

# Schatzkästlein – das brandneue Winradio G303e in der Praxis (2)

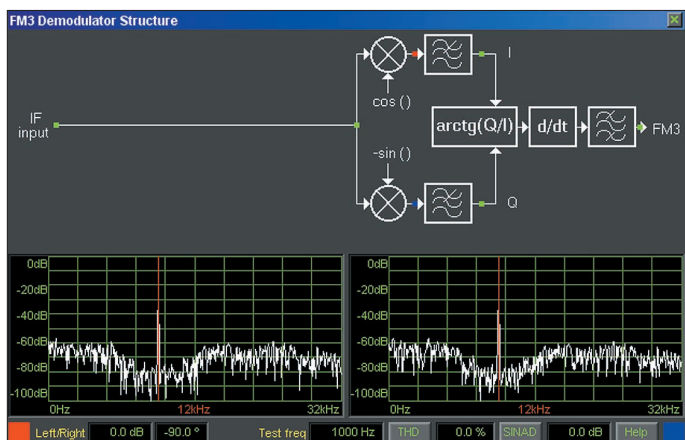
CLEMENS SEIDENBERG

Nach dem Beschreiben einiger grundsätzlicher Eigenschaften in der vorigen Ausgabe befasst sich diese abschließende Folge mit den Empfangseigenschaften des G303e und vermittelt ein wenig Theorie.

In der aktuellen Daseinsform des softwaredefinierten Radios SDR folgt die Aufbereitung der HF noch den üblichen Schaltungsentwürfen der Sender- und Empfängertechnik. Erst ab einer letzten Zwischenfrequenz übernimmt die Software das Signal zu dessen Filterung und Demodulation. Vor seiner digitalen Verarbeitung bedarf das analoge, zeitkontinuierliche Signal einer Zerlegung in einzelne zeitdiskrete Datenhäppchen.

als Quadraturdemodulator arbeitet (siehe Kasten auf der nächsten Seite).

Der PD bietet die bisher einzigartige Möglichkeit einen Blick unter die Motorhaube zu werfen, um dem Software-Quadraturdemodulator quasi bei der Arbeit zuzusehen. Ein Klick auf den Knopf *Demodulator Structure* öffnet ein interaktives Schaubild, das den Signalverlauf des aktuellen Demodulators grafisch als Blockdiagramm darstellt.



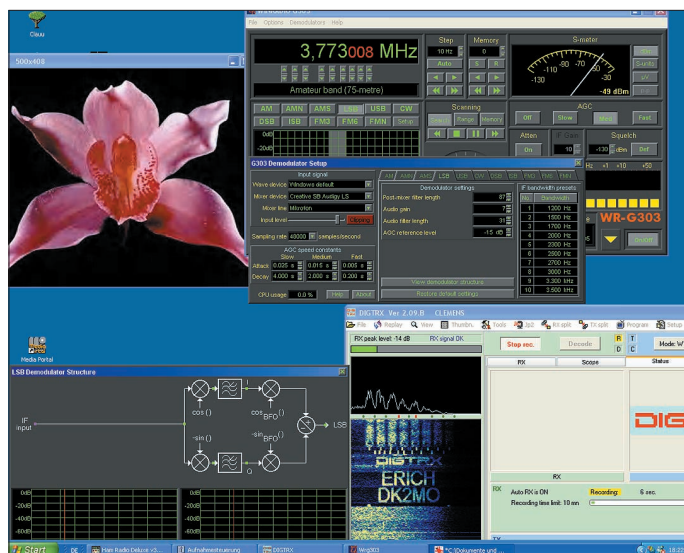
**Bild 8:** Professional Demodulator mit Echtzeit-Spektrogrammen; gemessen werden exakt 90° Phasendifferenz zwischen I- und Q-Signal.

