

# Parametergesteuertes Software Radio für Mobilfunkssysteme

Anne Wiesler

anne.wiesler@g3g.quam.com

Das Design-Konzept heutiger Mobilfunkgeräte ist nicht ausreichend, um überall mobil telefonieren bzw. Datenübertragung durchführen zu können und um eine Kompatibilität zwischen den Systemen der zweiten und dritten Generation zu gewährleisten. Diese Anforderungen werden aus heutiger Sicht wohl nur durch Software (Defined) Radios erfüllt werden können. Bei der Realisierung eines Software Radios für Mobilfunkssysteme steht man heute aber noch am Anfang der Entwicklung. Eine wesentliche Eigenschaft eines Software Radios ist seine Rekonfigurierbarkeit und damit die Fähigkeit, die Luftschnittstelle an die erforderliche Dienstgüte, die Übertragungssituation und an die vorhandene Netzinfrastruktur anzupassen. In dieser Arbeit wird hierfür als Ansatz die Parametrisierung der Basisbandfunktionen für Mobilfunkssysteme realisiert. Hier werden erstmalig die Basisbandfunktionen für verschiedenste Mobilfunkssysteme der zweiten und dritten Generation gemeinsam, durch einen parametrisierten Aufbau implementiert. Die Funktionen können allgemein verwendet und durch Parameter an verschiedene Mobilfunkssysteme angepasst werden.

Die Vorteile der gemeinsamen Nutzung der Basisbandfunktionen liegen in der Hardware-Einsparung, die um so größer ist, je mehr verschiedene Systeme in dem Software Radio integriert werden sollen, und in der hohen Flexibilität der Luftschnittstelle, die somit auch sehr schnell rekonfiguriert werden kann. Es kann gezeigt werden, dass mit einem entsprechend parametrisierten Aufbau von UTRA die meisten für GSM oder DECT benötigten Funktionen bereits enthalten sind. Da jedes zukünftige UTRA-Mobilfunkgerät ein nahtloses System-Handover zu GSM beherrschen muss, wird dies als Beispiel für ein Handover zwischen verschiedenen Mobilfunkssystemen gewählt und gezeigt, welche Basisbandfunktionen hierfür durchzuführen sind und wie schnell die Rekonfiguration der Funktionsblöcke erfolgen muss.

## 1 Heutige und zukünftige Mobilfunkssysteme

Nachdem die analogen Mobilfunkssysteme der ersten Generation, wie zum Beispiel *Total Access Communications System* (TACS) und das C-Netz in Deutschland, Anfang der 90er Jahre in Europa von dem zellularen, digitalen System GSM abgelöst wurden, ist die Anzahl der Mobilfunkteilnehmer enorm angestiegen. Das *Global System for Mobile Communications* (GSM) hat den Mobilfunkmarkt vor allem durch das erstmalig mögliche Roaming, höhere spektrale Effizienz und damit höhere Kapazitäten vorangetrieben. Entsprechende Entwicklungen gab es auch mit den digitalen Systemen *Pacific Digital Cellular* (PDC) in Japan sowie mit den *Interim Standards* IS-54/IS-136 und IS-95 in den USA.

Gemeinsam haben diese Systeme der zweiten Generation (2G), dass deren Luftschnittstellen so festgelegt sind, dass auch unter ungünstigen Bedingungen noch eine Übertragung möglich ist. GSM ist zum Beispiel auf eine maximale Teilnehmergeschwindigkeit von 250 km/h und einem maximalen Zellendurchmesser von 35 km ausgelegt. Entsprechend bietet es nur Dienste wie Sprachübertragung und niederratige Datenübertragungen für zum Beispiel Kurznachrichten an. Die Schnurlosstandards, wie *Digital Enhanced Communications System* (DECT) in Europa, sind speziell für Übertragungen innerhalb von Gebäuden bzw. sehr kleinen Zellen mit geringen Teilnehmergeschwindigkeiten und damit geringen Störungen ausgelegt. Die Beschränkung des Systems auf bestimmte Szenarien und die Ausrichtung auf die daraus resultierenden schlechtesten Übertragungsbedingungen beschränkt die Flexibilität und Kapazität dieser Systeme jedoch erheblich.

