

UMTS ist nach GSM und GPRS der nächste Schritt in der Evolution mobiler Telekommunikationsnetzwerke. Seit GSM in den achtziger Jahren standardisiert wurde, gab es in vielen Bereichen enorme Fortschritte. Dies erlaubte es Systemdesignern, weit über die Grenzen von damals hinaus zu gehen. UMTS vereinigt die Eigenschaften eines leitungsvermittelnden Sprachnetzwerkes mit denen eines paketvermittelnden Datennetzwerkes und bietet im Vergleich zu bisherigen Technologien eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. Da UMTS auch viel von GSM und GPRS übernimmt, gibt dieses Kapitel zunächst einen Überblick über die Vorteile und Weiterentwicklungen von UMTS. Nach einem Ende zu Ende Netzwerküberblick liegt dann der Schwerpunkt des Kapitels auf der Funktionsweise des UMTS Radio Access Netzwerkes. Neue Konzepte wie Radio Resource Control, sowie Änderungen im Mobility-, Call und Session Management werden ebenfalls im Detail beschrieben.

### **3.1 Überblick, Historie und Zukunft**

Die Entwicklung im Mobilfunk verläuft mit einer zeitlichen Verschiebung von etwa 5 Jahren ähnlich wie im Festnetz. Dort ist seit dem Erscheinen der ersten Modems, die dem Internet zum Durchbruch als Massenmedium verhelfen, eine ständige Geschwindigkeitssteigerung zu beobachten. Während erste Modems Mitte der 90er Jahre noch mit Geschwindigkeiten von 14.4 kbit/s aufwarteten, bringt es die neueste Generation auf über 50 kbit/s. Einen Quantensprung vollzog das drahtgebundene Internet vor einigen Jahren mit der Massentauglichkeit von Technologien wie Kabelmodems oder ADSL. Übertragungsgeschwindigkeiten von mehreren Megabits pro Sekunde sind damit möglich. Im Mobilfunk ist die Einführung von GPRS (vgl. Kapitel 2) mit seinen paketorientierten Eigenschaften der erste Schritt hin zum mobilen Internet. Mit Datenraten im realen Betrieb von etwa 50 kbit/s erreicht diese Technologie annähernd die Geschwindigkeit von Festnetzmodems. Aufgrund der Eigenschaften der verschiedenen Schnittstellen, die bei der Entwicklung des GSM Netzwerkes

definiert wurden, ist diese Grenze mit dieser Technik nicht mehr beliebig nach oben verschiebbar. Neue Modulationsverfahren für die Luftschnittstelle wie EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) werden zwar noch für eine Geschwindigkeitssteigerung sorgen, können aber andere Nachteile des aktuellen GSM Netzwerkes bei der Datenübertragung nicht überwinden. Dazu zählt insbesondere die Zeitschlitzorientierung und die Zugriffsverfahren des GSM Netzwerkes auf die Luftschnittstelle. Dies führt bei der paketorientierten Übertragung zu längeren Verzögerungszeiten, als man dies aus dem Festnetz gewohnt ist.

Auch seit der Inbetriebnahme der ersten GSM Netzwerke Anfang der 90er Jahre hat die ständige Steigerung der Rechen- und Speicherkapazität nicht haltgemacht. Mit einer Verdoppelung der Anzahl der Transistoren pro Fläche nach dem Moore'schen Gesetz alle 18 Monate, stehen heute Prozessoren auch für den Mobilfunk mit einer vielfachen Leistung zur Verfügung, als zu den Anfängen der GSM Entwicklung. Dies ermöglicht wiederum, Übertragungsverfahren auf der Luftschnittstelle zu verwenden, die wesentlich schneller sind als Verfahren, die in GSM verwendet werden. Diese sind aber auch wesentlich komplizierter und somit rechenintensiver.

Für UMTS, dem Universal Mobile Telecommunication System, wurden diese Weiterentwicklungen konsequent genutzt. Während bei GSM die Sprachkommunikation im Vordergrund stand, wurden bei der Spezifikation von UMTS von Beginn an auch Datendienste berücksichtigt und auf die Konvergenz von Sprach- und Datendiensten hingearbeitet.

Wie in den folgenden Abschnitten gezeigt wird, ist UMTS sowohl eine Evolution, wie auch eine Revolution. Viele Komponenten im Kernnetz benötigten lediglich ein Softwareupdate für UMTS. Eine Migration zu neuen Verfahren ist dort erst in den nächsten Jahren zu erwarten. Das Zugangnetz auf der Basis der CDMA Technik für die Luftschnittstelle ist jedoch eine komplette Neuentwicklung.

### 3.1.1 Release 99: Neues Radionetzwerk

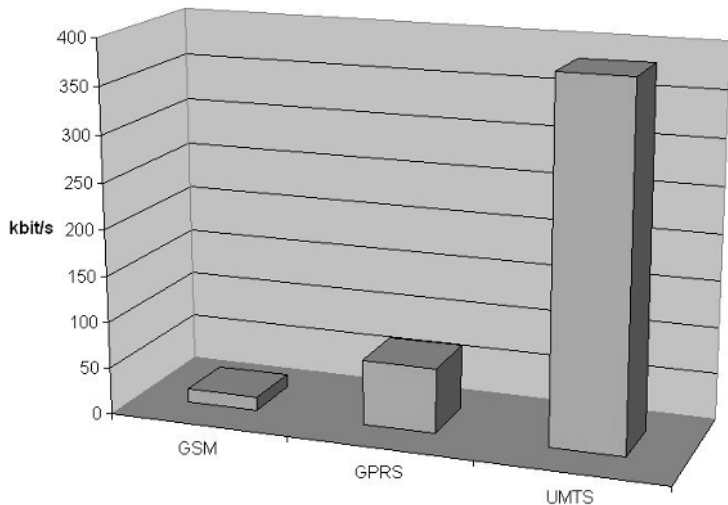
#### *UMTS Releases*

Die Schritte hin zu UMTS wurden vom Standardisierungsgremium 3GPP (3rd Generation Partnership Project) in aufeinander folgende Versionen eingeteilt, die jeweils als Release bezeichnet werden. Dabei wurde die Namensgebung während des Prozesses umgestellt, was für reichlich Verwirrung sorgte. Während am Anfang die Jahreszahl zur Identifizierung der unterschiedlichen

*Neue Technologien im Radionetzwerk*

Releases verwendet wurde, änderte man zwischenzeitlich dieses Konzept. Somit trägt die erste Release von UMTS den Namen Release 99, während die nächsten Evolutionsschritte in Release 4, Release 5, Release 6 usw. spezifiziert sind.

Release 99 enthält die Spezifikationen für die erste Stufe von UMTS. Die wesentliche Neuerung bei UMTS gegenüber GSM im ersten Schritt ist das komplett neu entwickelte Zugangnetzwerk, auch UMTS Terrestrial Radio Network (UTRAN) genannt. Das bisher verwendete Verfahren von Zeit- und Frequenzmultiplex, das bei GSM aus heutiger Sicht nur für sehr niedrige Übertragungsgeschwindigkeiten konzipiert wurde, wird durch Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) ersetzt. Bei diesem Verfahren werden weder Frequenz- noch Zeitmultiplex verwendet, die einzelnen Benutzer werden stattdessen über individuelle Codes unterschieden. Außerdem wurde die Bandbreite auf der Luftschnittstelle wesentlich erweitert. Somit steht nun auch mobil ein schneller Zugang ins Internet oder Intranet einer Firma zur Verfügung. UMTS Release 99 unterstützt Datenraten pro Benutzer von bis zu 384 kbit/s im Downlink (von Netzwerk zu Endgerät), sowie 64 – 128 kbit/s im Uplink. Unter guten Übertragungsbedingungen unterstützen neuere Versionen des Standards auch eine Datenübertragungsrate von bis zu 384 kbit/s im Uplink.



**Abb. 3.1:** Geschwindigkeitsvergleich GSM, GPRS und UMTS (Release 99)

Von GSM übernommen wurde das Konzept der Basisstationen und übergeordneten Controllern. Diese werden bei UMTS nicht mehr BTS und BSC genannt, sondern Node-B und Radio Network Controller (RNC). Außerdem wurde das Mobiltelefon von Mobile Station (MS) in User Equipment (UE) umbenannt.

Im Frequenzbereich belegt UMTS in Europa im Uplink zwölf Blöcke zu je 5 MHz im Bereich von 1920 – 1980 MHz und ist somit knapp oberhalb des Frequenzbereiches von DECT (Schnurlostelefone) angesiedelt. Im Downlink, also vom Netzwerk zum Anwender, sind für UMTS ebenfalls 12 Blöcke zu je 5 MHz im Bereich von 2110 – 2170 MHz reserviert.

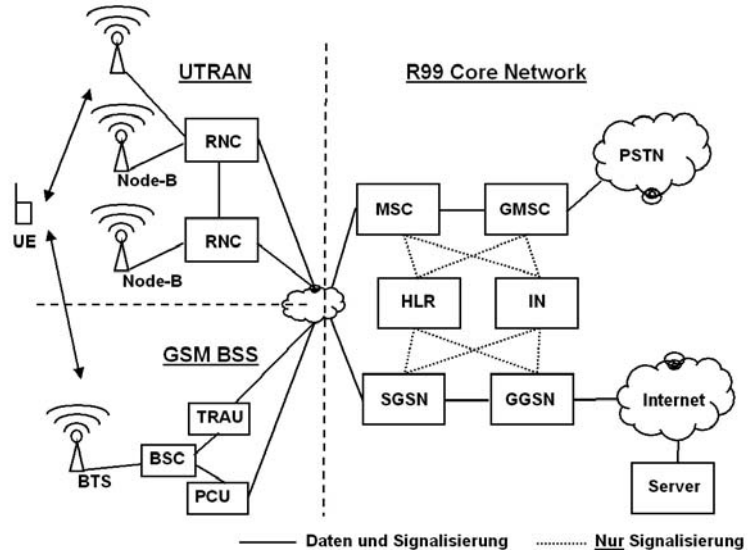
*Softwareupdate  
im Kernnetz*

Das leitungsvermittelnde Core Network ist zwar schon seit vielen Jahren in Betrieb, bildet aber eine leistungsfähige und stabile Grundlage auch für UMTS. Deshalb wurde beschlossen, hier in der ersten Phase von UMTS mit Ausnahme von Softwareerweiterungen keine wesentlichen Änderungen vorzunehmen. Die Weiterentwicklung der Sprachdienste wird in den UMTS Releases 4 und 5 spezifiziert, die jedoch erst später implementiert werden. Die Softwareerweiterungen für Release 99 beschränken sich dabei im wesentlichen auf das neue Interface Iu(cs) zum Zugangnetzwerk, das dem GSM A-Interface sehr ähnlich ist. Außerdem wurde die Software des HLR und des Authentication Centers erweitert, um UMTS spezifische Dienste zu unterstützen.