Wie sicher weithin bekannt, muss die Abtastfrequenz der Analog-Digital-Umsetzer gemäß Nyquist-Theorem wenigstens das Doppelte der höchsten im Spektrum des Eingangssignals auftretenden Frequenz annehmen, um eine unverfälschte digitale Repräsentation zu garantieren.

Beginnt idealtypisch das SDR hinter dem Antenneneingang, so wäre für den KW-Bereich eine Abtastfrequenz von 60 MHz bzw. für das 2-m-Band von knapp 300 MHz erforderlich. Solche Analog-Digital-Umsetzer gibt es zwar, die Auflösung bezahlbarer Chips ist jedoch häufig zu niedrig. So ergeben 8 Bit Auflösung (256 Stufen) einen bescheidenen Dynamikumfang von 48 dB, was nicht ausreichend ist für die lineare Abbildung realer Funksignale.

In jeder PC-Soundkarte steckt aber schon mindestens ein Analog-Digital-Umsetzer mit einer Auflösung von mindestens 16 Bit (96 dB); die gängige maximale Abtastfrequenz ist jedoch (nur) 48 kHz. So hat sich in vielen SDR-Programmen eine soundkartenverträgliche ZF von 12 kHz eingebürgert. Erst nach deren Digitalisierung wird das Radio zum Software-Radio, das

**Bild 9:** DigiTRX mit dem G303e Screenshots: Autor



Darunter findet sich eine komplette Sammlung virtueller Messinstrumente, unter ihnen zwei Echtzeitspektrometer. Genau wie man mit dem Tastkopf eines Oszilloskops Messungen an verschiedenen Stellen einer realen Schaltung vornehmen kann, lassen sich die beiden Spektrometer durch einen Links- oder Rechtsklick mit einem beliebigen Punkt des Blockdiagramms „verbinden“.

In Echtzeit kann man die Veränderungen des Spektrums (das Signal in seiner frequenzabhängigen Darstellung) nach jedem Verarbeitungsschritt – nach Filterung, Mischung und Demodulation – studieren und

das ganz ohne zu schrauben. Ein Vektorvoltmeter bestimmt die Amplituden- und Phasendifferenz zwischen den beiden gewählten Punkten.

Wie theoretisch erwartet, lässt sich die Phasendifferenz zwischen I- und Q-Komponente zu Werten um 90° bestimmen, vgl. Bild 8. Vervollständigt werden die Experimentiermöglichkeiten durch ein Instrument zur SINAD<sup>1</sup>- und THD<sup>2</sup>-Anzeige. Gemessen werden dabei die entsprechenden Werte des Gesamtsystems Empfänger-PC-Soundkarte. Dies erfordert allerdings die Zuführung eines mit 1 kHz modulierten Trägers.

## ■ Gehört und gemessen

Warum nicht einmal wieder das weltweite und grenzenlose Medium Kurzwellenrundfunk als Informationsquelle aus erster Hand nutzen und hören...? Hier überzeugt der Software-Demodulator einfach mit einem guten Klang, auch im Vergleich mit anderen Software-Radios, etwa dem ebenfalls nicht schlechten DREAM AM-Demodulator [4].

Die USB-Version steht dem internen PCI-Empfänger nicht nach. Das gilt für alle Betriebsarten, besonders auch für ISB und DSB mit souveränem, von Trägerschwan-

kungen unabhängigerem, Klang. Hier gilt es aber die Frequenzabweichung des Empfängers zu beachten und zu korrigieren, sonst entstehen lästige brummige Differenztonen.

Mein Exemplar zeigte bei 6 MHz eine Abweichung von 24 Hz und bei 21 MHz Empfangsfrequenz von 135 Hz, entsprechend ist die nominelle Frequenz nach oben zu berichtigen – beim AM-Empfang spielt das freilich keine Rolle.

