# Cognitive Radio hat Zukunft

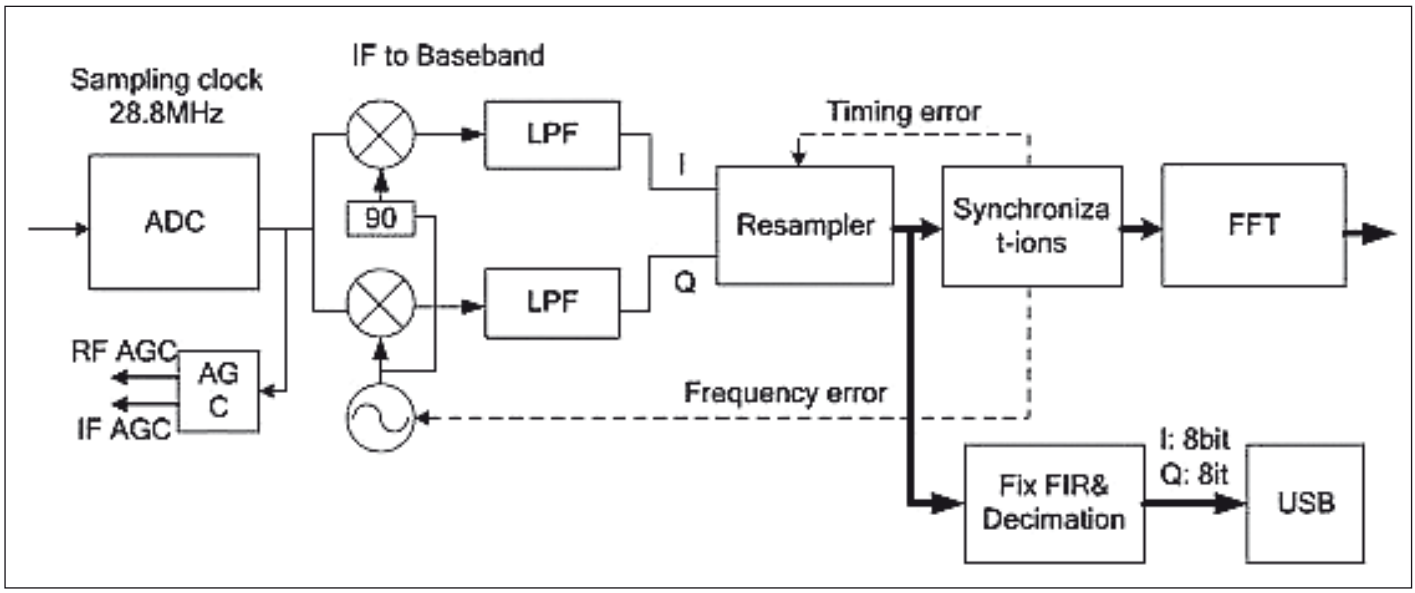


*Bild 1: Innere Struktur des Digital Demodulators RTL2832U*

**Einen Empfänger und/oder Sender, bei dem in nennenswerter Weise eine digitale Signalverarbeitung erfolgt, kennt man als Software Defined Radio (SDR). Diesen Begriff prägte 1991 der Amerikaner Joseph Mitola, der für das Militär erste Konzepte verwirklichte. Später entwickelte er das auf SDR aufbauende Konzept des Cogitive Radio (CR).**

CR wird möglich, da heute die SDR-Schlüsselbausteine die an sie gestellten Anforderungen leicht erfüllen können. So genügt z.B. ein A/D-Wandler mit 8 Bit und 3,2 MS/s Abtastrate, wie im populären Baustein RTL2832U (Bild 1) zu finden. Der damit mögliche Dynamikbereich errechnet sich nach der Formel

*Bitbreite x 6 dB*

zu 48 dB, und das ist ausreichend. Als Datendurchsatz erhält man nach der Formel

*Bitbreite x Abtastrate in Hz*

*25.600 Mbit/s bei einer (Nyquist-)Bandbreite von 0,5 x Abtastrate in Hz = 12,8 MHz.*

Auch eine Soundcard kann diese Aufgabe übernehmen, obwohl sie eine wesentlich höhere Bitbreite und eine deutliche geringere Abtastrate hat. Ein hochwertiges Produkt arbeitet beispielsweise mit 32 Bit bei nur 192 kS/s, das bedeutet vergleichsweise wesentlich höhere Dynamik, 1/4 des Datendurchsatzes und wesentlich geringere, aber völlig ausreichende Bandbreite.