Im paketvermittelnden Kernnetz, das die Verbindung für mobile Teilnehmer zum Internet oder in ein Intranet einer Firma ermöglicht, wurde ebenfalls so verfahren. Das vorhandene GPRS Netzwerk wurde jedoch erst wenige Jahre vor dem Beginn der UMTS Standardisierung entwickelt und entspricht noch weitgehend dem Stand der Technik. Änderungen sind auch hier hauptsächlich an der Schnittstelle zum UTRAN erfolgt, das Iu(ps) Interface löst das von GPRS bekannte Gb Interface ab (vgl. Kapitel 2). Wesentliche Änderung bei dieser neuen Schnittstelle ist die Verwendung von ATM statt Frame Relay auf den unteren Protokollschichten. Außerdem werden die GTP Nutzdatenpakete nun direkt in das Zugangnetzwerk weitergereicht, statt diese wie bisher im SGSN zu verarbeiten und für den Transport über das Gb Interface in einen neuen Protokollstapel zu verpacken.

Da es in den Kernnetzen für Release 99 keine grundlegenden Änderungen gibt, kann UMTS zusammen mit einem bereits in Betrieb befindlichen GSM und GPRS Kernnetzwerk betrieben werden. Das UMTS Zugangnetzwerk wird dabei über die neu definierten Schnittstellen Iu(cs) und Iu(ps) an vorhandene MSCs

und SGSNs angeschlossen. Diese können mit angepasster Software Daten- und Sprachverbindungen mit GSM und UMTS Zugang Netzwerken herstellen. Vor allem Mobilfunkbetreiber, die schon ein GSM/GPRS Netzwerk unterhalten, haben hiervon enorme Vorteile.



**Abb. 3.2:** Gemeinsames GSM/UMTS Netzwerk, Release 99

Außerdem ermöglicht ein gemeinsames Kernnetz auch einen einfachen Übergang zwischen GSM und UMTS für den Benutzer. Dies ist vor allem in den Anfangsjahren von UMTS sehr wichtig, in denen die meisten Netzwerke nur Ballungsräume abdecken. Während eine geringe Flächenabdeckung in den Anfängen von GSM mangels großer Teilnehmerzahlen des analogen Vorläufers kein großes Problem für Netzbetreiber war, ist eine flächendeckende Versorgung für UMTS auch in den Anfangsjahren unabdingbar. Kunden, die bereits ein flächendeckendes Netz gewohnt sind, werden eine neue Mobilfunktechnologie aber erst verwenden, wenn diese auch wie GSM in gewohnter Weise nahezu überall zur Verfügung steht. Somit werden für einige Jahre so genannte Dual Mode Endgeräte, die sowohl GSM, als auch UMTS beherrschen, sehr wichtig sein. Gespräche am Rande des UMTS Versorgungsbereiches können mit diesen Endgeräten automatisch im GSM Netzwerk weitergeführt werden, ohne dass der Benutzer dies merkt. Für Datenverbindungen geschieht das

gleiche. Aufgrund der geringeren Geschwindigkeit des Datendienstes in GSM/GPRS wird der Benutzer dies jedoch sehr wohl bemerken.

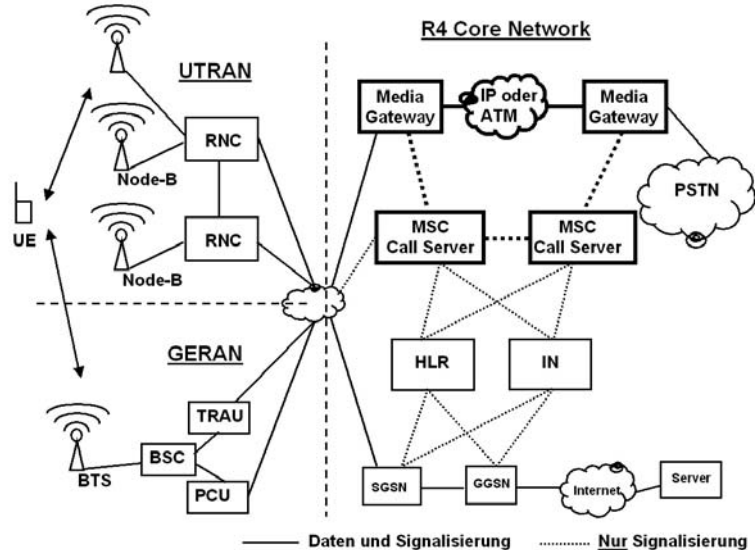
Hauptziel von UMTS Release 99 ist neben der Sprachtelefonie jedoch hauptsächlich die Einführung von schnellen Paketdatendiensten für zahlreiche neue Anwendungen. Seit das erste UMTS Netzwerk 2002 in Betrieb genommen wurde, sind Netzwerbetreiber somit in der Lage, Geschäfts- und Privatkunden einen Internetnetzzugang anzubieten, der jederzeit und überall genutzt werden kann. UMTS Release 99 ermöglicht es Netzbetreibern weiterhin, neue integrierte Dienste anzubieten wie z.B. MMS Nachrichten mit breitbandigen Audio und Video Inhalten, mobiles Fernsehen oder Java Spiele zum Download auf das Endgerät. Ein weiterer interessanter UMTS Dienst ist der Download von Musik. Mit einer Dateigröße von 1.5 MByte pro Musiktitel und 200 – 500 kByte pro Spiel ist UMTS schnell genug, einen Musiktitel in weniger als 40 Sekunden zu übertragen und ein Spiel in weniger als 10 Sekunden. Bei der richtigen Preisgestaltung sind solche Dienste sehr interessant, da Musik und Spiele auch über das DSL- oder Kabelmodem nicht gratis bezogen werden können.

### 3.1.2 UMTS Release 4: Bearer Independent Core Network

*Release 4: Bearer Independent Core Network (BICN)*

Eine große Erweiterung für den leitungsvermittelnden Sprach- und Datendienst erfolgt mit UMTS Release 4. Bis Release 99 werden leitungsvermittelte Verbindungen über E1 Verbindungen als 64 kbit/s Zeitschlitz im Core Netzwerk weitervermittelt. In UMTS Release 4 wird als wichtigste Neuerung das Bearer Independent Core Network (BICN) eingeführt. Leitungsvermittelte Dienste werden im Kernnetzwerk nun nicht mehr über 64 kbit/s Zeitschlitz, sondern in ATM oder IP Paketen übertragen. Die MSC wird hierfür in einen MSC Server für die Signalisierung und in ein Media Gateway (MGW) für die Nutzdatenverbindung aufgeteilt. Der MSC Server ist weiterhin für die Call Control- und Mobility Management Protokolle verantwortlich (vgl. Kapitel 1), während das Media Gateway sich um die Weiterleitung der Nutzdaten kümmert. Media Gateways sind auch für die Umkodierung der Nutzdaten zwischen verschiedenen Übertragungsarten zuständig. Auf diese Weise können z.B. Sprachverbindungen auf dem GSM A-Interface über E-1 Zeitschlitz zum Media Gateway transportiert werden und von dort aus weiter über eine ATM

Verbindung zu einem Media Gateway eines anderen MSC-Server. Von dort aus erfolgt dann wiederum eine Umkodierung z.B. für das UMTS Radio Access Network oder zurück in E-1 Zeitschlitz für die Weiterleitung in das öffentliche Festnetz.



**Abb. 3.3:** UMTS Release 4 (Bearer Independent Core Network)

Der Grund für die Einführung einer solchen Architektur ist der Wunsch vieler Netzbetreiber, das leitungsvermittelnde und paketvermittelnde Kernnetz zusammenzuführen. Während früher hauptsächlich leitungsvermittelnde Sprachverbindungen im Kernnetzwerk transportiert wurden, nimmt der Anteil der paketorientierten Datenverbindungen ständig zu. Von der Übertragung von Sprach- und Datendiensten über eine gemeinsame Netzwerkarchitektur erhofft man sich deutliche Kostenvorteile auf der Weiterkehrsebene.

### 3.1.3

#### UMTS Release 5: Einführung des IP Multimedia Subsystems

*Release 5 und 6:  
All IP Network*

Während BICN in Release 4 ein erster Schritt hin zu einem gemeinsamen Sprach- und Datennetzwerk ist, wird mit UMTS Release 5 ein weiterer großer Schritt in Richtung All-IP Netzwerk gemacht. Mit Release 5 können Sprachverbindungen nicht mehr nur im Kernnetz über IP transportiert werden, sondern auch von Ende zu Ende, also von Endgerät zu Endgerät. Die leitungsvermittelnde MSC und die Iu(cs) Schnittstelle werden für eine Release 5 Verbindung nicht mehr benötigt. An Stelle des MSC tritt

das IP Multimedia Subsystem (IMS), mit dem ein Endgerät, wie in Abbildung 3.5 gezeigt, über den SGSN und GGSN kommuniziert. Kern des IMS ist die Call Session Control Function (CSCF), die Signalisierungsinformationen (z.B. für den Rufaufbau) zwischen den Teilnehmern vermittelt. Die eigentlichen Datenpakete für IMS Dienste wie z.B. Sprach- und Videotelefonie, Push to Talk Gruppenrufe und Messaging werden nach der Vermittlung durch die CSCF dann aber direkt zwischen den Teilnehmern ausgetauscht. Die CSCF ist grundsätzlich eine SIP (Session Initiation Protocol) Architektur die ursprünglich aus der Festnetzwelt stammt und dort schon heute für Voice over IP Telefonie sehr verbreitet ist. Mit der CSCF wurde dieser Standard konsequent weiterentwickelt und neue Funktionalitäten hinzugefügt, die für ein Mobilfunknetzwerk notwendig sind. Auf diese Weise ermöglicht die Release 5 Architektur, Sprachanrufe nicht nur im Kernnetz per IP zu transportieren, sondern erstmals auch von Ende zu Ende, d.h. zwischen zwei Mobiltelefonen. Die Media Gateway Control Function (MGCF) ist dabei nur dann nötig, wenn eine Verbindung in ein leitungsvermittelndes Netz, wie z.B. das Festnetz hergestellt werden soll.