In den letzten Jahren unterliegen Multimedia Anwendungen über das Festnetz wie Internet, E-Mail, Video-Konferenzen usw. ebenfalls einem starken Wachstum. Daher werden seit Anfang der 90er Jahre Mobilfunksysteme, die hochratige Datenübertragung für Multimedia-Dienste ermöglichen, unter dem Namen *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS) entwickelt. Die *International Telecommunications Union* (ITU) legte FDD- und TDD-Frequenzbänder für Systeme der dritten Generation (zusammengefasst unter dem Namen *International Mobile Telecommunications-2000* (IMT-2000)) fest, die weltweit benutzt werden können und daher ein globales Roaming begünstigen. Bei FDD (frequency division duplex) sind Up- und Downlink über die Frequenz getrennt, bei TDD (time division duplex) über die Zeit. TDD ist insbesondere bei bezüglich der Datenrate asymmetrischen Verbindungen sinnvoll. Ein typischer Anwendungsfall einer Verbindung mit asymmetrischen Datenraten ist das Internetsurfen. Der Anwender überträgt einige wenige Bytes, die für das Anfordern einer Web-Seite genügen, und empfängt daraufhin im Extremfall einige Megabytes Daten.

In Europa wurde Anfang 1998 die Entscheidung über die grundsätzlichen Übertragungstechniken für das terrestrische UMTS (UTRA) gefällt. Die UTRA-Luftschnittstellen UTRA-FDD und UTRA-TDD sind inzwischen auch in das IMT-2000 eingegangen. Aus den insgesamt 10 Vorschlägen aus verschiedenen Ländern wurden 5 Modi für die terrestrische Übertragung von IMT-2000 gebildet: Direct Spread (UTRA-FDD), Multi Carrier (cdma2000), Time Code (UTRA-TDD), Single Carrier (UWC-136) und Frequency Time (DECT) [ITU99, ZAB99]. Hierbei bauen cdma2000, UWC-136 (*Universal Wireless Communications 136*) und DECT jeweils auf schon bestehende Systeme der zweiten Generation wie IS-95, IS-136 und (dem heutigen) DECT auf. Lediglich UTRA-FDD und UTRA-TDD stellen komplett neue Luftschnittstellen dar und haben nur geringfügige Gemeinsamkeiten mit dem 2G System GSM. Mit der Inbetriebnahme der ersten UMTS- bzw. IMT-2000-Netze wird ca. 2002/2003 gerechnet. Die zukünftigen Systeme werden ein breites Angebot an Diensten in vielen verschiedenen Übertragungsumgebungen ermöglichen. Wichtig ist, dass diese Dienste außerdem unterschiedliche Anforderungen an Bitfehler-raten, Verzögerungszeiten und Arten des Datenflusses (paket- oder verbindungsorientiert, symmetrisch oder asymmetrisch) aufweisen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang eine Vorgabe der europäischen Standardisierungsorganisation *European Telecommunications Standardization Institute* (ETSI), die besagt, dass zukünftige UMTS-Geräte sowohl UMTS als auch GSM beherrschen müssen.

Dies ist vor allem deswegen sinnvoll, da UMTS-Netze eher eine Ergänzung der heutigen Netze darstellen und die mit hohem Investitionsaufwand aufgebauten GSM-Netze nicht auf einen Schlag verdrängen werden. Es ist davon auszugehen, dass UMTS-Netze zunächst nicht flächendeckend sondern in kleineren, einzeln verstreuten Gebieten mit besonders hohem Bedarf an der Übertragungen von hohen Datenraten aufgebaut werden. Verlässt ein Teilnehmer die UMTS-Abdeckung, so soll ein System-Handover zu GSM möglich sein.