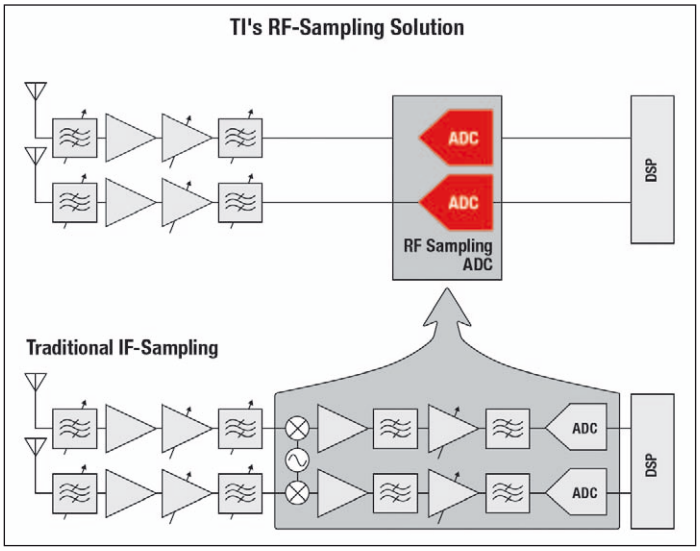


***Bild 2: Die Direct RF-Sampling ADC Family ADC12Dxx00RF von Texas Instruments kann Mikrowellensignale korrekt digitalisieren und erlaubt damit den Aufbau durchgehend digital arbeitender (oben) statt traditionell aufgebauter (unten) SDR-Breitbandempfänger***

## Direct Sampling & Quadratur-Demodulation

Das Ziel der Digitalisierung bereits auf der Empfangsfrequenz (Direct Sampling) ist mit seit Jahren verfügbaren A/D-Wandlern, etwa mit einer Auflösung von 16 Bit und einer Abtastrate von 80 MS/s oder mit 12 Bit und 3,6 GS/s, längst erreicht. Etwa mit der ADC Family ADC12Dxx00RF von Texas Instruments gelingt Empfang bis etwa 1,8 GHz (Bild 2). Auch von National Instruments kommen äußerst leistungsfähige ADCs.

Bei vielen heutigen SDR-Empfängern wird jedoch das Superhet-Prinzip angewendet, und die digitale Signalverarbeitung setzt erst auf der (letzten) ZF ein, die in der Regel unter 20 kHz liegt. Dem analogen ZF-Verstärker