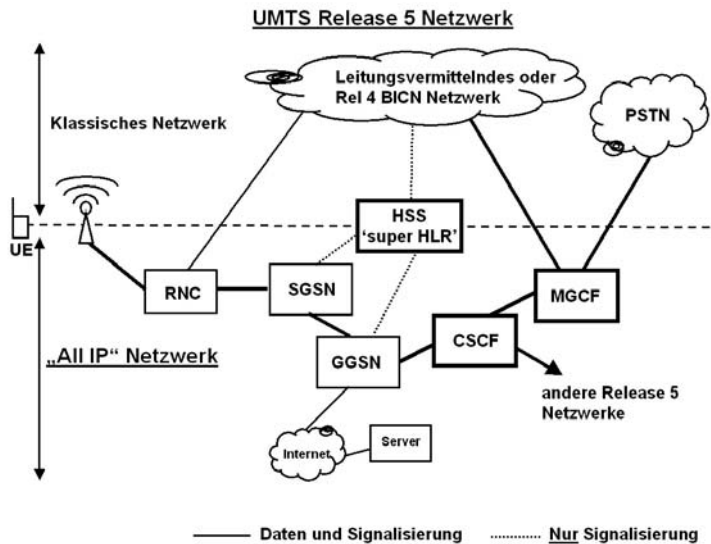
Mit dem UMTS Radionetzwerk rückt eine gänzlich auf IP basierte mobile Sprach- und Videotelefoniearchitektur zum ersten Mal in greifbare Nähe. Bisher wurde bei GPRS die Mobilität der paketvermittelten Datenübertragung, also der Wechsel von einer Funkzelle zur nächsten, vom Mobiltelefon gesteuert. Dadurch entsteht beim Zellwechsel eine Unterbrechung der Datenübertragung von etwa zwei bis drei Sekunden. Dies ist für eine Sprach- oder Videoverbindung völlig inakzeptabel. Bei UMTS werden nun auch paketvermittelte Verbindungen auf der Luftschnittstelle vom Netzwerk kontrolliert. Dies sorgt für eine unterbrechungsfreie Datenübertragung auch während eines Zellwechsels. Ein Problem für die Sprachübertragung über IP ist weiterhin das Datenvolumen. Dies ist über IP sehr viel höher, als bei der klassischen Leitungsvermittlung. Da die Verzögerung möglichst gering sein muss, befinden sich pro IP Paket nur sehr wenige Nutzdaten in einem Datenpaket. Dies wiederum bedeutet, dass der Overhead pro IP Paket für den IP Header über 50 % beträgt. Leitungsvermittelte Verbindungen hingegen kommen gänzlich ohne Header Information aus und werden auch auf der UMTS Luftschnittstelle sehr effizient übertragen. Ein solcher Overhead spielt in drahtgebundenen Netzen zwar eine nicht zu vernachlässigende, aber aufgrund der möglichen Kapazitäten dennoch nicht entscheidende Rolle. Auf der Luftschnittstelle ist jedoch



eine Verdoppelung der benötigten Bandbreite für eine Sprachverbindung ganz und gar nicht vernachlässigbar. Da die gesamte Bandbreite auf der Luftschnittstelle auch bei UMTS weiterhin sehr begrenzt ist, bedeutet dies de facto eine Halbierung der möglichen Gespräche pro Zelle.

*Leitungsvermittelte- und paketvermittelte Videotelefonie*

Für Videotelefonie fällt der zusätzliche Bandbreitenbedarf für eine Ende zu Ende IP Verbindung etwas moderater aus. Aufgrund des sowieso erhöhten Bandbreitenbedarfs für das Videobild zusätzlich zum Sprachkanal, kann bei geschickter Übertragung der Anteil der Headerdaten am gesamten Übertragungsvolumen reduziert werden. Eine Anmerkung an dieser Stelle: Videotelefonie, die seit dem Start von UMTS in Release 99 Netzen angeboten wird, basiert nicht auf IP, sondern auf einem 64 kbit/s leitungsvermittelten Kanal, der über die MSC zwischen zwei Endgeräten geschaltet wird. Dieser Dienst ist erstmals mit UMTS möglich, da im klassischen GSM Netzwerk nur 9.6 oder 14.4 kbit/s Kanäle zur Verfügung stehen.



**Abb 3.4:** UMTS Release 5 Architektur

*Unterschiedliche Sprachtelefonievarianten sind kompatibel*

Trotz Evolution der Sprachtelefonie muss sichergestellt werden, dass jeder Teilnehmer mit jedem anderen Teilnehmer unabhängig von der verwendeten Evolutionsstufe kommunizieren kann. Dies wird durch Media Gateways, wie in Abbildung 3.4 und 3.5

gezeigt, erreicht. Diese konvertieren jeweils die unterschiedlichen Formate. Ein Netzwerk kann also nach und nach bestehende MSCs durch MSC-Server und Media Gateways ersetzen oder gleich zu einem Release 5 Netzwerk mit IMS Architektur übergehen. Aufgrund des radikal neuen Ansatzes der IMS Architektur ist anzunehmen, dass in der Praxis in den meisten Netzwerken über viele Jahre hinweg eine Mischform aus klassischen MSCs, Call Servern und Release 5 IMS Systemen verwendet werden wird.

Da das IMS als universelle Kommunikationsplattform konzipiert wurde, ermöglicht das System neben Sprach- und Videotelefonie noch eine große Anzahl an weiteren Diensten. Aufgrund der bereits erwähnten Herausforderungen für IP basierte Telefonie in Mobilfunknetzwerken ist zu erwarten, dass bei der Einführung des IMS in 2006 zunächst andere Anwendungen dominieren werden. Push to Talk (PTT) für Walkie-Talkie ähnliche Gruppenkommunikation ist sicher eine dieser Anwendungen. Durch Verwendung einer standardisierten Plattform für diesen Dienst ist es möglich, dass sich eine Gruppe aus Teilnehmern aus unterschiedlichen Mobilfunknetzwerken zusammensetzen kann, da standardisierte PTT Systeme untereinander kompatibel sind. Andere interessante IMS Dienste sind wie schon erwähnt Mobile Messaging und Mobile Presence wie sie heute schon von Yahoo oder dem Microsoft Messenger im Festnetz angeboten werden. Ausserdem ist es mit dem IMS System möglich, Videoinhalte oder mobiles Fernsehen auf einer standardisierten Plattform und somit kostengünstiger als mit proprietären Lösungen anzubieten. Weiterhin erwähnenswert ist IMS als Kommunikations- und Signalisierungsplattform für verteilte Anwendungen wie z.B. Multi-Player Spiele.

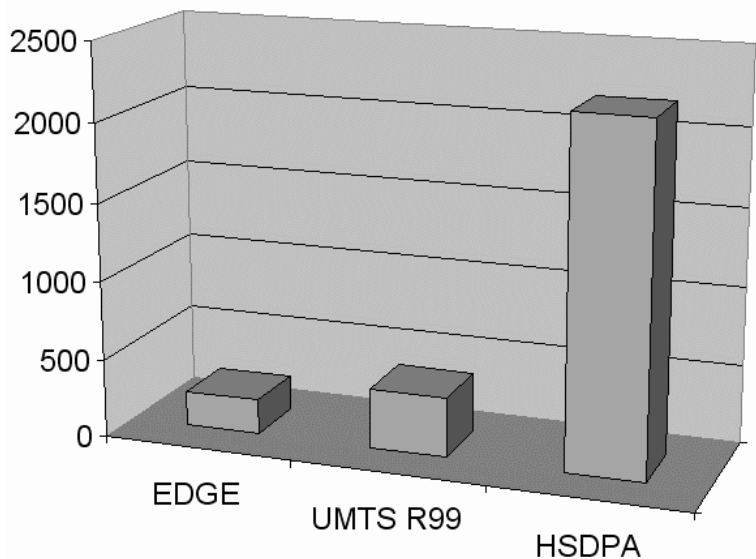
### 3.1.4

#### **UMTS Release 5: High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)**

*Release 5 und 6:  
HSDPA im Radionetzwerk*

Mit UMTS Release 5 und 6 wurde im Radio Netzwerk ein neues Übertragungsverfahren namens High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) eingeführt. Während die maximale Übertragungsgeschwindigkeit von Release 99 bei maximal 384 kbit/s liegt, ermöglicht HSDPA eine theoretische Datenrate von bis zu 14 MBit/s pro Teilnehmer. In der Praxis werden heute mit aktuellen Endgeräten etwa 2 - 3 Mbit/s bei guten Übertragungsbedingungen und nur wenigen Nutzern pro Zelle erreicht. Selbst bei nicht optimalen Empfangsbedingungen am Ort des Teilnehmers und vielen gleichzeitigen Nutzern pro Zelle können noch immer Geschwindigkeiten von 800 kbit/s pro Nutzer erreicht werden.

Mobilfunkbetreiber können somit Anwendern einen noch schnelleren Internetzugang bieten und treten somit in direkte Konkurrenz zu anderen Technologien wie DSL, Kabelmodems und WiMAX. Manche Netzanbieter gehen nun auch dazu über, Ihren Kunden einen schnellen mobilen Internetzugang für unterwegs kombiniert mit einem DSL oder Kabelzugang für zuhause anzubieten und erschließen sich somit neue Kundengruppen. Viele Netzbetreiber berichten, dass mit der Einführung von HSDPA und interessanten Preisstrukturen für den Endkunden das Datenaufkommen im Mobilfunknetzwerk rasant steigt. Die Anzahl der benötigten Basisstationen ändert sich jedoch zur Zeit nur unwesentlich, da noch genug Kapazität auf der Luftschnittstelle vorhanden ist. Somit besteht die Hauptinvestition im Ausbau der Kapazität der Verbindungen zu den Basisstationen. Die meisten 3G Netzbetreiber zeigten großes Interesse an dieser Technik and haben HSDPA schon kurz nach Erscheinen in ihre Netze integriert. Somit gibt es heute nur noch wenige 3G Netze ohne HSDPA Erweiterung.



**Abbildung 3.5:** Geschwindigkeitsvergleich EDGE, UMTS (Release 99) und HSDPA in der Praxis in kbit/s

### 3.1.5 UMTS Release 6: High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

Auch mit HSDPA bleiben die maximal möglichen Datenraten im Uplink, also vom Endgerät zum Netzwerk auf 384 kbit/s begrenzt, in manchen Netzen oder bei schlechten Übertragungsbedingungen auch nur auf 64 oder 128 kbit/s. Mit Einführung von HSUPA, dem High Speed Packet Uplink Access mit Release 6 und 7 erfährt auch dieser Teil des Systems eine deutliche Geschwindigkeitssteigerung. Geplante Datenraten im Uplink erreichen dann Werte von 480 kbit/s bis zu fast 6 MBit/s, wobei auch hier die Obergrenze ein recht theoretischer Wert ist.

## 3.2 Wichtige neue Konzepte in UMTS Release 99

Wie im vorhergehenden Abschnitt beschrieben, bringt das UMTS Netzwerk einerseits viele Neuerungen im Vergleich zum bestehenden GSM und GPRS Netzwerk. Andererseits werden aber auch viele Eigenschaften, Verfahren und Methoden von GSM und GPRS beibehalten, die in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben wurden. Aus diesem Grund werden nachfolgend im Wesentlichen nur die Neuerungen und Änderungen von UMTS zu seinen Vorgängern beschrieben. Um dabei jedoch auch den Ende zu Ende Überblick zu behalten, erfolgt bei Abläufen und Verfahren, die in UMTS beibehalten wurden, jeweils ein Verweis zu den entsprechenden Abschnitten in Kapitel 1 und 2.

