Das SDR-IQ ist im SpectraVue-Modus WUSB zum DRM-Empfang geeignet. Zusätzliche Software ist erforderlich, die als virtuelles Kabel [9] das breitbandige DRM-Signal an den Open-Source-DReaM-Decoder [10] weiterreicht. Die richtigen Mischereinstellungen und genügend Rechenleistung vorausgesetzt, erklingt so auch Radio India in digitaler Qualität.

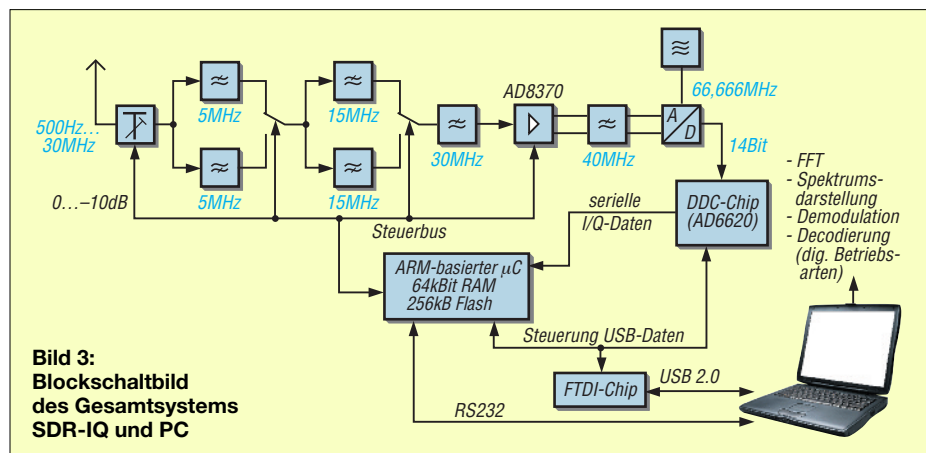


Bild 3: Blockschaubild des Gesamtsystems SDR-IQ und PC

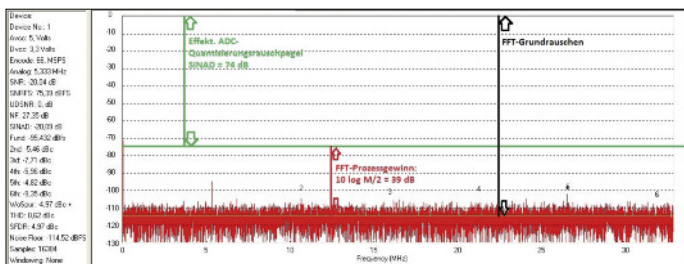


Bild 5: Doppelter Gewinn; ADU-Simulationsprogramm mit Modellierung des AD9245 und Darstellung des FFT-Prozessgewinns

den aktuellen Publikumsstandard der Software-Radios. Die Übermittlung von I/Q-Datenpaketen an der (USB-)Schnittstelle zum Rechner hat sich als verbreiteter Formatstandard herausgebildet, auf den eine wachsende Zahl von Programmen direkt zugreift. Ne-

Fazit

Vor einigen Jahren vom Hersteller RFSpace [11] nur als nackte Platine im Sinne eines *Evaluation Boards* angeboten, ist das SDR-IQ erfreulicherweise als Fertiggerät zu beziehen. Putzig klein, leicht, ohne großen Energiehunger und mit nur einem Verbindungskabel zum PC zufrieden, aber mit der Fähigkeit, das gesamte Radiowellenspektrum von VLF bis 30 MHz direkt abzutasten und einen kompletten Bandbereich darzustellen, steht es beispielhaft für

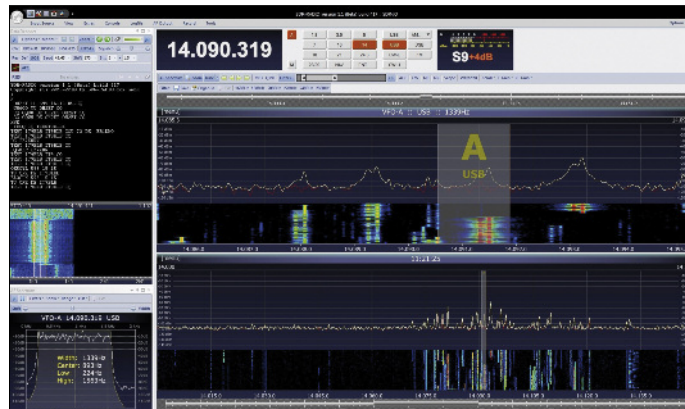


Bild 6: Praktisch, SDR-Radio-Console mit integriertem Multidecoder
Fotos und Screenshots: Seidenberg