Das Ziel einer gemeinsamen weltweiten Luftschnittstelle konnte mit der Einführung fünf verschiedener Modi nicht erreicht werden. Weder wird jede der 2G- noch jede der IMT-2000-Luftschnittstellen überall auf der Welt von allen Netzbetreibern angeboten werden. Trotzdem wäre ein globales Roaming möglich, wenn wenigstens die Mobilfunkgeräte alle diese Übertragungstechniken beherrschen und sich damit überall in ein bestehendes Mobilfunknetz einwählen könnten. Die Vision für zukünftige Mobilfunktechnik ist, dass dem Kunden mit Hilfe eines einzigen Mobilfunkgerätes jederzeit, an jedem Ort jeder Service, von Sprach- bis Video- oder Internetdaten-Übertragung, zur Verfügung steht.

## 2 Software Radios

Aufgrund der im vorigen Abschnitt geschilderten Entwicklungen im Mobilfunkbereich wird es bald nicht mehr ausreichen, dass ein Mobilfunkgerät nur einen einzigen Standard beherrscht. Bei den Anforderungen an einen solchen Transceiver unterscheidet man zwischen einem [Ise98]

- **Multi-Band Radio:** Das Gerät muss über einen größeren Frequenzbereich einsetzbar sein. Dieser Bereich liegt im digitalen Mobilfunk- und Schnurlostelefon-Bereich weltweit zwischen 800 MHz und 2200 MHz.
- **Multi-Mode Radio:** Verschiedene Verbindungs- und Netzprotokolle werden auf der Basis einer leistungsfähigen, softwarekonfigurierbaren digitalen Signal- und Kontroll-Prozessor-Plattform realisiert.
- **Multi-Function Radio:** Multimedia-Anwendungen (Sprach-, Daten, Fax- und Videoübertragung) werden unterstützt.

Erste Schritte in diese Richtung stellen im zivilen Bereich Dualband-Geräte dar, die eine Verbindung in D- und E-Netzen (also im 900 und 1800 MHz Bereich) aufbauen können. Um eine Verwendung sowohl in den europäischen GSM-Netzen als auch in den amerikanischen GSM-Netzen im 1900 MHz Bereich zu ermöglichen, gibt es inzwischen auch schon Triband-Geräte. Da hier die Luftschnittstelle aber außer den belegten Frequenzbändern gleich ist, ist die Flexibilität solcher Geräte recht gering. Es gibt zudem Dualmode-Geräte für DECT und GSM. Diese bestehen aus zwei einzelnen Geräten in einem Gehäuse (die so genannte „Velcro Lösung“), was bei zwei zu beherrschenden Standards eine akzeptable Lösung darstellt. Im Fall eines 3G Gerätes, das sehr viele verschiedene Luftschnittstellen beinhalten muss, wäre eine solche (pragmatische) Lösung aber aufgrund der Größe und des Energieverbrauchs unakzeptabel.

Eine elegantere Lösung stellt daher ein Software Radio dar, das 1992 von Mitola allgemein wie folgt definiert wurde [MI92, Mit95]:

- Die Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandler (A/D- und D/A-Wandler) liegen so nah an der Antenne wie möglich.
- Verschiedene Standards werden durch Software auf derselben Hardware verarbeitet.
- Die Transceiver Funktionen werden als Software-Module auf digitalen Prozessoren wie Digitale Signal Prozessoren (DSPs) oder Field Programmable Gate Arrays (FPGAs) implementiert und durchgeführt.

Die Transceiver Funktionen sind somit flexibel und rekonfigurierbar. Diese Flexibilität hat nicht nur den Vorteil des globalen Roamings, sondern bietet auch die Möglichkeit einer Anpassung an neue Standards und Entwicklungen der Übertragungstechnik: Für die Netzbetreiber wird die Erweiterung von Standards wesentlich einfacher, da sich die im Einsatz befindlichen Software Radios umprogrammieren lassen. Damit wäre zum Beispiel die Einführung des Half-Rate Codecs in den GSM-Netzen wesentlich vereinfacht worden. Auch eine Fehlerkorrektur in der Software ist so möglich. Weiterhin macht ein Software Radio die Anpassung der Luftschnittstelle an die jeweilige Übertragungssituation und an den gewünschten Service leicht: Das Software Radio kann sich aus den angebotenen Netzen die geeignetste und günstigste Übertragung aussuchen.