### 3.2.1 Der Radio Access Bearer (RAB)

Ein wichtiges Konzept in UMTS ist der Radio Access Bearer (RAB, Radioübertragungskanal). Dieser wird eingeteilt in den Radio Bearer auf der Luftschnittstelle und den Iu Bearer im Radionetzwerk (UTRAN). Bevor Daten von oder zu einem Teilnehmer übertragen werden können, ist es notwendig, einen RAB aufzubauen. Über diesen Kanal werden dann die Nutz- und Signalisierungsdaten übertragen. Aufgebaut wird ein RAB im UTRAN auf Anforderung der MSC, bzw. des SGSN. Im Unterschied zur bisherigen Sichtweise in GSM werden aber keine genauen Angaben zur Beschaffenheit des RABs gemacht, sondern es werden nur die gewünschten Eigenschaften des RABs beschrieben. Wie diese Eigenschaften dann in eine physikalische Verbindung umgesetzt werden, bleibt dem UTRAN überlassen. Gewünschte Eigenschaften die dem UTRAN für einen RAB übergeben werden sind zum Beispiel:

- Service Klasse (Service Class Conversational, Streaming, Interactive oder Background)
- Maximale Geschwindigkeit (Maximum Speed)
- Zugesicherte Geschwindigkeit (Guaranteed Speed)
- Verzögerung (Delay)
- Fehlerwahrscheinlichkeit (Error Probability)

Das UTRAN ist dann dafür zuständig, für die gewählte Kombination dieser Eigenschaften einen entsprechenden Radioübertragungskanal (RAB) bereitzustellen. Dabei spielt nicht nur die Bandbreite des Kanals eine Rolle. Ebenso wichtig ist auch das Kodierungsverfahren, Auswahl eines logischen und physikalischen Übertragungskanals, sowie auch das Verhalten bei Auftreten von fehlerhaften Datenpaketen auf den einzelnen physikalischen Schichten des Protokollstapels. Bei der Wahl dieser Eigenschaften ist das UTRAN frei, die Standards geben hierzu nur Beispiele. Für eine Sprachübertragung (Service Class „Conversational“) ist es zum Beispiel wenig sinnvoll, falsch übertragene Datenblöcke zu einem späteren Zeitpunkt zu wiederholen. Im Falle der Service Class „Interactive“, die zum Beispiel für die Übertragung von Web Seiten verwendet wird, ist dies jedoch im Gegenteil sehr wünschenswert.

### 3.2.2 Aufteilung in Access Stratum und Non-Access Stratum

In UMTS wird in den Standards eine klare Unterscheidung zwischen Funktionalitäten in der Access Stratum (AS) und der Non-Access Stratum (NAS) gemacht:

#### *Access Stratum*

Die Access Stratum beinhaltet alle Funktionalitäten, die direkt mit dem Radio Netzwerk und der Kontrolle einer aktiven Verbindung eines Teilnehmers mit dem Radio Netzwerk zusammenhängen. So ist z.B. die Handoverkontrolle, die im UTRAN durch den RNC durchgeführt wird, ein Teil der Access Stratum.

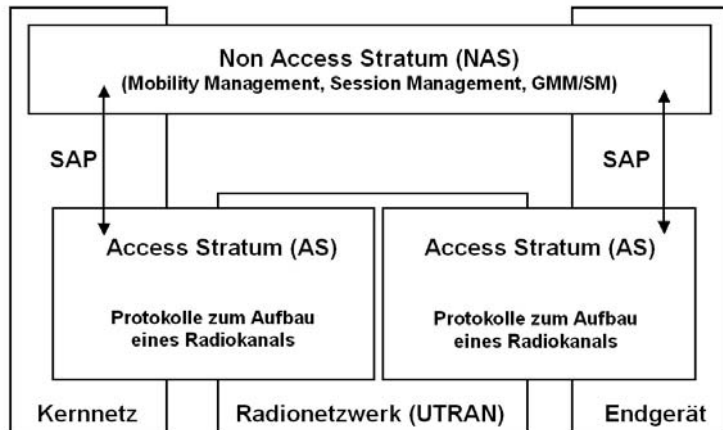
#### *Non Access Stratum*

Zur Non Access Stratum (NAS) werden alle Funktionalitäten und Protokolle gezählt, die direkt zwischen dem mobilen Endgerät (User Equipment, UE) und dem Kernnetz ausgetauscht werden. Diese haben keinen direkten Einfluss auf die Eigenschaften eines bestehenden Übertragungskanals und dessen Aufrechterhaltung. Hierzu zählen insbesondere die Call Control, Mobility Management, Session Management und Supplementary Services Protokolle (z.B. SMS) von MSC und SGSN.

### Service Access Points

Die Protokolle der Non Access Stratum (NAS) haben keinen direkten Einfluss auf einen bestehenden Übertragungskanal. Um einen RAB aufzubauen, abzubauen oder zu modifizieren, ist es jedoch nötig, dass Protokolle der NAS mit der Access Stratum kommunizieren. Dies ist z.B. beim Call Control Protokoll der Fall, das den Auf- oder Abbau eines physikalischen RABs von der Access Stratum anfordert. Diese Art von Operationen erfolgt durch einen der drei definierten logischen Service Access Points (SAPs):

- Notification SAP (Nt, z.B. Paging)
- Dedicated Control SAP (DC, z.B. RAB Setup)
- General Control SAP (GC, Modification of Broadcast Messages, optional)



**Abb. 3.6:** Aufteilung der Protokolle zwischen Kernnetz und Radionetzwerk in Access Stratum (AS) und Non-Access Stratum (NAS)

### 3.2.3

#### Gemeinsames Übertragungsprotokoll für CS und PS

In GSM werden auf Grund der Historie Daten über drei unterschiedliche Protokolle über die Luftschnittstelle übertragen. Eine der wichtigsten Aufgaben dieser Protokolle ist, die Daten in kleinere Datenpakete aufzuteilen, die dann übertragen werden. Diese Protokolle sind in Kapitel 1 (GSM) und 2 (GPRS) beschrieben. Hier noch einmal ein kurzer Überblick:

- Leitungsvermittelte Sprachdaten (circuit switched, cs): Die TRAU wandelt die PCM kodierte Sprachdaten für das Zugangsnetz in Full Rate, Enhanced Full Rate oder Half Rate um und sendet diese transparent durch das Zugangsnetz. Die BTS fügt lediglich noch die Kanalkodierung hinzu.
- Signalisierungsdaten (leitungsvermittelnd, sowie teilweise GPRS Channel Requests und Paging): Diese werden per LAPD übertragen, das schon aus der ISDN Welt bekannt ist und für GSM modifiziert wurde.
- Paketvermittelte Userdaten (packet switched, ps) und Signalisierung für GPRS: Die bei der Leitungsvermittlung noch getrennte Übertragung dieser zwei Datentypen wurde bei GPRS in das RLC/MAC Protokoll konvergiert.

In UMTS werden all diese Aufgaben im Radio Link Control / Medium Access Control (RLC/MAC) Protokoll zusammengefasst. Die Namensgleichheit zum entsprechenden GPRS Protokoll kommt nicht von ungefähr. Beide Protokolle arbeiten sehr ähnlich im Bereich der Aufteilung von großen Datenblöcken in kleinere, die dann über die Luftschnittstelle übertragen werden. Aufgrund der anderen Übertragungsweise der Daten über die UMTS Luftschnittstelle gibt es aber auch große Unterschiede, wie der nächste Abschnitt zeigt.

### 3.3 Code Division Multiple Access (CDMA)

Um die Vorteile des neuen UMTS Zugangsnetzes gegenüber seinen Vorgängern besser einschätzen zu können, folgt hier nochmals ein kurzer Überblick über die Funktionsweise des GSM/GPRS Zugangsnetzwerkes und seinen Einschränkungen: Bei GSM werden Daten für unterschiedliche Teilnehmer, wie in Kapitel 1 beschrieben, in einem Mix aus Frequenz- und Zeitmultiplex übertragen. Ein Teilnehmer erhält dabei einen von 8 Zeitschlitzen auf einer bestimmten Frequenz. Um die Anzahl der Teilnehmer, die über eine Basisstation kommunizieren können zu erhöhen, können mehrere Frequenzen verwendet werden. Diese dürfen nicht von Nachbarstationen verwendet werden, da die Signale sich sonst gegenseitig stören. Um die Übergeschwindigkeit für GPRS zu erhöhen, können mehrere Zeitschlitze pro Teilnehmer verwendet werden.

Dieses System ist zwar für die Datenübertragung geeignet, hat aber auch auf Grund der ursprünglichen Ausrichtung für Sprach-

übertragung folgende Grenzen, die mit UMTS überwunden werden sollen:

*GPRS Zeitschlitzbündelung nur begrenzt möglich*

Es können nur Zeitschlitz auf einer Frequenz gebündelt werden. Somit ist es theoretisch maximal möglich, bis zu 8 Zeitschlitz zu bündeln. Tatsächlich werden aber selten mehr als 4 Zeitschlitz genutzt, da natürlich weiterhin der Sprachverkehr über diese Basisstation abgewickelt wird. Auf der Endgeräteseite sind auch GSM Mobiltelefone nur für die Bündelung von bis zu 4 Zeitschlitz im Downlink ausgelegt. Bündelung von mehr Zeitschlitz erfordert weit komplexere Endgeräte.

*Geringe Bandbreite einer GSM Basisstation*

Eine GSM Basisstation wurde für den Sprachverkehr ausgelegt, der nur eine geringe Übertragungskapazität benötigt. Deshalb sind GSM Basisstationen nur mit einer 2 MBit/s E-1 Verbindung an den Base Station Controller angeschlossen. Je nachdem, wie viele Trägerfrequenzen verwendet werden, nutzt eine Basisstation nur einen Bruchteil der vorhandenen Leitungskapazität. Die restlichen 64 kbit/s Timeslots einer E-1 Verbindung werden dann für weitere Basisstationen verwendet. Auch die Rechenkapazität der Basisstationen ist nur für solche Kapazitäten ausgelegt.

*Lange Verzögerungszeiten bei GPRS*

Bei GPRS werden einem Teilnehmer nur Ressourcen, sprich Zeitschlitz in Uplink Richtung zugeteilt, wenn diese auch tatsächlich benötigt werden. Die Mobilstation muss dazu im Netzwerk Ressourcen anfordern. Dadurch kommt es zu unerwünschten Verzögerungen beim Senden von Daten und der darauf folgenden Antwort von 500 – 700 ms.

Bei GPRS werden einem Teilnehmer nur Ressourcen in Downlink Richtung zugeteilt, wenn Daten aus dem Kernnetz für den Teilnehmer zur Übertragung bereitstehen. Auch hier findet wieder eine Zuweisung statt, die nochmals 200 ms in Anspruch nimmt.

Diese Verzögerungszeiten, die in Abbildung 3.7 im Verhältnis zu Verzögerungszeiten von anderen Systemen dargestellt sind, fallen bei der Übertragung von größeren und zusammenhängenden Datenblöcken nicht so sehr ins Gewicht. Bei kurzen, burstartigen Übertragungen, wie z.B. dem Websurfen, sind diese Verzögerungen jedoch deutlich spürbar.