Informationsfluss

Der Informationsinhalt allein des HF-Anteils des elektromagnetischen Spektrums ist be-(un-)ruhigend hoch. Aus Sicht des SDR-IQ ergeben sich bei 14 Bit Auflösung und einer Abtastfrequenz von 66,666 MS/s:

$$66,666 \cdot 10^6 \cdot 2^{14} \text{ Bit/s} \approx 0,99 \text{ TBit/s}$$

(mit 1 TBit = 2⁴⁰ Bit). In einer Selektion der gewünschten Information und der Limitierung ihrer Menge in Bezug auf die Leistungsfähigkeit des Zielsystems (Ham, SWL) besteht u. a. die Vermittlungsleistung eines Empfängers als Radiowellensensor.

Um in einem ersten – qualitätsbestimmenden – Schritt der anstrebenden Informationswelle Herr zu werden, wandelt die Digitalisierung in einem SDR die kontinuierliche unabhängige Variable *Zeit* des Signals durch Abtastung und die abhängige Variable *Spannung* durch die Quantifizierung in diskrete Einzelwerte um.

Ein idealer (Analog-/Digital-)Umsetzer (engl. ADC) erreicht dabei einen theoretischen Signal-Rausch-Abstand bei *n* Stufen von $SNR = 6,02 n + 1,76 \text{ dB}$, beim 14-Bit-Umsetzer des SDR-IQ: 86 dB. Für die wirkliche dynamische Leistungsfähigkeit liefert das Verhältnis von Signal zu Rauschen vermehrt um sämtliche andere spektrale Komponenten einen praxisnahen Wert: $SINAD = (S + N + D) / (N + D)$. Auch Simulationsprogramme [12] liefern durch Modellierung der verwendeten Wandler aussagekräftige SINAD-Werte unter verschiedenen Bedingungen. Setzt man den erhaltenen Wert für das SNR ein und löst nach *N* auf, erhält man den griffigen Wert der effektiven Bitzahl (ENOB):

$$ENOB = SINAD - 1,766,02 \text{ dB}$$

Beim SDR-IQ landet man so um die 12 ENOB. Dieser Bestwert gilt nur bei Vollaussteuerung des ADC (0 dBFS) und legt nahe, ihn möglichst in diesem Bereich zu betreiben. Allerdings führt schon ein nur geringes Überschreiten dieses Bereichs – im Gegensatz zu einem analogen System – zur abrupten Zerstörung der Linearität mit breitspektralen Artefakten. Entsprechend (zu) hoch liegt der Rauschflur nach der A/D-Umsetzung. Im folgenden Prozessschritt der direkten digitalen Abwärtsmischung (DDC) erfolgt eine drastische Herab-

setzung der Datenmenge durch Reduktion der Bandbreite und der Abtastfrequenz. Bei einer beispielsweise darzustellenden Bandbreite von 100 kHz wird durch das Produkt der drei Dezimationsfilter des SDR-IQ (1. CIC: 15, 2. CIC: 4 und FIR-Filter: 30) die erforderliche Dezimation um den Faktor 600 erreicht. Da die Bandbreite des interessierenden Signals kleiner ist als die des Eingangsspektrums und dessen Rauschleistung [1] (über das Spektrum von Gleichspannung bis zur halben Abtastfrequenz: $f_s/2$) ergibt sich eine Verbesserung des Verhältnisses von Signal und Rauschen zu:

$$P = 10 \log_{10} f_{sFi} = 27,8 \text{ dB}$$

oder im System

$$SNR_{\text{gesamt}} = SNR_{\text{ADU}} + SNR_{\text{DDC}} = 104 \text{ dB}$$

Mit 111,111 kHz werden die jetzt I (Inline) und Q ($\pi/2$ – Viertelwelle) „komplex gemischten“ Datensamples reskaliert und in 16-Bit-Breite seriell über die USB-Schnittstelle mit (13,5 MBit/s) übertragen. Im PC erfolgt die Fourier-Transformation (FT) zur Extraktion der Frequenz-, Amplituden und Phaseninformation des gewählten Bandausschnitts. Das beigelegte Programm *SpectraVue* erlaubt hierbei eine besonders flexible, forschungsanregende Parameterwahl. Die (Fast)FT verbessert nochmals das Signal-Rausch-Verhältnis durch die Reduktion der Rauschleistung im gewünschten Spektralanteil (FFT-Prozessverstärkung) im Verhältnis zur Rauschleistung des gesamten Spektrums von DC bis zu $f_s/2$. Die Fourier-Transformation wirkt als schmalbandiger Spektrumanalysator mit der Bandbreite f_s/M und die FFT-Prozessverstärkung beträgt: $10 \cdot \log(M/2)$. Bei einer $M = 8192$ Punkte-FFT sind das 36 dB. Die Herabsetzung des Rauschflurs in Abhängigkeit von den FFT-Parametern kann man im Spektrogramm leicht nachvollziehen. Bis zur Ausreifung neuer Schnittstellen erfolgt die Anbindung des Endnutzers weiter analog über einen akustischen Kanal nach vorgeschalteter Demodulation und einen optischen Kanal durch die Spektrumdarstellung auf dem Monitor. Die Geschwindigkeit des optischen Netzhaut-Sehnerv-Systems erweist sich dabei mit Ethernet-Dimensionen von 10 MBit/s als zeitgemäß breitbandig.

ben der Möglichkeit, die passende Software nach Geschmack und Anwendungsbereich auszuwählen, ergeben sich dadurch mannigfaltige Experimentierfelder. Die weitere Entwicklung – etwa auf dem Encoder-/Decoder-Gebiet – verspricht anhaltenden Unterhaltungswert. Und die Zukunft? Erstmals weckte das blinkende Kästchen mit der bunten, irgendwie vertraut wirkenden Programmoberfläche auch bei der nachwachsenden Generation Interesse an Radiothemen und Begriffen wie Frequenz oder Wasserfalldiagramm. Zumindest die Nutzergeneration 2.0 scheint bevorzugt mit den Software-Radios kompatibel zu sein. Mit dem SDR-IQ ist man da bestens aufgestellt.

Literatur und URLs

- [1] Scholz, B., DJ9CS: SDR-IQ – Spektrumanalyzer und softwaredefinierter Empfänger. FUNKAMATEUR 56 (2007) H. 7, S. 721–723
- [2] Meyer, M., HB9BGV: SDR-1000: Eine neue Ära im Amateurfunk ist eingeläutet! (1). FUNKAMATEUR 53 (2004) H. 5, S. 454–457
- [3] Scholz, B., DJ9CS: SDR – Potenzial für die Zukunft. In: CQDL-Spezial SDR und D-Star (2008), S. 25
- [4] Ireland, S., VK6VZ; Harman, P., VK6APH: Der Aufstieg des Direct Down Conversion Receivers (DDC). SDR – Potenzial für die Zukunft. In: CQDL-Spezial SDR und D-Star (2008), S. 37–39
- [5] Moetronix: SpectraVue. www.moetronix.com/svdownload.htm
- [6] SDR-RADIO.com GmbH: SDR-RADIO-Console. www.sdr-radio.com/
- [7] HFLINK: Olivia. www.hflink.com/olivia
- [8] Asbrink, L., SM5BSZ: LINRAD. www.sm5bsz.com/linuxdsp/linrad.htm
- [9] Muzychenko, E.: Virtual Audio Cable: <http://software.muzychenko.net/eng/vac.htm>
- [10] Open source DRM-Decoder: DRaEM. http://sourceforge.net/apps/mediawiki/drm/index.php?title=Main_Page
- [11] RFSpace: SDR-IQ. www.rfspace.com/RFSpace/SDR-IQ.html
- [12] Analog Devices: ADISimADC. <http://designtools.analog.com/dtSimADCWeb/dtSimADCMain.aspx>

Weiterführende Literatur im Download-Bereich auf www.funkamateure.de.