### 3 Rekonfiguration eines Software Radios

Es gibt verschiedene Ansätze für die Rekonfiguration eines Software Radios [Bur00, ES98, CH99, SRAB00, Per99]. Sehr ineffizient ist die Implementierung der einzelnen Systeme parallel, z.B. auf mehreren DSPs. Denkbar ist zum Beispiel das Laden neuer Software (Software-Download) über Funk oder über Smartcards. Das Laden über Funk hat den Vorteil, dass es relativ unabhängig vom Benutzer geschehen kann. Es hat aber auch folgende Nachteile: Es muss für diese Übertragung eine einheitliche Luftschnittstelle (in [Tut99] network access and connectivity channel (NACCH) genannt) definiert werden, die überall in jedem Netz zum Software-Download verwendet wird, da erst nach dem Herunterladen die spezielle Luftschnittstelle des Mobilfunknetzes verwendet werden kann. Fehlerfreiheit kann bei der Funkübertragung auch bei einer sehr aufwendigen Kanalcodierung und Fehlerkorrektur im Empfänger nicht garantiert werden, sondern höchstens durch mehrmalige teilweise Übertragung (also durch Automatic Repeat Request (ARQ) verbunden mit einer sehr starken Kanalcodierung zur Fehlererkennung). Dies führt natürlich zu erheblichen Verzögerungen, so dass das Laden der stark kanalcodierten Software relativ lange dauert. Das schnelle Wechseln der Luftschnittstelle, z.B. für ein nahtloses Systemhandover, wie es zwischen GSM und UMTS verlangt wird, ist so nicht möglich. Im Falle der Smartcards, welche eine Erweiterung der Subscriber Identification Module-Karten (SIM-Karten) darstellen, die in heutigen Mobilfunksystemen unter anderem zur Teilnehmeridentifizierung verwendet werden, müssen diese einen großen Speicher für die zu ladende Software enthalten. Das Verwenden einer Smartcard verhindert zwar, dass Fehler

beim Software-Download entstehen und dass, wie beim Download durch Funkübertragung, wertvolle Frequenzressourcen belegt werden, ist aber auch nicht schnell genug für ein System Handover. Der Kunde muss außerdem eigenhändig die Luftschnittstelle durch das Laden der zugehörigen Smartcard auswählen. Der Software-Download ist daher eher für militärische Anwendungen geeignet, bei der vor einem Einsatz eine Software geladen wird und kein Systemhandover notwendig ist.

Es gibt drei verschiedene Möglichkeiten, ein Software Radio zu entwickeln [Bur00]:

- 1.) Es wird eine einzige Hardware Plattform standardisiert, für die eine entsprechende Software entwickelt wird. Es gibt dann nur noch einen Programmcode für einen Standard, der auf jedem Gerät lauffähig ist. Software-Download ist damit sehr einfach. Nachteilig ist hier, dass Gerätehersteller ihre eigenen Algorithmen- und Hardware-Entwicklungen nur noch schwer einbringen können.
- 2.) Ein Compiler erzeugt aus einem generischen Code (z.B. in Java) einen lauffähigen Programmcode für eine spezielle Hardware. Damit ist es möglich über Software-Download von generischem Programmcode, diesen auf verschiedenen Plattformen zu implementieren. Hier kann zwar jeder Gerätehersteller seine eigene Hardware Plattform entwickeln und einsetzen, verschiedene Algorithmen, die empfängerseitig in Standards nicht festgelegt sind, können aber auch hier nicht eingebracht werden. Außerdem ist ein DSP-Code, der durch Compilierung eines Codes in einer höheren Sprache erzeugt wurde, immer um einiges ineffizienter als direkt programmierter, „von Hand optimierter“ DSP-Code. Gerade bei Echtzeitfunktionen kann diese Vorgehensweise eine enorm hohe Rechenleistung bedeuten, der bei einer auf die Hardware angepassten Software weitaus geringer ausfallen würde.
- 3.) Jeder Gerätehersteller entwickelt eine spezielle Software für eine spezielle Hardware Plattform. Damit bleibt der Wettbewerb zwischen den Geräteherstellern erhalten, was vor allem bei zivilen Anwendungen, bei denen der Wettbewerb verschiedener Hersteller eine größere Rolle spielt, von Vorteil ist. Man umgeht somit auch das Problem, dass bei jedem Luftschnittstellenwechsel ein Software-Download durchgeführt werden muss, System-Handover sind also möglich. Ein Software-Download wird hier nur für Fehlerbehebungen und zum Updaten von Standards verwendet und kann z.B. von den Geräteherstellern durchgeführt werden. Diese Lösung ist aus den genannten Gründen vorzuziehen. Effizient wird diese Implementierung aber erst, wenn die Software gemeinsam für verschiedene Systeme verwendet werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde entsprechend Lösung 3.) eine Software für die Basisbandverarbeitung entwickelt, bei der die einzelnen Module parametrisiert aufgebaut und diese damit für verschiedene Standards verwendbar sind. Die Software wurde unter Benutzung des Simulationstools COSSAP (Communication System Simulation and Analysis Package) erstellt. Die Standards können somit durch verschiedene Parameterlisten und dieselbe Software realisiert werden. Dieser Ansatz hat zunächst den Vorteil, dass das Software Radio zu Anfang einfach die entsprechenden Frequenzbereiche nach Broadcast Kanälen abhören kann, um das vorhandene Angebot der Netzanbieter herauszufinden. Ein Software-Download ist also beim Einwählen in ein anderes System nicht notwendig. Da das Wech-