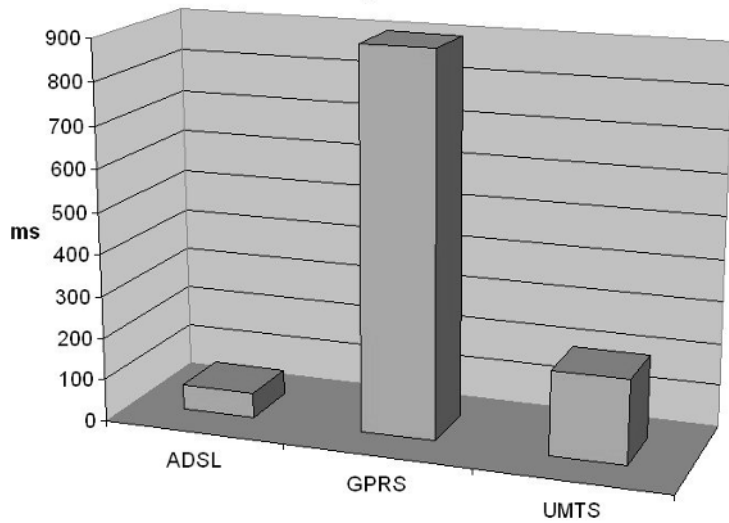
UMTS löst diese Probleme wie folgt:

*Breiterer Übertragungskanal*

Um die Datenübertragungskapazität pro Frequenz zu steigern, wurde bei UMTS die Bandbreite pro Trägerfrequenz von 200 kHz auf 5 MHz vergrößert. Da Endgeräte nur auf einer Trägerfrequenz senden bzw. empfangen können, steigert dies die mög-



lichen Übertragungsgeschwindigkeiten pro Benutzer enorm. Außerdem können somit wesentlich mehr Benutzer auf der gleichen Frequenz kommunizieren, als bei GSM.



**Abb. 3.7:** Verzögerungszeiten (Round Trip Delay Time)

#### *UMTS verwendet Codemultiplex*

Die entscheidende Neuerung von UMTS ist jedoch die Verwendung eines neuen Zugriffsverfahrens auf der Luftschnittstelle. Statt Frequenz- und Zeitmultiplex wie bei GSM, verwendet UMTS ein Codemultiplex Verfahren, um über eine Basisstation mit mehreren Benutzern gleichzeitig zu kommunizieren. Dieses Verfahren wird Code Division Multiple Access (CDMA) genannt.

Im Unterschied zum Zeit- und Frequenzmultiplex von GSM senden hier alle Teilnehmer auf der gleichen Frequenz und zur gleichen Zeit. Die Daten jedes Teilnehmers werden dabei mit einem Code multipliziert, der möglichst große Unterschiede zu Codes aufweist, die von anderen Teilnehmern zur gleichen Zeit verwendet werden. Da alle Teilnehmer gleichzeitig senden, addieren sich alle Signale auf dem Übertragungsweg zur Basisstation. Die Basisstation kann jedoch die Daten der einzelnen Teilnehmer wieder aus dem empfangenen Signal herausrechnen, da ihr die Sendecodes der Teilnehmer bekannt sind. Dieses Prinzip

kann in gewissen Grenzen auch durch folgende Analogie beschrieben werden:

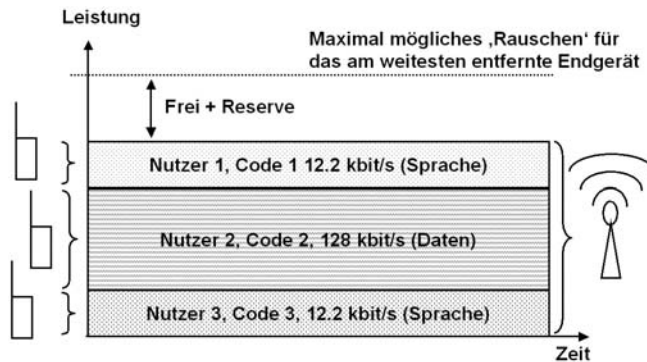
- Kommunikation während einer Vorlesung: Üblicherweise spricht nur eine Person, viele hören zu. Die Bandbreite ist hoch, da der Übertragungskanal, sprich die Luft, nur von einer Person verwendet wird. Das Flüstern der Studenten erzeugt jedoch ein kleines „Hintergrundrauschen“, dessen Lautstärke jedoch wesentlich geringer als die Lautstärke des Vortragenden ist.
- Kommunikation während einer Party: In einem Raum sind viele Menschen, die sich unterhalten. Obwohl sich alle Gespräche in der Luft überlagern, ist das menschliche Gehör trotzdem in der Lage, die einzelnen Gespräche voneinander zu trennen und sich auf ein bestimmtes Gespräch zu konzentrieren. Die anderen Gespräche werden als Hintergrundrauschen herausgefiltert. Je mehr Menschen auf gleichem Raum kommunizieren, desto höher wird das Hintergrundrauschen für den Einzelnen. Die Konversation muss entsprechend deutlicher werden. Die Sprechgeschwindigkeit sinkt, da Worte genauer ausgesprochen werden müssen. Eventuell muss auch lauter gesprochen werden, um das Hintergrundrauschen zu überwinden. Dies bedeutet jedoch für alle Anderen ein größeres Hintergrundrauschen.
- Kommunikation in einer Disco: Hier ist das Hintergrundrauschen, sprich die Musik, so laut, das keine Kommunikation zwischen einzelnen Personen möglich ist.

*Andere Teilnehmer werden als Hintergrundrauschen wahrgenommen.*

Auf die Datenübertragung bei UMTS abgebildet, sehen diese Szenarien wie folgt aus: Kommunizieren nur wenige Teilnehmer gleichzeitig mit einer Basisstation, gibt es aus der Sichtweise jedes einzelnen Teilnehmers nur sehr wenige Störungen auf dem Übertragungskanal. Es genügt eine geringe Sendeleistung des Teilnehmers, um sein Signal deutlich vom Rauschen, also von den Signalen der anderen Teilnehmer, zu unterscheiden. Die zur Verfügung stehende Bandbreite pro Teilnehmer ist hoch und kann bei Bedarf auch entsprechend genutzt werden, um die Übertragungsgeschwindigkeit für Daten eines Teilnehmers zu erhöhen. Um Daten schneller zu übertragen, muss aber mehr Sendeleistung aufgewandt werden, da ein größerer Signal/Rauschabstand nötig ist. Dies ist jedoch in diesem Fall kein Problem, da es nur wenige andere Teilnehmer gibt, die sich auf

das für sie erhöhte Rauschniveau entsprechend einstellen können.

Kommunizieren viele Teilnehmer gleichzeitig mit einer Basisstation, dann erzeugen aus Sicht eines Teilnehmers viele andere Teilnehmer zusammen ein hohes Hintergrundrauschen. Somit muss jeder Teilnehmer mit mehr Leistung senden, um das Hintergrundrauschen zu überwinden. Da dies bei allen Teilnehmern möglich ist, bleibt das System stabil. Die zur Verfügung stehende maximale Übertragungsgeschwindigkeit ist nun nicht nur durch die 5 MHz Bandbreite begrenzt, sondern für jeden einzelnen auch noch durch das erhöhte Rauschen. Daten können jetzt unter Umständen für einen Teilnehmer nicht mehr so schnell übertragen werden, wie noch in der vorherigen Situation, da der Signal/Rauschabstand für weiter entfernte Teilnehmer nicht mehr erreicht werden kann.



**Abb. 3.7a:** Gleichzeitige Kommunikation mehrerer Teilnehmer mit einer Basisstation in Uplink Richtung. (Achsen nicht maßstäblich, Anzahl der Nutzer pro Basisstation in Praxis wesentlich größer)

*Sendeleistung ist begrenzt*

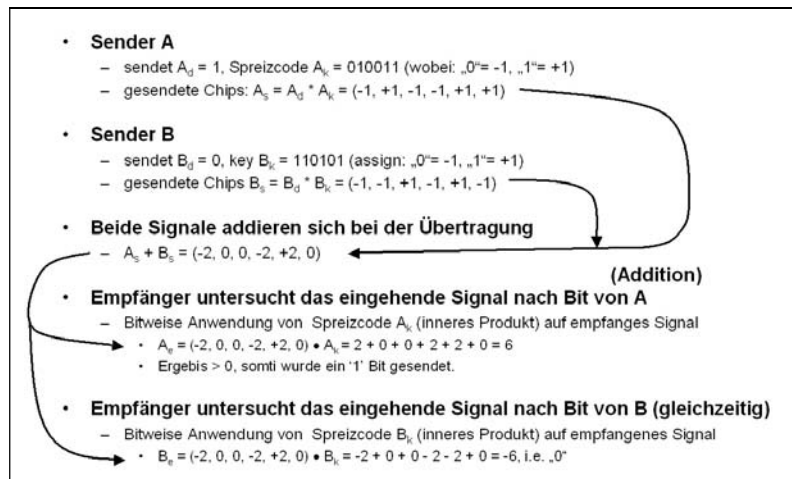
Die Sendeleistung kann aber nicht beliebig erhöht werden, da diese für UMTS Endgeräte in Europa auf 0.250 Watt begrenzt ist. Würde das Zugangsnetz die Sendeleistung der Teilnehmer nicht aktiv regeln, könnte es zu Situationen kommen, in denen zu viele Teilnehmer vorhanden sind. Da die Signale aller anderen Teilnehmer als Rauschen gesehen werden, ist es auch mit der maximalen Sendeleistung eines Mobiltelefons nicht mehr möglich, einen akzeptablen Signal/Rauschabstand zu erzeugen. Schlimmer noch: Sendet das Mobiltelefon trotzdem, wird auch das Rauschen für alle anderen Teilnehmer weiter erhöht und somit werden auch die Verbindungen anderer Teilnehmer gestört.

*Umwandlung von Bits in Chips*

Aus mathematischer Sicht löst das Code Division Multiple Access (CDMA) Verfahren den gleichzeitigen Mediengriff wie folgt:

Nutzdatenbits werden nicht direkt über die Luftschnittstelle übertragen, sondern zuerst mit einem Vektor multipliziert, der z.B. eine Länge von 128 hat. Das Ergebnis dieser Multiplikation ist wieder ein Vektor, ebenfalls mit der Länge 128. Die Elemente dieses Ergebnisvektors werden „Chips“ genannt. Ein Vektor mit Länge 128 hat also 128 Chips. Statt also ein Bit über die Luftschnittstelle zu übertragen, werden 128 Chips übertragen. Dieses Verfahren wird „Spreizen“ (Spreading) genannt, da 128 mal mehr Informationen übertragen werden, als beim bloßen Übertragen des Bits. Auf der Gegenseite kann diese Multiplikation wieder rückgängig gemacht werden und aus den 128 Chips kann wieder auf das gesendete Bit zurückgerechnet werden.

Abbildung 3.8 zeigt die dazugehörigen mathematischen Operationen mit 2 Sendern (also Mobiltelefone), die gleichzeitig Daten zu einem Empfänger (Basisstation) senden.



**Abb. 3.8:** Gleichzeitige Kommunikation von zwei Teilnehmern mit einer Basisstation durch Spreizen des Signals.

Dem Nachteil, dass statt einem Bit nun 128 Chips übertragen werden, stehen zwei wesentliche Vorteile gegenüber: Fehler, die sich während der Übertragung von 128 Chips über die Luftschnittstelle einschleichen, können erkannt und korrigiert werden. Selbst wenn einige Chips durch Übertragungsfehler verändert werden, ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, dass das in den 128 Chips kodierte Bit trotzdem richtig erkannt wird. Für die

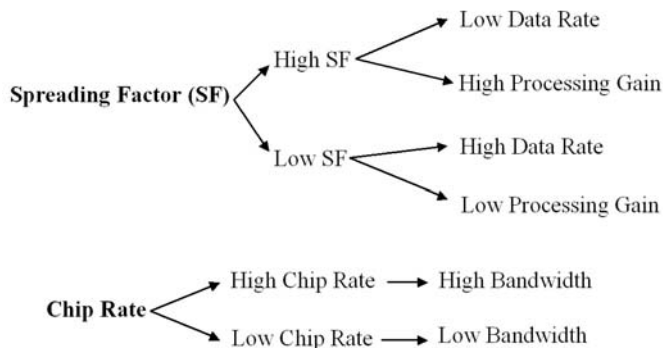
Umrechnung des Bits in die Chips wird jedem Teilnehmer ein eigener Vektor zugeteilt, der auch „Code“ genannt wird. Der Empfänger kann die Sender voneinander trennen, da die Codes im mathematischen Sinne orthogonal zu einander sind.