<sup>1</sup> Signal to Noise and Distortion, Rausch-/Verzerrungsabstand des Signals

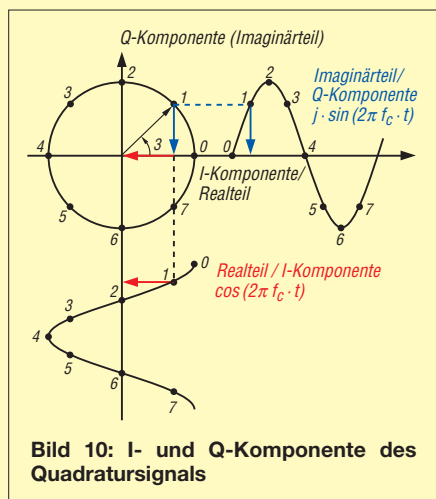
<sup>2</sup> Total Harmonic Distortion, Klirrfaktor

### Erläuterungen zum Quadratursignal

Ein komplex modulierter harmonischer Träger beinhaltet seine Information sowohl in der augenblicklichen Amplitude als auch der Phasenlage. Zu seiner umfassenden Beschreibung sind folglich immer zwei Parameter erforderlich. In der Darstellung als Quadratur- oder komplexes Signal spiegelt sich diese Zweidimensionalität wieder und erlaubt ihre simultane Verarbeitung im (De-)Modulationsprozess.

Ein komplexes Signal lässt sich also nicht auf eine einfache (zeitabhängige) Variable abbilden. Diese kann sich nur in einer eindimensionalen Weise entlang des Zahlenstrahls bewegen. Bei Erweiterung auf eine Ebene (komplexe Ebene) ist die notwendige Zweidimensionalität hergestellt. Der Signalverlauf kann jetzt als ein sich in der Ebene bewegendes Punkt bzw. als Zeiger interpretiert werden. Ein Wertepaar beschreibt die Koordinaten seiner Position.

Für die Darstellung der Koordinaten gibt es unterschiedliche mathematische Darstellungsweisen, die sich jedoch untereinander umrechnen lassen. Man darf dann die für den jeweiligen Zweck günstigste benutzen. Das ist ein mathematischer Trick, ähnlich wie die komplexe Wechselstromrechnung das Vermeiden von schwierigen Differenzialgleichungen erlaubt. Die beiden Achsen des Koordinatensystems werden beim Quadratursignal mit I (In-Phase) und Q (Quadratur) bezeichnet. In der komplexen Ebene (zur geometrischen Darstellung komplexer Zahlen) werden sie Real- und Imaginärteil genannt.  $I(t)$  und  $Q(t)$  bestimmen also eindeutig die Lage des Zeigers  $s(t)$  in der Ebene und bilden damit zusammen das komplex modulierte Quadratursignal:



**Bild 10: I- und Q-Komponente des Quadratursignals**

Die vor den Sinusausdruck getretene imaginäre Einheit  $j$  braucht nicht zu irritieren. Bei der Multiplikation in der komplexen Ebene entspricht sie einer Drehung gegen den Uhrzeigersinn um  $90^\circ$ . Genau das verdeutlicht auch die Skizze. Das sinusförmige Signal wird senkrecht – in Quadratur – auf das Cosinus-Signal gestellt.

Die Amplitude  $A_1$  und Phase  $\varphi_t$  des komplex modulierten Signals lassen sich dann wie folgt berechnen [6]:

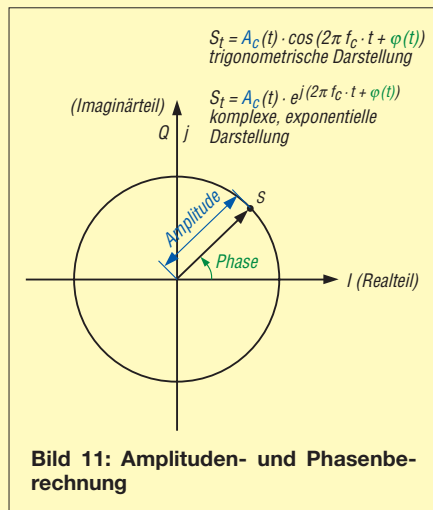
Nach Pythagoras ergibt sich die momentane Amplitude zu

$$A(t) = \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)} \quad (1)$$

und die Phase zu

$$\varphi(t) = \arctan \left( \frac{Q(t)}{I(t)} \right) \quad (2)$$

Das lässt sich aus der geometrischen Darstellung direkt erkennen:

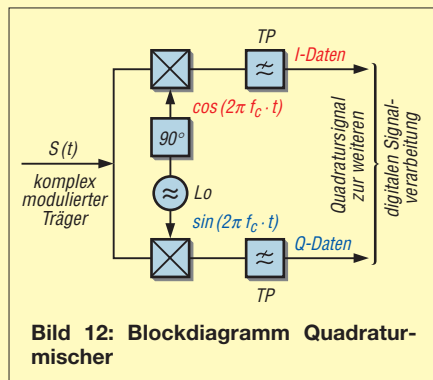


**Bild 11: Amplituden- und Phasenberechnung**

Um den Zauber des Quadratursignals zu nutzen, gilt es demnach, das komplex modulierte Signal in seine I- und Q-Komponenten zu zerlegen bzw. für den Sendebetrieb zu erzeugen. Das erledigt der Quadraturmischer. Nimmt man weitere Verarbeitungsschritte hinzu, ist auch von Quadratur-Sampling bzw. Quadratur-(De-)Modulation die Rede.

Hierbei wird der komplex modulierte Träger durch Leistungsteilung in zwei Kanäle aufgeteilt. Beide Kanäle werden dann nach dem Prinzip des Direktmischers mit der Trägerfrequenz gemischt, der zweite Kanal jedoch mit einem in der Phasenlage um  $90^\circ$  versetzten Träger.

Das hört sich einfach an, ist aber in Hardware wegen der notwendigen exakten Phasen- und Amplitudenbalance schwer zu realisieren. Digitale Verfahren erlauben jedoch eine präzise Kontrolle der beiden Parameter, so sind Quadratur-Signale das „wichtigste Funktionselement in der digitalen Signalverarbeitung“ geworden [9].



**Bild 12: Blockdiagramm Quadraturmischer**

Nach einem Tiefpass zum Ausfiltern der unerwünschten Mischprodukte stehen die I- und Q-Komponenten einzeln zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. So ist eine „rechnerische“ Demodulation bei AM und FM durch die angegebenen Formeln (1), (2) direkt möglich.

Das funktioniert für zeitkontinuierliche, analoge Signale genauso wie für zeitdiskrete, digitalisierte Samples. Die Quadraturmischung ist, so wie im Winradio G303e realisiert, als reine Softwarelösung mit bereits digitalisierter ZF möglich. Man hat damit aber auf die Möglichkeit verzichtet, mit getrennter Digitalisierung des I- und Q-Kanals eine Verdopplung der Bandbreite zu erzielen [6].

Der weitere wesentliche Effekt der Quadraturmischung besteht darin, dass das Eingangssignal, dessen Mittenfrequenz die Trägerfrequenz bestimmt, auf 0 Hz „heruntergemischt“ wurde. Dabei vereinfacht das Vorliegen der getrennten I- und Q-Werte eine Auswahl des gewünschten Seitenbandes oder die Unterdrückung störender Mischprodukte ebenfalls: Betrachtet man den modulierten Träger nicht in der zeitabhängigen Darstellung, wie bei einem Oszillografen, sondern in seiner frequenzabhängigen, spektralen Form, zeigt sich seine Zweidimensionalität in der Anwesenheit von „negativen“ spektralen Frequenzanteilen. Bei der Mischung (Multiplikation) entstehen Summen- und Differenzfrequenzen, wie es die Rechenregeln für trigonometrischen Funktionen fordern.