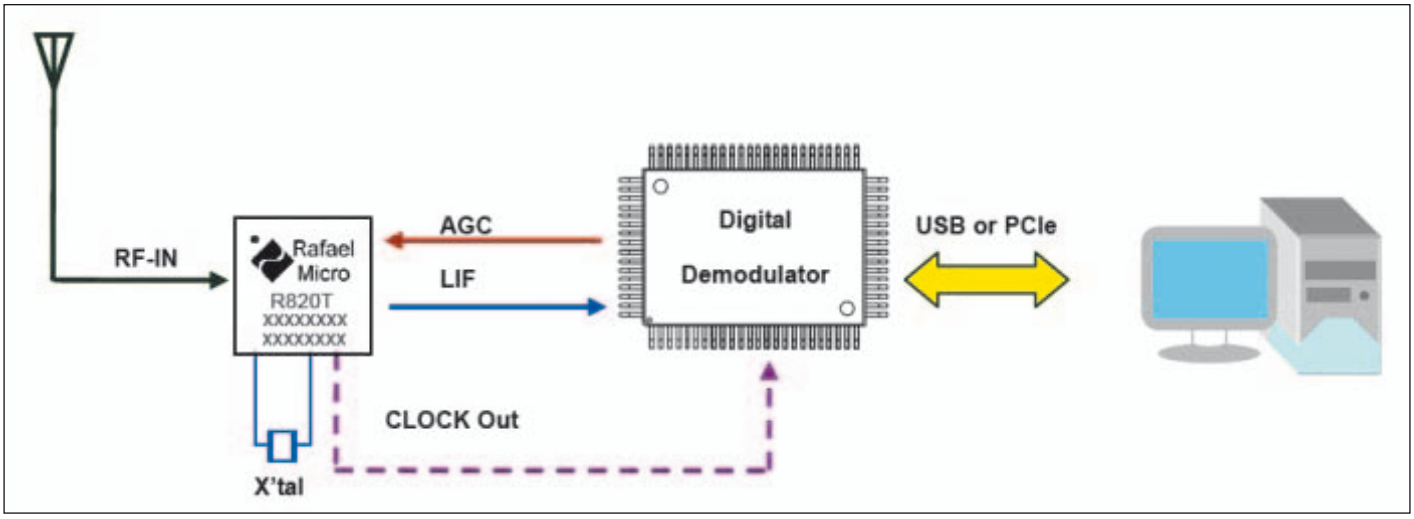


*Bild 3: Zum Aufbau eines SDR-Supers genügen zwei Spezial-ICs*

sind dabei folgende Baugruppen nachgeordnet:

- Analog/Digital-Wandler
- DSP (Demodulation, Filterung)
- Digital/Analog-Wandler
- Audioverstärker

Da die Demodulation Hauptaufgabe dieses Komplexes ist, bezeichnet man einen entsprechenden Baustein auch als Digital Demodulator. Bild 3 demonstriert, wie einfach sich ein SDR-Super mit zwei speziellen Bausteinen realisieren lässt.

Typisch dabei ist die digitale Quadratur-Demodulation. Begründung: Beim Übergang von einem analogen zu einem digitalen Demodulator müssen nach der Komponentenerzeugung zwei Abtaster und zwei A/D-Umsetzer eingefügt werden, die zeit- und wertdiskrete Zahlenfolgen liefern, welche sich digital weiterverarbeiten lassen. Da in digitalen Systemen mit hohen Auflösungen und/oder Abtastraten die Kosten und die Verlustleistung nicht zu vernachlässigen sind, realisiert man die Quadratur-Abtastung mit nur einem ADC und Multiplex. Vorteile: kein Rechenzeitverbrauch, nur ein Abtaster und Umsetzer erforderlich, ideal für Unterabtastung, höhere Dynamik als Rechenwert, Nachteil: hohe Anforderungen an den ADC, eventuell Phasenkorrektur notwendig.

Durch dieses auf den beiden I/Q-Komponenten basierende und schnelle Demodulationsverfahren gelingt es, einen möglichst großen Teil der Signalverarbeitung in die Software zu verlagern. Außerdem können durch die separat vorliegenden I- und Q-Signale (I für In Phase und Q für Quadratur, d.h. 90° phasenversetzt) recht viele Modulationsarten demoduliert werden. Dazu ist nur die Software entsprechend auszurichten.

## Von SDR zu CR

Die softwaredefinierte Funktechnik wird vielseitig genutzt, etwa bei Militär, Mobilfunk, Rundfunk und Amateurfunk. Dort sind die Flexibilität und die Implementierung unterschiedlicher Protokollwechsel in Echtzeit von besonderem Nutzen. Ein konkretes Beispiel ist die Realisierung der Basisstationen zellularer Netze als SDR. Diese lassen sich innerhalb kürzester Zeit kostengünstig auf neue Standards aufrüsten.

Die wesentlichen Vorteile der SDR-Empfänger sind:

- keine Verzerrungen im Digitalteil

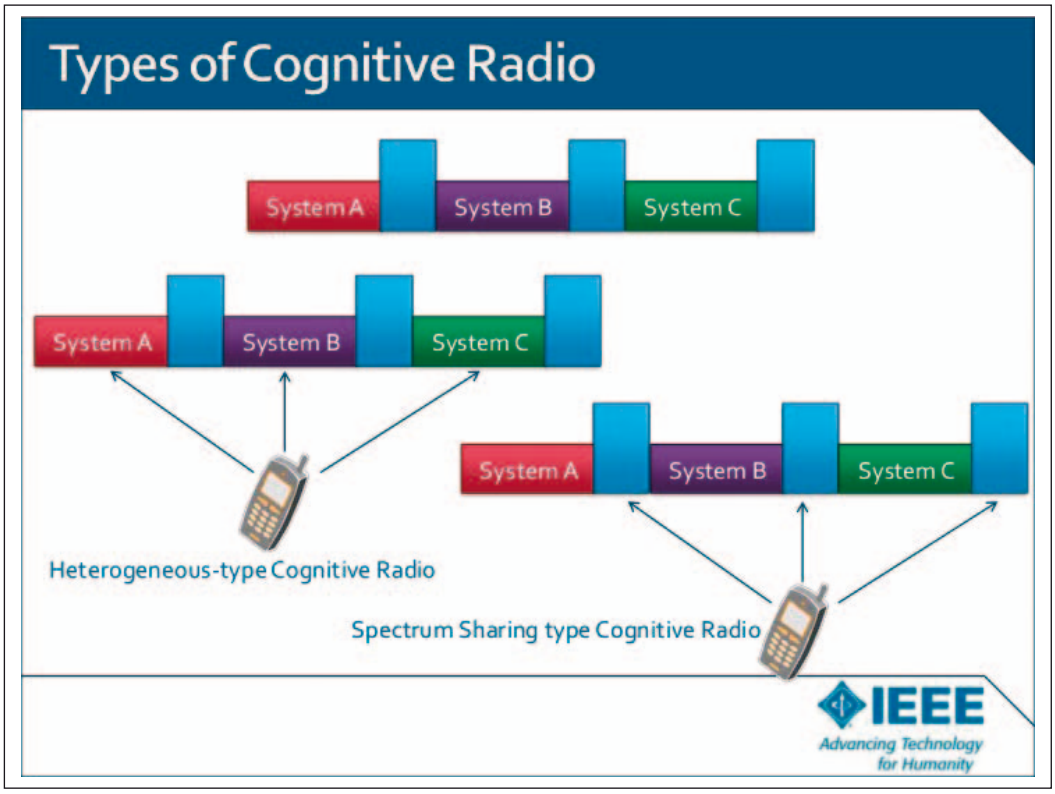


*Bild 4: Einteilung der CRs nach IEEE*

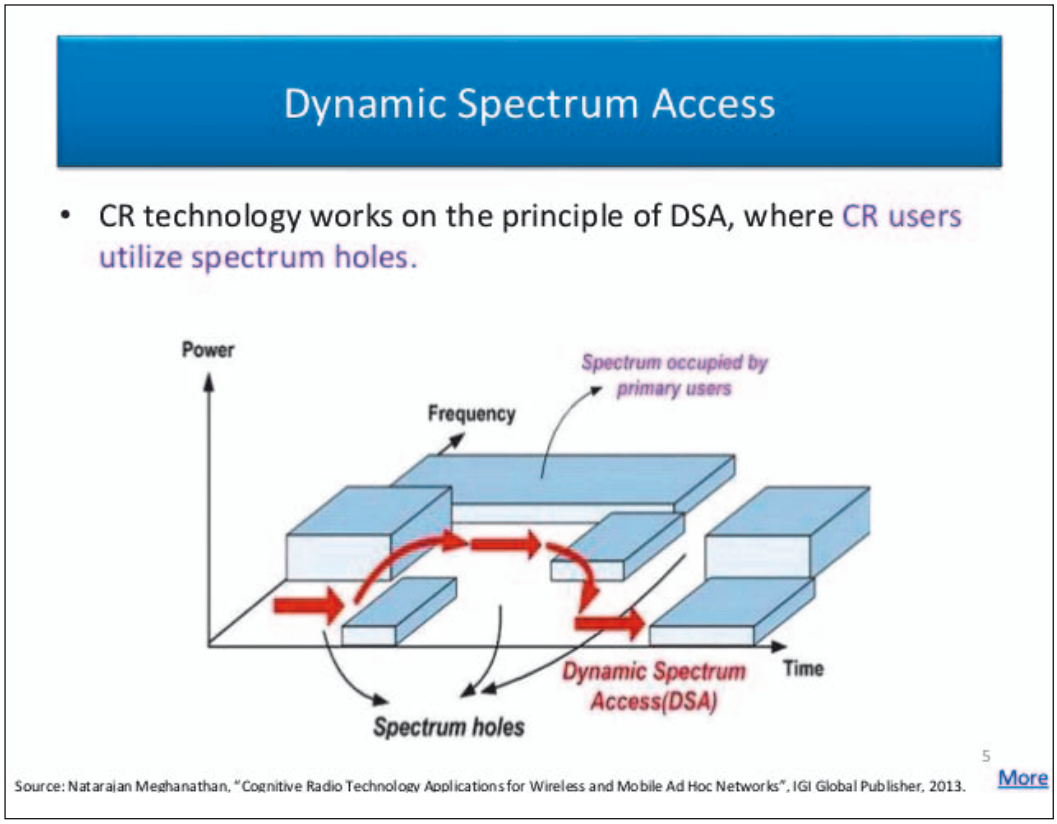


***Bild 5: Prinzip des DSAs***

- keine Verkopplungen im Digitalteil
- beliebige Demodulationsarten programmierbar
- digitale Filterung gelingt fast perfekt
- Signalstärkeanzeige fast perfekt möglich
- neue Funktionen, wie Spektrumspeicherung, möglich
- Hardwareaufwand relativ gering
- zukunftssicher durch Software-Update

Nach der Vorstellung Mitolas soll der SDR noch „smart" werden, worunter er im Wesentlichen „selbstbewusst, HF-bewusst und nutzerbewusst" versteht. Auch Cognitive Radio ist ein weitfassender Begriff und meint nicht nur Kommunikationsempfänger. Cognizant heißt „wissend, zuständig".

Die Technik geht also dem Bediener zur Hand, der Empfänger beispielsweise, indem er Demodulationsarten automatisch gemäß der gewählten Frequenz einstellt oder selbsttätig Empfangsbedingungen abcheckt und darüber informiert.

Abhängig von den Parametern, auf die das Konzept ausgerichtet werden soll, unterscheidet Mitola zwischen Full Cognitive Radio (jeder mögliche Parameter) und Spectrum Sensing Cognitive Radio (nur das Spektrum). Die IEEE unterscheidet gemäß Bild 4.

## CR = SDR + High IQ

CR erweitert somit die Definition von SDR durch Einführung vom Features, die den Empfänger oder Sender intelligent machen, verleiht ihm gewissermaßen einen hohen Intelligenz-Quotienten (IQ). Das Wireless Innovation Forum definiert CR als „Funkanwendung, bei der Kommunikationssysteme ihre Umgebung wahrnehmen und intern Entscheidungen fällen können bezüglich ihrer Arbeitsweise in Abhängigkeit von diesen Informationen und vordefiniertem Verhalten. Die Umwelt-Information kann, muss aber nicht die das Kommunikationssystem betreffenden lokalen Informationen berücksichtigen." Man spricht hier auch von adaptiven Funkanwendungen. Sie verwenden einen internen Speicher, welcher Anweisungen für verschiedene Situationen enthält. Diese gespeicherten Informationen über die eigenen Möglichkeiten ermöglicht das Fällen eigener Entscheidungen. Teilweise ist der Zugriff auf externe Datenbanken möglich.

Ein solcher Empfänger bewertet das Nutzsignal und Störsignale sowie das Antennenrauschen, bildet dazu gewissermaßen einen Erfahrungsschatz und optimiert