### 3.3.1 Spreizfaktor, Chiprate und Prozessgewinn

Die Kodierung eines Bits in mehrere Chips wird als Spreizen (Spreading) bezeichnet. Der Spreizfaktor (Spreading Factor) gibt dabei an, wie viele Chips pro Bit verwendet werden. Die Geschwindigkeit, mit der Chips bei UMTS über die Luftschnittstelle übertragen werden (Chip Rate), ist unabhängig vom Spreizfaktor konstant 3.84 MChips/s.

*Vor- und Nachteile eines großen Spreizfaktors*

Ein größerer Spreizfaktor bedeutet bei konstanter Chip Rate, dass die Datenrate für den Benutzer sinkt. Dies hat neben der größeren Robustheit gegen Übertragungsfehler auch noch weitere Vorteile: Je länger der Code, desto mehr Codes gibt es, die orthogonal zueinander sind. Das bedeutet, dass mehr Benutzer gleichzeitig den Übertragungskanal nutzen können, als bei kürzeren Codes. Da mehr Chips pro Bit verwendet werden, kann außerdem der Signal/Rauschabstand reduziert werden. Dies erzeugt zwar mehr Chipfehler, durch die größere Anzahl der Chips pro Bit kann das übertragene Bit aber trotzdem korrekt berechnet werden. Da durch den geringeren Signal/Rauschabstand die Sendeleistung verringert werden kann, wird auch von einer Erhöhung des Prozessgewinns (Processing Gain) gesprochen.



**Abb. 3.9:** Zusammenhang zwischen Spreizfaktor, Chiprate, Prozessgewinn und verfügbare Bandbreite für einen Teilnehmer.

*Vor- und Nachteile eines kleinen Spreizfaktors*

Bei kurzen Codes, sprich bei weniger Chips pro Bit, erhöht sich die Übertragungsgeschwindigkeit für einen einzelnen Benutzer. Dies hat jedoch auch zwei Nachteile: Aufgrund der kürzeren Codes können weniger Benutzer gleichzeitig mit einer Basisstation kommunizieren. Bei einer Codelänge von 8, das einer Nutzdatenrate von 384 kbit/s im Downlink entspricht, können nur maximal 8 Teilnehmer gleichzeitig in dieser Geschwindigkeit Daten von einer Basisstation erhalten. Wäre die Codelänge z.B. 256, könnten bis zu 256 Teilnehmer gleichzeitig mit der Basisstation kommunizieren, wenn auch wesentlich langsamer. Außerdem wird bei einem kleineren Spreizfaktor der Prozessgewinn geringer. Das bedeutet für den einzelnen Teilnehmer, dass er mit größerer Leistung senden muss, um Anzahl der Übertragungsfehler zu verringern. Gleichzeitig steigt dadurch natürlich auch das Rauschen für die anderen Teilnehmer.

### 3.3.2

#### Der OVSF Codebaum

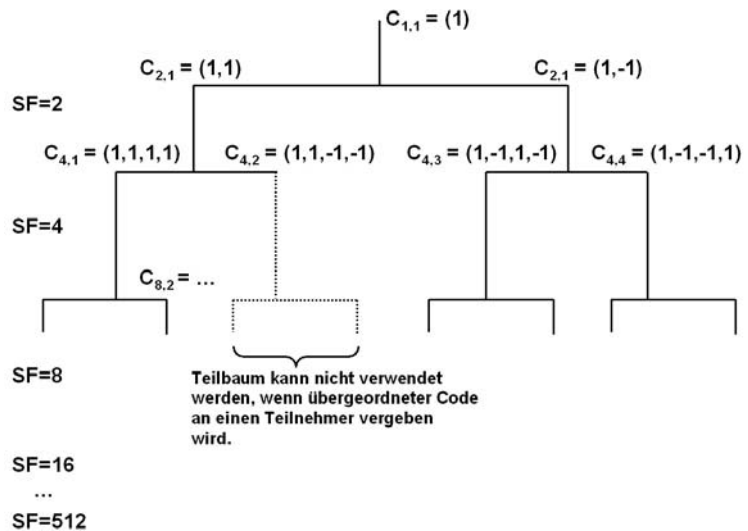
Auf der UMTS Luftschnittstelle ist die Chiprate fest mit 3.84 MChips/s vorgegeben. Wäre auch der Spreizfaktor fest vorgegeben, würde dies bedeuten, dass alle Teilnehmer einer Zelle mit der gleichen Geschwindigkeit senden und empfangen müssten. Dies ist jedoch nicht erwünscht, da in einer Zelle sowohl Dienste mit niedriger Übertragungsgeschwindigkeit, wie z.B. Sprachtelefonie und Dienste mit hoher Übertragungsgeschwindigkeit, wie z.B. Web Surfen oder Video Streaming möglich sein sollen.

*Variable Spreizfaktorlängen mit OVSF*

Die Lösung dieses Problems heißt Orthogonal Variable Spreading Factors, kurz OVSF. Während bei der vorhergehenden mathematischen Betrachtung davon ausgegangen wurde, dass die Spreading Codes aller Teilnehmer die gleiche Länge, also den gleichen Spreizfaktor besitzen, bietet das OVSF Prinzip die Möglichkeit, unterschiedlich lange Codes gleichzeitig zu verwenden.

Damit unterschiedlich lange Codes trotzdem orthogonal zueinander sind, gilt folgende Bedingung, die in Abbildung 3.10 grafisch dargestellt wird: Im einfachsten Fall (C1,1) ist der Vektor eindimensional. Auf der nächsten Ebene gibt es im binären Raum 4 Vektoren und zwei, die zueinander orthogonal sind (C2,1 und C2,2). Auf der dritten Ebene gibt es 16 Vektoren und 4, die zueinander orthogonal sind (C4,1 bis C4,4), usw. Auf diese Weise entsteht ein Baum von Vektoren, die auf ihrer Ebene jeweils orthogonal zueinander sind. Je größer der Spreizfaktor, desto mehr Teilnehmer können gleichzeitig kommunizieren, der Baum wird breiter.

Verwendet nun ein Teilnehmer z.B. ein Spreizfaktor von 8, so bedeutet dies, dass alle Codes auf allen weiteren Hierarchieebenen dieses Zweiges nicht mehr verwendet werden dürfen. Diese sind nicht mehr orthogonal mit dem verwendeten Code mit Spreizfaktor 8 auf der höheren Baumebene. Da es aber auf der Stufe mit SF 8 noch sieben andere Teilbäume gibt, können andere Teilnehmer durchaus mit größeren Spreizfaktoren kommunizieren. Es bleibt dabei dem Netzwerk überlassen, wie viele Codes mit welchen Spreizfaktoren verwendet werden. Somit hat das Netzwerk die Möglichkeit, auf unterschiedliche Nutzungssituationen zu reagieren.



**Abb. 3.10:** Der OVSF Codebaum

*Unterschiedliche Spreizfaktoren für verschiedene Anwendungen*

Nachfolgende Tabelle stellt einige Spreizfaktoren im Downlink, also von Node-B zum Endgerät, mit der Brutto- und Nettodatenrate gegenüber. Die Bruttodatenrate ist dabei die Anzahl der übertragenen Bits pro Sekunde. Die Nettodatenrate entsteht aus der Bruttodatenrate abzüglich Channel Coding wie z.B. Fehlererkennung, Fehlerkorrektur, Signalisierungsdaten, Kanalregelung etc.

<b>Spreizfaktor (Downlink)</b>	<b>Brutto Datenrate (kbit/s)</b>	<b>Netto Datenrate (kbit/s)</b>	<b>Anwendung</b>
<b>8</b>	960	<b>384</b>	Packet Data
<b>16</b>	480	<b>128</b>	Packet Data
<b>32</b>	240	<b>64</b>	Packet Data und Videotelefonie
<b>64</b>	120	<b>32</b>	Packet Data
<b>128</b>	60	<b>12.2</b> <b>8</b>	Sprache Packet Data
<b>256</b>	30	<b>5.15</b>	Sprache
<b>512</b>	15	<b>1.7</b>	Signalisierung, SMS, Location Update...

### 3.3.3 Scrambling in Uplink- und Downlink Richtung

Über OVFS Codes kann die Datenrate jedes Teilnehmers individuell angepasst werden und unterschiedliche Datenströme können voneinander unterschieden werden. Da manche Codes jedoch keine Zufallsmuster aufweisen (z.B. C(256,1), der nur aus '1' Chips besteht), gäbe es bei direkt anschließender Modulation keine gleichmäßig spektrale Verteilung.

#### *Scrambling*

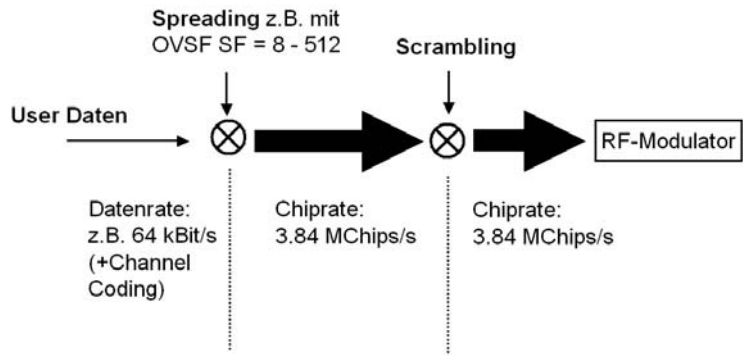
Um dies zu vermeiden, wird nach dem Spreizen noch ein weiterer Verarbeitungsschritt benötigt, das Scrambling. Der aus den Bits entstandene Chipstream wird, wie in Abbildung 3.11 gezeigt, in diesem Schritt mit einem Pseudo Zufallscode (Scrambling Code) multipliziert. Die Chiprate von 3.84 MChips/s ändert sich dadurch aber nicht.

#### *Scrambling im Downlink*

In Downlink Richtung wird der Scrambling Code außerdem verwendet, um unterschiedliche Basisstationen voneinander zu



unterscheiden. Dies ist notwendig, da alle Basisstationen auf der gleichen Frequenz senden. Außerdem ist dies notwendig, damit eine Basisstation den kompletten Codebaum verwenden kann und sich diesen nicht mit den Nachbarstationen teilen muss. In Downlink Richtung wird die maximale Übertragungskapazität somit für alle Teilnehmer hauptsächlich durch die Anzahl der Codes aus dem Codebaum bestimmt, sowie der Interferenz von anderen Basisstationen relativ von jedem Teilnehmer aus gesehen.