seln der Luftschnittstelle nur ein Verändern der Trägerfrequenz und der Parameter der Basisbandverarbeitung bedeutet und damit sehr schnell durchführbar ist, ist auch ein Systemhandover mit diesem Ansatz möglich. In Bild 1 ist ein Software Radio dargestellt. Es unterscheidet sich von einem gewöhnlichen Transceiver durch die parametergesteuerte flexible Funktionalität der einzelnen Module wie Kanalencodierung oder Modulation.

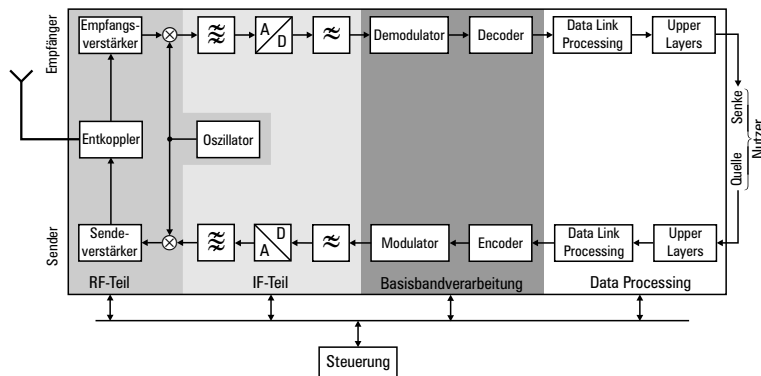


Abbildung 1: Funktionseinheiten eines Software Radios

Da hier die Software fest installiert ist und nur Parameter geändert werden können, ist die Flexibilität natürlich eingeschränkt. Bei einer guten Strukturierung der Software Module ist aber eine Erweiterung zu Systemen späterer Generation bis zu einem gewissen Grad möglich. Durch die genaue Analyse der einzubindenden Systeme lässt sich außerdem die benötigte Hardware genau abschätzen, was bei einem Software Radio mit Download-Lösung von vorneherein nicht möglich ist. Durch die Verwendbarkeit von Empfangs- und Sendefunktionen wie Kanalcodierung und Modulation, lässt sich der Hardware-Aufwand erheblich reduzieren gegenüber der schon erwähnten Velcro-Lösung, die eine parallele Implementierung der Standards beinhaltet. Neben dem Beweis, dass eine Hardware-reduzierende, gemeinsame Software-Implementierung verschiedener Standards möglich ist, wird in dieser Arbeit auch aufgezeigt, dass es ausreicht, immer nur einen Standard zu einer Zeit empfangen zu können, auch wenn ein nahtloses Systemhandover durchgeführt werden soll. Nicht nur eine gemeinsame Software für die Basisbandverarbeitung, auch ein einziges HF-Frontend für verschiedene Signal-Typen ist mit heutiger Technik schon realisierbar.