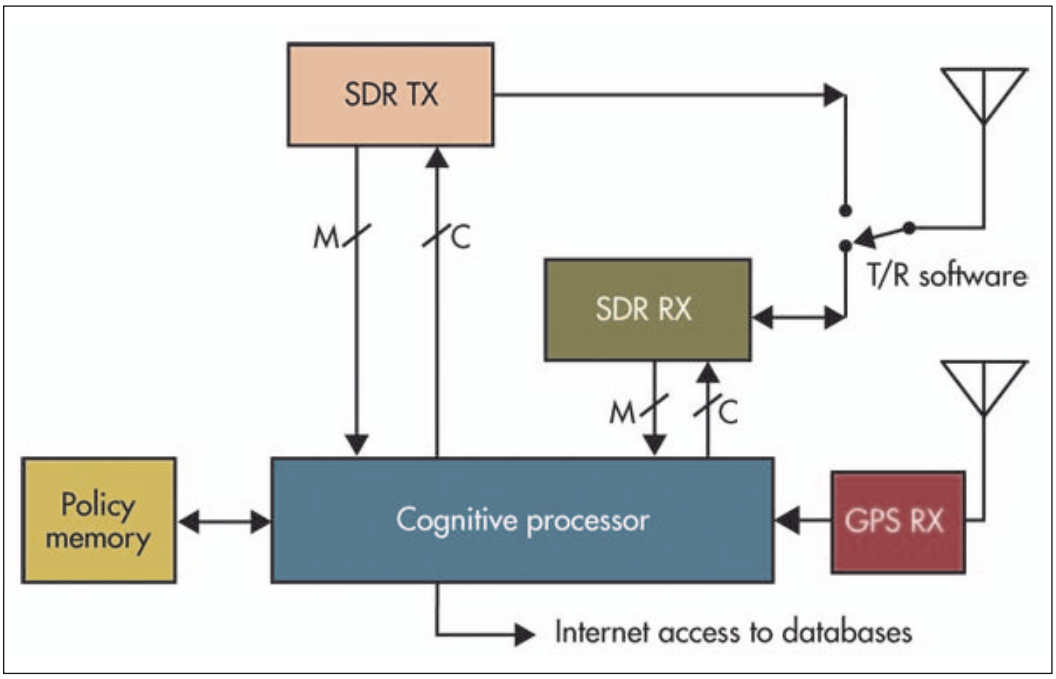


***Bild 6: Grundaufbau eines Cognitive Radio Transceivers (Quelle: Electronic Design)***

den Empfang auf dessen Basis. Davon kann auch das Sendeteil profitieren, sodass für Transceiver ein Prinzipaufbau gemäß Bild 5 typisch ist. Empfänger als auch Sender sind bezüglich Frequenz und Modulationsart sehr agile SDR-Baugruppen, sodass der Zusatzaufwand maximalen Nutzen bringen kann. Der Cognitive Prozessor erhält von Empfänger und Sender Daten über deren Parameter und Arbeitsbedingungen und teilt diesen SDR-Baugruppen daraufhin mit, wie sie sich bezüglich Frequenz, Betriebsart, Modulation, Sendeleistung, Protokoll und anderen Faktoren verhalten sollen.

Ein wichtiger Aspekt beim CR ist der Dynamic Spectrum Access (DSA), der es ermöglicht, einen durch andere Dienste nicht genutzten Kanal einzustellen, siehe Bild 6.

Das CR-Konzept versucht somit, zwei Hauptprobleme aktueller drahtloser Kommunikation zu lösen: begrenzte Frequenzressourcen und Unvereinbarkeit verschiedener Systeme. Ein CR findet einen ungenutzten Kanal im Frequenzspektrum und arbeitet darin mit optimierten Empfängereinstellungen bzw. angepasster Sendeleistung. CR ist aber auch in der Lage, nach Analyse fremder Signale sich auf diese bezüglich Betriebsart und Modulation einzustellen und somit Interoperabilität zu erreichen.

## Ausprägungen von CR

Man findet heute schon verschiedene Arten von Cognitive Radios. Beispielsweise ist sogenannter Policy-basierender Funk vorprogrammiert mit streng definierten Möglichkeiten, wie Wellenformen (Modulationsarten) und Prozeduren (Betriebsweisen). Der Benutzer wählt eine der vordefinierten Arbeitsweisen. diese werden bereits im Herstellungsprozess eingebracht, können aber over the air ge-updatet werden.

Eine andere Ausprägung ist das voll rekonfigurierbare CR. Dieser weitestgehend flexible Transceiver arbeitet in einem weiten Frequenzbereich mit stark verschiedenen HF-Leistungen. Diese Art von Funkanwendung lässt sich sehr leicht veränderten Umweltbedingungen und neuen Applikationen bzw. Kommunikationsbedingungen anpassen.