**Abb. 3.11:** Spreading und Scrambling

#### *Scrambling im Uplink*

In Uplink Richtung hingegen bekommt jeder Teilnehmer seinen eigenen Scrambling Code. Somit stehen jedem mobilen Teilnehmer alle Codes des Codebaums zur Verfügung. In der Uplink Richtung ist das System also nicht durch die Anzahl der Codes, sondern durch die maximale Sendeleistung des Endgeräts begrenzt, sowie der Interferenz, die andere Teilnehmer in der Umgebung erzeugen.

#### *Timing Advance durch Scrambling nicht nötig*

Ein weiterer Grund für den individuellen Scrambling Code per Teilnehmer im Uplink sind die auftretenden Signallaufzeiten. Da sich Teilnehmer in unterschiedlichen Abständen zu einer Basisstation befinden, erreichen deren Signale die Basisstation zu unterschiedlichen Zeiten. Bei GSM wurde dies durch die Timing Advance Regelung (siehe Kapitel 1.7.4) ausgeglichen. Bei UMTS ist eine solche Regelung aber nicht möglich, da im Soft Handover Zustand (siehe Kapitel 3.7.1) ein Teilnehmer gleichzeitig mit mehreren Basisstationen kommuniziert und das Timing aufgrund unterschiedlicher Abstände nicht für mehrere Basisstationen

gleichzeitig regeln kann. Würde kein individueller Scrambling Code verwendet werden, würde die am Anfang des Kapitels beschriebene Mathematik nicht mehr funktionieren. Einzelne Bits würden zueinander vorschoben eintreffen, und das Ergebnis würde sich somit ändern.

	<b>Downlink</b>	<b>Uplink</b>
<b>Spreading</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adressierung unterschiedlicher Nutzer.</li> <li>• Individuelle Datenrate für jeden Nutzer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerung der Datenrate</li> </ul>
<b>Scrambling</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleichmäßige spektrale Verteilung.</li> <li>• Unterscheidung der Basisstationen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gleichmäßige spektrale Verteilung.</li> <li>• Unterscheidung der Teilnehmer.</li> <li>• Durch Scrambling kein Timing Advance notwendig, um Orthogonalität zu gewährleisten.</li> </ul>

### 3.3.4 Frequenz- und Zellplanung in UMTS

Da in UMTS alle Zellen die gleiche Frequenz verwenden, ist die Frequenzplanung gegenüber GSM stark vereinfacht. Während es bei GSM absolut vermieden werden musste, bei benachbarten Zellen die gleiche Frequenz zu verwenden, wird genau dies bei UMTS gemacht. Dies ist auf Grund der vorgestellten Eigenschaften von CDMA möglich. Während bei GSM eine Frequenzplanung unabdingbar war, die zudem durch neue Zellen zur Kapazitätserhöhung immer wieder geändert werden muss, ist dies bei UMTS nicht mehr notwendig. Wird hier eine neue Zelle in Betrieb genommen, muss jedoch die Sendeleistung der benachbarten Zellen verringert werden, da diese dann nur noch kleinere geographische Gebiete abdecken müssen. Aus einer Frequenz-

planung in GSM ist eine Interferenzplanung bei UMTS geworden, die jedoch nicht weniger kompliziert ist.

Wichtig sind auch bei UMTS in gleicher Weise wie bei GSM die Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den einzelnen Zellen im Zugangsnetz. Nur bei korrekter Definition können Handover (vgl. Kapitel 3.7.1) und Cell Reselections (vgl. Kapitel 3.7.2) richtig funktionieren. Je besser der Zellwechsel funktioniert, je weniger Interferenzen treten im System auf, und umso höher ist die nutzbare Übertragungskapazität über alle Zellen gesehen.

### 3.3.5 Near-Far Effekt und Zellatmung

Da alle Teilnehmer auf der gleichen Frequenz senden, ist Interferenz der hauptsächlich limitierende Faktor in einem UMTS Netzwerk. In Zusammenhang damit stehen folgende zwei CDMA spezifische Phänomene:

#### *Near-Far Effect*

Um Interferenzen gering zu halten, ist eine sehr präzise und schnelle Leistungsregelung erforderlich. Weiter entfernte Teilnehmer müssen dabei mit mehr Leistung senden, als näher an der Basisstation befindliche Teilnehmer, da sich das Signal auf dem weiteren Weg stärker abschwächt. Dieser Effekt wird Near-Far Effect genannt. Auch kleine Positionsänderungen wie z.B. ein Schritt hinter eine Hauswand relativ zur Basisstation gesehen, hat schon große Auswirkungen auf die nötige Sendeleistung. Wie wichtig die Leistungsregelung ist, zeigt die Tatsache, dass bei UMTS die Leistungsregelung 1500 mal in der Sekunde für jeden Teilnehmer erfolgt. Einen angenehmen Nebeneffekt für die Teilnehmer ist dabei, dass bei guter Verbindung nur wenig Sendeleistung verwendet werden muss und somit die Laufzeit einer Akkuladung erhöht wird.

Anmerkung: Auch in GSM gibt es eine Leistungsregelung. Die Regelgeschwindigkeit liegt dort jedoch nur im Sekundenbereich, da die Interferenz hier eine wesentlich weniger wichtige Rolle spielt. Leistungsregelung wird hier hauptsächlich verwendet, um die Lebensdauer des Akkus zu erhöhen.

#### *Zellatmung*

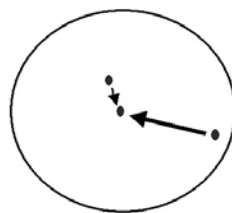
Die Abhängigkeit der UMTS Teilnehmer von der Interferenz hat auch noch einen weiteren unerwünschten Nebeneffekt. Nehmen wir folgendes an:

1. Es befindet sich schon eine größere Anzahl von Teilnehmern mit unterschiedlichen Abständen im Versorgungsbereich der Basisstation.

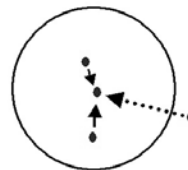
2. Aufgrund der Interferenzen ist der am weitesten entfernte Teilnehmer gezwungen, mit seiner maximalen Leistung zu senden.
3. Nun versucht noch ein weiterer Teilnehmer, der sich in mittlerem Abstand zum Zentrum der Zelle befindet, eine Verbindung zum Netzwerk aufzubauen.

In dieser Situation kann nun folgendes passieren: Akzeptiert das Netzwerk die zusätzliche Verbindung, erhöht sich für alle Teilnehmer der Zelle die Interferenz. Die Teilnehmer sind deshalb gezwungen, ihre Sendeleistung entsprechend zu erhöhen. Der Teilnehmer am Rand der Zelle sendet jedoch schon mit seiner maximalen Leistung und kann deshalb seine Sendeleistung nicht weiter erhöhen. Somit kann er von der Basisstation nicht mehr korrekt empfangen werden und die Kommunikationsverbindung bricht für ihn ab. Von außen betrachtet, ändert sich somit die maximal mögliche geographische Versorgungsfläche einer Zelle, da der am weitesten entfernte Teilnehmer nun nicht mehr kommunizieren kann. Dieses Verhalten wird Zellatmung (Cell Breathing) genannt, da das Verhalten ähnlich einer Lunge ist, die ihr Volumen während des Atmens vergrößert und verkleinert.

Um diesen Effekt zu vermeiden, kontrolliert das Netzwerk ständig den Signal/Rauschabstand jedes Teilnehmers. Durch aktive Leistungsregelung jedes Teilnehmers weist das Netzwerk, dass durch einen weiteren Teilnehmer eine bereits bestehende Kommunikationsverbindung abreißen würde. Das Netzwerk kann somit z.B. die Entscheidung treffen, den zusätzlichen Teilnehmer abzuweisen.



**Zwei Teilnehmer, einer am theoretischen Zellrand mit großer Leistung**



**Ein weiterer Teilnehmer möchte kommunizieren, würde aber den weiter entfernten verdrängen, da dieser seine Leistung nicht mehr erhöhen kann.**

**Abb. 3.12:** Zellatmung

Um alle bestehenden Verbindungen beizubehalten und zusätzlich auch dem neuen Teilnehmer die Kommunikation zu ermöglichen, kann das Radionetzwerk auch eine andere Strategie anwenden: Ziel dieser Strategie ist es, das Interferenzniveau soweit zu senken, dass alle Teilnehmer kommunizieren können. Dies kann durch unterschiedlichste Verfahrensweisen erreicht werden. Eine Möglichkeit ist, den aktiven Teilnehmern längere Spreizcodes zuzuweisen. Wie in Kapitel 3.3.2 gezeigt wurde, kommen Teilnehmer mit einem längeren Spreizcode mit einer kleineren Sendeleistung aus. Dies wiederum senkt die Interferenz für alle anderen. Nachteil für Teilnehmer, deren Spreizfaktor geändert wurde, ist jedoch, dass ihre Datenübertragungsgeschwindigkeit sinkt. Bei welchen Teilnehmern der Spreizfaktor geändert wird, kann auf die unterschiedlichsten Weisen vom System entschieden werden. UMTS Teilnehmer können z.B. in unterschiedliche Nutzerklassen eingeteilt werden. Die Neuzuteilung der Spreizcodes kann dann z.B. zuerst bei Teilnehmern erfolgen, die eine einfache Nutzerklasse haben, dafür aber z.B. weniger bezahlen. Auch ist es denkbar, schon vor der maximalen Lastgrenze die Zuteilung von kürzeren Spreizcodes ganz oder nur auf bestimmten Nutzerklassen zu begrenzen.

*Übertragungsgeschwindigkeit und Distanz zur Basisstation*

Neben der Zellatmung gibt es noch eine Reihe anderer Interferenzszenarien. Wie bereits erwähnt, muss bei kleineren Spreizfaktoren die Sendeleistung erhöht werden, um eine korrekte Übertragung zu gewährleisten. Somit hängt die maximal mögliche Entfernung eines Teilnehmers zur Basisstation auch vom verwendeten Spreizfaktor ab. Bewegt sich ein Benutzer zwischen zwei Zellen, ist es bei einem zu großen Zellabstand oder zu großem Interferenzlevel möglich, dass der aktuell verwendete Spreizfaktor keine Übertragung mehr erlaubt, während ein größerer Spreizfaktor durchaus noch eine Kommunikation bei gleicher Leistung ermöglicht.

Wie dieses und ähnliche Szenarien an Zellgrenzen letztendlich gelöst werden, hängt von der Implementierung des jeweiligen Netzwerklieferanten ab. Wie auch in anderen Bereichen in UMTS schreiben die Standards keine Lösungsmöglichkeit vor. Somit bietet sich für Netzwerkhersteller die Möglichkeit, sich mit guten Lösungen einen Wettbewerbsvorteil zu schaffen und somit am Markt erfolgreich zu sein.