## 4 Gliederung der Arbeit

Zunächst gibt Kapitel 1 eine Einleitung und Motivation zum Thema der Dissertation. In Kapitel 2 wird eine allgemeine Definition von Software Radios gegeben und die verschiedenen Möglichkeiten der Realisierung diskutiert. Die Vor- und Nachteile der Konfiguration eines Software Radios durch Software-Download anhand von Funkübertragung oder

Smartcard werden aufgezeigt und die in dieser Arbeit verfolgte Strategie einer parametrisierten, gemeinsamen Software für verschiedene Standards vorgestellt. Um eine hohe Flexibilität mit nur einem einzigen Empfangs- und Sendezweig zu erreichen, muss in einem Software Radio die Digitalisierung möglichst nah an der Antenne durchgeführt werden. Dass ein gemeinsames Empfänger-Frontend mit einem geringen Anteil an analogen Komponenten heute schon machbar ist, wird hier gezeigt. Will man variable (und damit aufwendige) analoge Bandpassfilter vermeiden, so ergeben sich sehr hohe Anforderungen an die Auflösung und die Abtastfrequenz der A/D-Wandler. Durch Bandpassunterabtastung mit  $\Sigma\Delta$ -Wandlern können diese Anforderungen aber auch mit einem relativ niedrigen Energieverbrauch erfüllt werden. Eine geschickte Wahl der Abtastfrequenz kann wiederum die digitale Verarbeitung, wie die unmittelbar nach der A/D-Wandlung folgende Ratenanpassung, stark vereinfachen und Fehler durch Interpolationen vermeiden. Der gemeinsame HF-Empfänger legt die Grundlage für die Diskussion der gemeinsamen Basisbandverarbeitung, die in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben wird.

In Kapitel 3 werden die Luftschnittstellen der wichtigsten digitalen Schnurlos- und Mobilfunkssysteme vorgestellt. Die Analyse der Systeme ist für den Aufbau einer gemeinsamen Software unabdingbar. Die hier aufgeführten Systeme der dritten Generation cdma2000 und UTRA-FDD sind beides CDMA-Systeme und verwenden eine ähnliche Chiprate. Die Luftschnittstelle von UTRA-TDD ist der von UTRA-FDD recht ähnlich, der Hauptunterschied besteht in der zusätzlichen TDMA-Komponente bei UTRA-TDD und einer etwas anderen Burst- bzw. Slotstruktur und Modulation. In allen drei Systemen werden aber im Prinzip QPSK-Modulationen verwendet. Da das cdma2000-Systemkonzept noch starken Veränderungen unterliegt, wird im weiteren nicht darauf eingegangen. Die größten Unterschiede der Luftschnittstellen bestehen demnach zwischen 2G- und 3G-Systemen. Es gibt auch 2G-Systeme wie IS-95 und DECT, die beide zu einem 3G-System erweitert wurden. Die UTRA-FDD Luftschnittstelle wird nun im Folgenden oft als Repräsentant der 3G-Systeme und GSM als Repräsentant der 2G-Systeme verwendet, da eine gemeinsame Software für diese Systeme am schwierigsten zu finden ist. Zudem soll jedes UTRA-Mobilfunkgerät auch die GSM-Schnittstelle beherrschen, so dass in diesem Fall ein dringender Anlass besteht ein UE als Software Radio zu realisieren.