Darunter finden sich unerwünschte Spiegelfrequenzen, die sich nicht mit einem Tiefpass eliminieren lassen und zu einer Verfälschung der im gewünschten Seitenband enthaltenen Informationen führen. Quadratursignale erlauben die Auflösung dieser Zweideutigkeit und die Entfernung der unerwünschten Spiegelfrequenzen auf analytische Weise, sodass nur das gewünschte Seitenband übrig bleibt [13].

Theoretisch, bei perfekter Amplituden- und Phasenbalance, ist die Seitenbandunterdrückung sogar unendlich groß; vom G303e werden 60 dB erreicht. Die entsprechenden Rechengänge lassen sich am besten in der komplex exponentiellen Schreibweise der Signale nachvollziehen, s.a. Bild 10.

Erschlossen wurde diese Möglichkeit bereits vor 250 Jahren durch den Mathematiker Leonard Euler (1707–1783), der die Beziehung zwischen den trigonometrischen Funktionen, die üblicherweise zur Beschreibung periodischer Signale benutzt werden, und einer Exponentialfunktion (mit komplexen Exponent) herstellte.

Euler war ein großer Experimentator, so fand er die nach ihm benannte Identität, die heute zentrale Bedeutung für die digitale Signalverarbeitung hat:

$$e^{jx} = \cos(x) + j \cdot \sin(x) \quad (3)$$

Für den Winkel von  $180^\circ$  verkürzt sich diese sogar auf

$$e^{j\pi} + 1 = 0 \quad (4)$$

was vielen gar als schönste aller Formeln gilt.

Hier schließt sich der Kreis; man sieht, die Beschäftigung mit Quadratursignalen hat viele lohnende Aspekte und eine 250-jährige Tradition.

Was als rein theoretisches Konzept begann, von vielen Fachleuten gar als abwegige mathematische Spielerei abgetan, entpuppte sich so als überaus nützlich für die Beschreibung und Berechnung ganz konkreter physikalischer Vorgänge in der Natur. Die Erkenntnis ging hier der Beobachtung voraus. Schön, dass der moderne Funkamateure daran heute praktisch und theoretisch teilhaben kann.

## Empfängertest an einer Windom-Antenne

Am Teststandort kam eine Windom-Antenne ohne weitere Selektionsmaßnahmen zum Einsatz – für jeden Empfänger eine echte Herausforderung. Das besonders problematische 40-m-Band präsentiert sich damit am Tag aufgeräumt und sauber. In der Dämmerungsphase aber zeigt sich der Empfänger leicht überfordert: Über das gesamte Band bleibt im Hintergrund ein gleichmäßiges Intermodulationspfeifen, der Empfang selbst klingt verwaschen, unscharf. Das zugeschaltete Dämpfungsglied hilft durch seine Entlastung etwas, aber nur begrenzt.

Der Professional Demodulator kitzelt wenige, in diesem Fall hilfreiche Dezibel heraus. Allerdings gibt es bei meinem 2-GHz-PC trotz vorsichtiger Einstellung bisweilen Aussetzer in der Wiedergabe. Offenbar kommt die FPU des Prozessors nicht ganz mit.

Im Vergleich zu einem kommerziellen Empfänger der 50000-€-Klasse mit Hochstrommischer und mechanischen Filtern in der 2. ZF hält der G303 freilich nicht ganz mit, wenn er auch schon nahe dran ist: Auf 729 kHz MW liegt bei mir in nicht einmal 2 km Entfernung ein Sender des BR mit 200 W Leistung (S9+40 dB). Gerade 18 kHz tiefer kommt mit 5 kW Leistung der SWF-Sender Heilbronn, dafür aus 230 km Entfernung (S7). Ein Radio der 50-€-Klasse schweigt auf 711 kHz, der 250 € teurere Weltempfänger lässt dank seiner Ferritantenne immerhin erahnen, dass da etwas sein könnte. Der kommerzielle Empfänger liefert geschätzte 15 dB Störabstand und damit schon erträglichen Empfang.