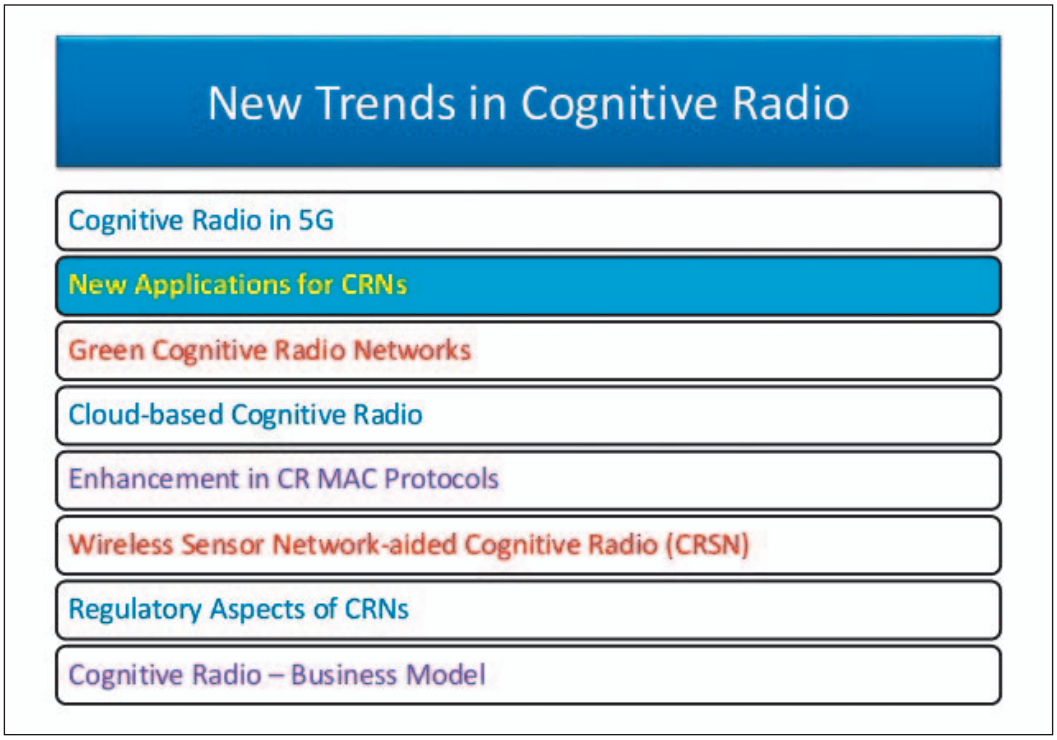


***Bild 7: Neue Trends beim CR***

Neue Trends beim Cognitive Radio sind in Bild 7 aufgelistet. Man sieht: CR hat Zukunft!

***FS***

### Beispiel xMax Carrier-Class CR System

Das System für die mobile Kommunikation nutzt Frequenzen im ISM-Band 902...928 MHz. Zunächst wurde es für Anwendungen in der U.S. Army entwickelt. Der Test im militärischen Network-Integration-Evaluation-Prozess wurde gut bestanden. Der Prototyp bestand aus einer kompakten mobilen Basisstation (Foto) und einem zugehörigen Handset. Dabei fand Time Division Multiple Access (TDMA) als Duplex-Spielart mit cognitiver Technology Anwendung. Unterstützt werden Voice-over-Internet-Protocol-Anrufe und SMS. Das Handset umfasst eine vollständige WiFi-Station. Das over the air aktualisierbare Waveform-Protokoll erlaubt den einsatz in einem festen, schnell reagierenden cognitiven Funknetzwerk. Neben WiFi sind WiMAX und traditionelle zellulare Technologien, wie LTE, möglich. Die HF-Sendeleistung erreicht bis zu 4 W (EIRP). Das System unterteilt das verfügbare Frequenzspektrum in 18 jeweils 1,44 MHz breite Kanäle und nutzt die robuste Binary Phase-Shift Keying Modulation (BPSK) zusammen mit dem TDMA Anwendung, sodass jeder Kanal bis zu zwölf Sprachverbindungen führen kann. Die zweite Entwicklungsstufe des xMax-Systems verzichtet auf das spezielle Handsets und ersetzt es durch Standard-Smartphones. Genau dies entspricht den Wünschen des Militärs, denn so werden bei höchster Übersichtlichkeit Gewicht und Kosten gespart. Nun kommt Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) zur Anwendung, und jeder 1,44-MHz-Kanal ist mit 128 Subcarriers belegt. Weitere Veränderungen, wie MIMO, verbessern die Leistungsfähigkeit und erweitern die Einsatzmöglichkeiten erheblich.