In Kapitel 4 wird das Prinzip der Turboencodierung erläutert. Die in der UTRA-Luftschnittstelle verwendeten Turboencoder bestehen aus zwei RSC-Encodern, die parallel angeordnet sind und zwischen denen ein Interleaver geschaltet ist. Es wird gezeigt, dass bei der Verwendung von RSC-Codes dieselbe Menge an Codefolgen erzeugt wird, wie bei nicht rekursiven, nicht systematischen Faltungscodes mit denselben Generatorpolynomen. Der Turboencoder besteht aus zwei MAP-Decodern zwischen denen Softdecision-Information ausgetauscht wird. Der MAP-Algorithmus und vereinfachte Varianten wie den Log-MAP- und den Max-log-MAP-Algorithmus werden genauer beschrieben. In Kapitel 6 wird gezeigt, wie dieser Algorithmus auch zur Entzerrung und Faltungsdecodierung in GSM verwendet werden kann. Es werden außerdem Vorschläge zur Parallelisierung der Berechnungen innerhalb des Max-log-MAP-Algorithmus gemacht.

In Kapitel 5 wird gezeigt, wie eine gemeinsame Kanalencodierung und eine gemeinsame Modulation durch Parametrisierung aufgebaut werden kann. Die Kanalencodierung besteht aus zyklischen Blockcodes und Faltungscodes, die RSC-Codes oder gewöhnli-

che nichtrekursive, nichtsystematische Faltungscoder sein können. Beschrieben werden die Kanalcodierungscoder durch die verwendeten Generatorpolynome, Coderaten, Eingangsblocklängen usw. Ein gemeinsames Interleavingschema kann durch Adressspeicherungen aufgebaut werden. Ein gemeinsamer Modulator wird durch die Linearisierung der GMSK erreicht. Die Linearisierung der GMSK erzeugt Fluktuationen der (bei der exakten GMSK konstanten) Einhüllenden. Doch auch für Verstärker mit nichtlinearen Kennlinien kann der von GSM vorgegebene Spektralverlauf eingehalten werden.

Basierend auf den vorherigen Kapiteln werden in Kapitel 6 gemeinsame Empfängerstrukturen für verschiedene Mobilfunksysteme erarbeitet. Hierbei werden als repräsentative Beispiele vor allem die drei Systeme DECT, GSM und UTRA-FDD genauer betrachtet. Zunächst werden verschiedene Demodulator-Funktionen für die in Kapitel 5 vorgestellten Modulationsverfahren untersucht. Es werden die kohärente und die differentielle Demodulation für GMSK und  $\pi/4$ -DQPSK bei einem AWGN-Kanal betrachtet. Unter anderem wird der Einfluss des  $BT$ -Faktors und des Modulationsindex  $h$  bei der GMSK bzw. GFSK und der differentiellen Vorcodierung, die in GSM verwendet wird, aufgezeigt. Da in Mobilfunksystemen Mehrwegeausbreitung auftritt, müssen aber auch die entsprechenden Kanalmodelle und Entzerrer-Algorithmen betrachtet werden, auf die hier ebenfalls ausführlich eingegangen wird. Wichtig ist dabei zu zeigen, dass sich durch die Verwendung gemeinsamer Algorithmen oder Strukturen keine Verluste in der Bitfehlerrate ergeben. Für die approximierte GMSK wird aufgezeigt, dass ihre Verwendung weder im DECT- noch im GSM-System eine Beeinträchtigungen der Übertragungsqualität bedeutet. Desweiteren wird gezeigt, dass die recht aufwendigen Algorithmen zur Turbo-Decodierung in UTRA bei einer entsprechend allgemeinen Implementierung auch im GSM-System verwendet werden können. Am Beispiel der Turbo-Decodierung wird aufgezeigt, dass die Implementierung des Log-MAP- bzw. des Max-log-MAP-Algorithmus dem originalen MAP-Algorithmus vorzuziehen ist, da sich dann erheblich kürzere benötigte Wortlängen der Parameter innerhalb des Algorithmus bei annähernd gleich guten Bitfehlerraten ergeben.