Beim G303 liegt der Störabstand je nach Programm in der Nachbarschaft bei nur noch 9...12 dB. Das ist recht gut unter diesen Umständen, aber man muss sehr genau hinhören, um dem Programm folgen zu können und darf sich von den durchschlagenden Rhythmen nicht ablenken lassen. Die Empfangseigenschaften des G303 sind also alles in allem kein Wunder, aber dennoch sehr solide. Das Preis-Leistungs-Verhältnis ist meiner Meinung nach sehr günstig.

**Ulrich Flechtner**

Im oft hektischen bis chaotischen Lärmteppich der Lang-, Mittel- und Kurzwelle sollte ein guter Empfänger möglichst ruhig bleiben und das Durcheinander nicht noch durch selbst erzeugte Intermodulationsprodukte, Pfeifstellen usw. vergrößern. Ob er das schafft, ist einfach zu überprüfen. Nachdem der Antenneneingang mit einer passenden Impedanz „verschlossen“ wurde, lässt man das gesamte Empfangsspektrum mittels Scanfunktion absuchen.

Was macht der G303e? Er bleibt gelassen und entspannt – nur ein einziges unerwünschtes Signal bei 10 025 kHz mit einem Pegel von 0,6 µV. Für einen ungestörten Empfang ist das weitaus wichtiger als eine nominell hohe Empfindlichkeit. Über einen weiteren praktischen Test zur Großsignalfestigkeit, den freundlicherweise Herr U. Flechtner durchführte, gibt obiger Kasten Auskunft.

Winternächte sind die ideale Zeit, um sich im Mittelwellenbereich ein wenig umzuhö-

ren. In diesem Frequenzbereich kann sich der G303e bei der NDB-Senderjagd bewähren. NDBs sind ungerichtete Funkbaken, die im Bereich von 200 bis 500 kHz der Luftfahrzeug-Navigation dienen.

Die gute Empfindlichkeit bei unaufgeregtem Empfang und die exakt wählbare Filterbandbreite erlauben es, die Funkfeuer aus dem Ton- und Geräuschteppich präzise zu extrahieren und mittels ihrer Morsekennung zu identifizieren und das in einer Zahl, die kaum mit einem anderen Gerät erreichbar ist. Das funktioniert allerdings nur, wenn man die Selektivität der Filter durch Maximierung der Filterlänge verbessern kann. Bild 8 auf S. 343 verdeutlicht, dass der G303e auch zum Empfang aktueller digitaler Betriebsarten, wie RDFT [12] (Bildübertragung) genutzt wird, gut geeignet ist.

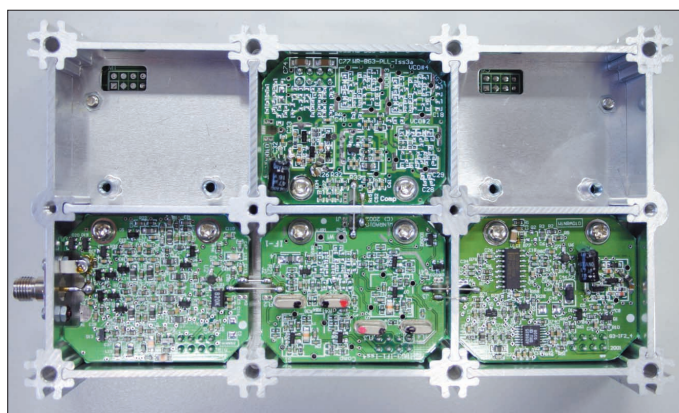
zwei Jahren war erfolgreich. Die Ausführung als softwaredefiniertes Radio brachte ein bisher nicht erreichtes Maß an Flexibilität und Einsatzmöglichkeiten, kombiniert mit einer bekannt benutzerfreundlichen Steuersoftware. Wer keine auf PCI-Steckkarten basierende Lösung einsetzen konnte oder wollte, kann jetzt mit der externen USB-Version den Einstieg in diese zukunftsreiche Empfängertechnologie nachholen.