Abschließend wird in Kapitel 7 die mögliche Hardware-Einsparung durch die gemeinsame Nutzung der parametrisierten Basisbandfunktionen für verschiedene Mobilfunksysteme diskutiert. Abhängig davon, wieviele gemeinsame Systeme implementiert werden sollen und wie ähnlich diese Systeme sind, ergeben sich erhebliche Einsparungen. Ein weiterer Vorteil der parametrisierten Basisbandfunktionen ist, dass diese Vorgehensweise auch bei der Entwicklung und Herstellung verschiedenster Mobilfunkgeräte eine Einsparung an Arbeitsaufwand bedeutet, da allgemeine Funktionen in mehrere Geräte einfließen können. Zudem wird herausgearbeitet wie schnell die Luftschnittstelle rekonfiguriert werden muss, um nahtlose System-Handover zum Beispiel von UTRA-FDD zu GSM zu ermöglichen. Aufgrund der notwendigen Vorsynchronisationen auf in Frage kommende GSM-Basisstationen, die noch während der laufenden (UTRA-)Verbindung durchgeführt werden müssen, ergeben sich sehr kurze Zeiten für das Umschalten der Luftschnittstelle von ca.  $600 \mu\text{s}$ . Ist die Rekonfiguration in dieser Zeit nicht realisierbar, gibt es auch die Möglichkeit einen weiteren Transceiver für diese Funktionen in das Mobilfunkgerät zu integrieren, wobei dies natürlich nicht dem ursprünglichen Konzept eines Software Radios entspricht. Es ist aber auch klar, dass eine Rekonfiguration des Software Radios anhand eines Software-Download erst recht keine nahtlosen System-Handover ermöglichen.



## Literaturverzeichnis

- [Bur00] E. Buracchini. The Software Radio Concept. *IEEE Communications Magazine*, 38(9):138–143, September 2000.
- [CH99] M. Cummings and S. Heath. Mode Switching and Software Download for Software Defined Radio: The SDR Forum Approach. *IEEE Communications Magazine*, 37(8):104–106, August 1999.
- [ES98] H. Erben and K. Sabatakakis. Advanced Software Radio Architecture for 3rd Generation Mobile Systems. In *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, volume 48, pages 825–829, 1998.
- [Ise98] P. Iselt. Multi Role Radio - A Great Leap Forward in Radio Technology. *Military Technology*, pages 31–33, Mai 98.
- [ITU99] ITU. *Detailed Specifications of the Radio Interfaces of IMT2000*. Radiocommunications Study Group, September 1999.
- [MI92] J. Mitola III. Software Radios-Survey, Critical Evaluation and Future Directions. In *National Telesystems Conference*, pages 13/15 –13/23, 1992.
- [Mit95] J. Mitola. The Software Radio Architecture. *IEEE Communications Magazine*, 33(5):26–38, May 1995.
- [Per99] J.M. Pereira. Beyond Software Radio, Towards Re-configurability across the whole System and across Networks. In *Proceedings of the 50th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC99 Fall*, volume 5, pages 2815 –2818, 1999.
- [SRAB00] S. Srikanteswara, J.H. Reed, P. Athanas, and R. Boyle. A Soft Radio Architecture for Reconfigurable Platforms. *IEEE Communications Magazine*, 38(2):140–147, 2000.
- [Tut99] W. Tuttlebee. Software-Defined Radio: Facets of a Developing Technology. *IEEE Personal Communications Magazine*, 6(2):38–44, April 1999.
- [ZAB99] M. Zeng, A. Annamalai, and V.K. Bhargava. Recent Advances in Cellular Wireless Communications. *IEEE Communications Magazine*, 37(9):128–138, September 1999.

**Anne Wiesler** studierte von 1989 bis 1996 Technomathematik mit den Nebenfächern Elektrotechnik und Informatik an der Universität Karlsruhe. Sie erlangte 1996 das Diplom der Technomathematik. Am Institut für Nachrichtentechnik an der Universität Karlsruhe war sie 1996 bis 2001 wissenschaftliche Mitarbeiterin. Ihre Forschungsschwerpunkte waren digitale Mobilfunktechnik und insbesondere Software Radios für Mobilfunkssysteme der 2. und 3. Generation. Sie war während ihrer Tätigkeit an mehreren Industrie-Projekten über das Thema Software Radio beteiligt und hielt zudem Übungen und Vorlesungen. 2001 promovierte sie mit dem Thema Parametergesteuertes Software Radio für Mobilfunkssysteme zum Dr.-Ing. Seit 2002 ist sie Mitarbeiterin der Firma Quam Group 3G in München.