Man erhält dabei einen Kurzwellen-Empfänger mit sehr guter Empfindlichkeit und Großsignalfestigkeit. Mit dem lässt sich hervorragend einfach mal nur „Radio hören“ und auf Senderjagd gehen.

In Kombination mit dem Professional Decoder ergibt sich ein leistungsfähiges System, das für das Funkhobby und für semi-

**Bild 13:**  
Ansicht des G-303e von unten; die HF-Baugruppen befinden sich voneinander abgeschirmt in verschiedenen Kammern des Druckgussgehäuses.

Foto: DK3RED



Für die neue Entwicklung im Rundfunk, spricht das digitale Modulationsverfahren DRM, ist man ebenfalls bestens gerüstet. Mit geringem Phasenrauschen konnte hier bereits die PCI-Ausführung überzeugen. Bei fehlendem analogen ZF-Ausgang (s. erste Folge) der USB-Version ist man aber auf das kostenpflichtige Software-Plug-in des DRM-Konsortiums [10] angewiesen. Alternative freie Decoder sind nicht einsetzbar. Apropos freie Software: Im Gegensatz zu anderen Winradio-Baureihen gibt es für die G3-Generation (noch) keine Unterstützung aus dem Linux-Lager [11]. Wunschlos glücklich? Fehlt denn überhaupt nichts? Doch – ich würde gerne die Demodulationsfrequenz des Software-Radios und die oberen und unteren Grenzfrequenzen der Filter verschieben können – als Passband-Tuning – und wie wäre es mit einer klitzekleinen Buchse für die 12-kHz-ZF zusätzlich zu der proprietären USB-Zwischenfrequenz-Serielle-Schnittstelle-Superbuchse? Ferner hätte ich mir gewünscht, den Speicherkanälen auch längere als elfstellige Namen vergeben zu können.

### ■ Fazit

Die Markteinführung der dritten Generation von PC-Empfängern mit dem G303i vor

professionelle Anwender neue Möglichkeiten eröffnet. Ein zusätzlicher Vorteil der USB-Version ist die Unabhängigkeit von der Qualität der vorhandenen Soundkarte, da die Digitalisierung bereits im Radio erfolgt. Auf den Einsatz unabhängiger Software muss man dann aber verzichten können.

Verglichen mit Empfängern ähnlicher Güte ist die von SSB-Electronic ([www.ssb-amateur.de](http://www.ssb-amateur.de)) selbst als „low cost“ gegebene Preiseinstufung nachzuvollziehen (UVP ab 895 €). Um allerdings alle Möglichkeiten uneingeschränkt nutzen zu können, ist ein leistungsfähiges Computersystem der Gigahertz-Klasse Voraussetzung. Steht das zur Verfügung, ist man startbereit für den Sprung in die neue Generation des Radioempfangs.

### Literatur

- [1]...[8] siehe vorige Ausgabe
- [9] Buhe, G., DL9GF: Grundlagen der Quadratur-signalverarbeitung. [www.darc.de/distrikte/z/vus/Vortrag/Vortrag\\_2\\_Web/Darmstadt2003\\_03.pdf](http://www.darc.de/distrikte/z/vus/Vortrag/Vortrag_2_Web/Darmstadt2003_03.pdf)
- [10] DRM-Konsortium: [www.drmtx.org](http://www.drmtx.org)
- [11] WiNRADiO Communications: LinRADIO – PC Radio for Linux: [www.linradio.com](http://www.linradio.com)
- [12] Zurmely, R., PY4ZBZ: DigiTRX. <http://planeta.terra.com.br/lazer/py4zbz/hdsstv/teste1.html#digtrx>
- [13] Lyons, R.: Quadrature Signals: Complex, But Not Complicated. [www.dspguru.com/info/tutor/quadsig2.htm](http://www.dspguru.com/info/tutor/quadsig2.htm)