### 3.3.6 Vorteile des UMTS Radionetzwerkes gegenüber GSM

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die grundsätzlichen Eigenschaften und Verfahren von W-CDMA bei UMTS vorgestellt wurden, zeigt der folgende Abschnitt, wie die Limitationen von GSM/GPRS mit UMTS gelöst wurden:

#### *Kürzere Verzögerungszeit*

Die Hauptursache der langen Verzögerungszeiten bei GPRS ist die ständige Neuzuweisung von Ressourcen, vor allem bei burstartigen Datenübertragungen. Dies ist bei UMTS nicht mehr nötig, da auch für die paketvermittelte Übertragung ein dedizierter Kanal zwischen Teilnehmer und Netzwerk in Form eines Codes verwendet werden kann. Dieser Kanal wird nicht sofort wieder abgebaut, wenn für einige Sekunden keine Daten mehr übertragen werden, sondern steht dem Teilnehmer weiterhin zur Verfügung. In der Downlink Richtung werden während einer inaktiven Phase des Nutzers (fast) keine Daten übertragen. Der Code steht zwar für andere Teilnehmer nicht zur Verfügung, da jedoch bis auf Kontrollnachrichten keine Daten übertragen werden, sinkt der Interferenzlevel für alle anderen Teilnehmer und es geht nur sehr wenig Kapazität durch Aufrechterhaltung des Kanals verloren. Erst wenn für eine längere Zeit keine Daten übertragen werden, wird der Übertragungskanal modifiziert, um auch den Code freizugeben. Das System kann dazu zum Beispiel einen Code mit höherem Spreizfaktor vergeben, von denen weit mehr zur Verfügung stehen, als von Codes mit kürzeren Spreizfaktoren. Wird die Datenübertragung wieder aufgenommen, entsteht keine Verzögerungszeit, da ja immer noch ein dedizierter Kanal zur Verfügung steht. Dessen Kapazität kann auch schnell wieder erhöht werden, indem das Netzwerk wieder einen Code mit kleinerem Spreizfaktor vergibt. Bei noch längerer Inaktivität ist es auch möglich, dem Teilnehmer alle Ressourcen auf der Luftschnittstelle zu entziehen, ohne die logische Verbindung zu beenden. Dies spart weitere Ressourcen und auch Batteriekapazität im Endgerät des Teilnehmers, bringt aber eine längere Reaktionszeit mit sich, wenn die Datenübertragung wieder aufgenommen wird. Im Uplink finden prinzipiell die gleichen Methoden Anwendung. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass während dem Teilnehmer einen Code zugeteilt ist, sich die Mobilstation ständig im Sendebetrieb befindet. Zwar ist die Sendeleistung während einer Pause der Nutzdatenübertragung geringer, jedoch werden weiterhin Kontrollinformationen mit dem Netzwerk ausgetauscht. Deshalb ist es sehr sinnvoll, bei längerer Inaktivität in den Cell-FACH Zustand zu wechseln. In diesem

<i>Keine Unterbrechung bei Zellwechseln</i>	<p>Zustand werden keine ständigen Kontrollinformationen mehr vom Endgerät an das Netzwerk übertragen, und dem Endgerät ist auch kein Spreizcode mehr zugeteilt. Mehr dazu im Kapitel 3.5.4.</p> <p>Die Vergabe eines dedizierten Kanals nicht nur für die leitungsvermittelte-, sondern auch für paketvermittelte Datenübertragung, bringt auch beim Zellwechsel gegenüber GPRS wesentliche Vorteile. Bei GPRS wird der Zellwechsel von der Mobilstation selbständig durchgeführt. Danach muss das Endgerät zuerst den Broadcast Kanal abhören, bevor die Verbindung mit dem Netzwerk wiederhergestellt werden kann. Dies bedeutet in der Praxis eine Unterbrechung der Übertragung von 1-3 Sekunden. Ein Handover, der vom Netzwerk kontrolliert wird und somit keine oder nur geringe Unterbrechungen beim Zellwechsel mit sich bringt, ist für GPRS nicht vorgesehen. Vor allem während Datenübertragungen aus Autos oder Zügen macht sich dies störend bemerkbar. Bei UMTS hingegen gibt es keine Unterbrechung beim Zellwechsel, da der Zellwechsel hier per Soft Handover vom Netzwerk kontrolliert wird. Somit werden Datenübertragungen aus fahrenden Objekten wesentlich effizienter als bisher. Außerdem sind so Anwendungen wie Telefonie über IP (VoIP) oder Videotelefonie über IP während Zug- oder Autofahrten erst möglich.</p>
<i>Größere Bandbreite</i>	<p>Ein weiteres Problem bei GSM ist die historisch bedingte Auslegung auf schmalbandige Sprachtelefonie. Dies konnte mit GPRS zwar per Timeslotbündelung überwunden werden, die maximale Datenrate bleibt aber weiterhin aufgrund einer Bandbreite von nur 200 kHz pro Trägers sehr begrenzt. Bei UMTS wurde jedoch von vorneherein darauf Wert gelegt, dass auch breitbandigere Datendienste möglich sind. So ist bei einem Spreizfaktor von 8 im Downlink eine Übertragungsgeschwindigkeit von 384 kbit/s möglich. Auch im Uplink ist eine Übertragungsgeschwindigkeit von 384 kbit/s möglich, allerdings nur bei sehr gutem Empfang. Aufgrund der schwächeren Sendeleistung und einer omnidirektionalen Antenne werden im Uplink ansonsten Geschwindigkeiten von 64 und 128 kbit/s erreicht. Diese Übertragungsgeschwindigkeiten eignen sich sowohl für schnelles Websurfen, wie auch für Applikationen wie VoIP oder Videotelefonie, die mit GPRS aufgrund der schmalbandigen Auslegung, langen Verzögerungszeiten und der Übertragungsunterbrechung bei Zellwechsel nicht möglich sind.</p>
<i>Videotelefonie mit 64 kbit/s Verbindungen</i>	<p>Mit UMTS sind auch leitungsvermittelte 64 kbit/s Datenverbindungen in Up- und Downlink möglich. Dies entspricht der Ge-</p>

*Flexible  
Codeänderung*

schwindigkeit einer ISDN Verbindung und wird hauptsächlich für Videotelefonie zwischen UMTS Teilnehmern verwendet.

Das UMTS Netz kann auch sehr flexibel auf die aktuelle Signalqualität des Teilnehmers reagieren. Entfernt dieser sich vom Zellmittelpunkt, kann sein Spreizfaktor erhöht werden. Zwar wird seine Datenrate sinken, sein Übertragungskanal kann aber weiterhin aufrechterhalten werden.

Auch auf unterschiedliche Lastzustände kann das UMTS Netzwerk sehr flexibel reagieren. Wird die Interferenz zu hoch, oder werden die zur Verfügung stehenden Codes des Codebaumes knapp, kann neuen oder schon kommunizierenden Teilnehmern ein größerer Spreizfaktor zugewiesen werden.

Weitere Vorteile des CDMA Ansatzes ist der Soft Handover, der in Kapitel 3.7.1 beschrieben wird. Durch Verwendung verschiedener Sprachcodexes ist es auch möglich, verschiedene Spreizfaktoren für Sprachverbindungen zu verwenden und diesen auch während eines laufenden Gesprächs zu ändern. Näheres dazu siehe Kapitel 3.5.3. Somit kann auch hier wiederum auf verschiedene Situationen des Benutzers und der allgemeinen Last der Zelle reagiert werden. Welche Verfahren in welchen Situationen angewandt werden, wird vom Standard nicht vorgeschrieben und kann somit vom NetzwerkhHersteller und Netzwerkbetreiber selbst festgelegt werden.

## **3.4 UMTS Kanalstruktur auf der Luftschnittstelle**

### **3.4.1 User Plane und Control Plane**

Grundsätzlich werden bei UMTS, wie auch bei GSM und allen modernen drahtgebundenen Kommunikationsnetzen, zwei unterschiedliche Arten von Daten unterschieden. Diese sind bei UMTS und GSM in zwei so genannte Planes unterteilt: Daten in der User Plane sind Nutzdaten, wie z.B. Sprachtelefoniedaten oder IP Pakete. Die Control Plane hingegen ist für alle Signalisierungsdaten zuständig, die zwischen Benutzer und dem Netzwerk ausgetauscht werden. Über die Control Plane werden z.B. Signalisierungsdaten für den Verbindungsauf- und Abbau gesendet, oder Nachrichten wie z.B. ein Location Update, um das Netzwerk über seinen aktuellen Standort zu informieren. Abbildung 3.13 zeigt die Unterteilung in User- und Control Plane, sowie einige Beispiele für Protokolle, die in den einzelnen Planes verwendet werden.



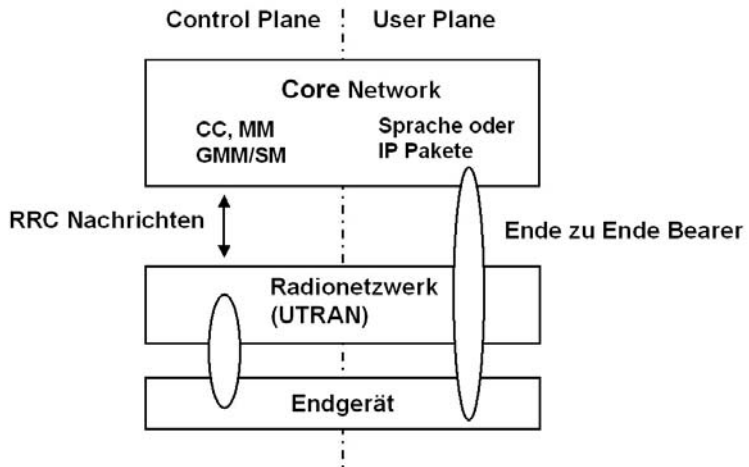


Abb. 3.13: User und Control Plane

### 3.4.2 Common und Dedicated Kanäle

Sowohl User Plane Daten als auch Control Plane Daten werden bei UMTS über die Luftschnittstelle in Channels (Kanälen) übertragen. Dabei unterscheidet man grundsätzlich drei Kanalarten:

#### *Dedicated Channels*

Dedicated Channels: Diese Kanäle übertragen Daten für einen einzelnen Benutzer. Ein Dedicated Channel überträgt also zum Beispiel eine Sprachverbindung, IP Pakete von und zu einem Teilnehmer, oder eine Location Update Nachricht.

#### *Common Channels*

Das Gegenstück sind Common Channels, deren übertragene Daten von allen Endgeräten einer Zelle empfangen werden. Ein Beispiel für einen solchen Kanal ist der Broadcast Channel. Dieser überträgt für alle Teilnehmer allgemeine Informationen über die Zelle und das Netzwerk. Common Channels können auch für die Nutzdatenübertragung für mehrere Endgeräte verwendet werden. Jedes Endgerät filtert dabei seine eigenen Pakete aus dem Datenstrom heraus und leitet nur diese an höhere Protokollschichten weiter.

#### *Shared Channels*

Den Common Channels sehr ähnlich sind Shared Channels: Diese Kanäle werden nicht von allen Endgeräten abgehört, sondern nur von solchen, die vom Netzwerk dazu aufgefordert wurden. Ein Beispiel hierfür ist der Downlink Shared Channel.

Die paketvermittelte Nutzdatenübertragung ist jedoch nicht auf den Downlink Shared Channel beschränkt. Dieser Kanal kann optional mit einem Dedicated Channel verwendet werden, um

z.B. IP Pakete zu übertragen. Da dieser Kanal optional ist, ist davon auszugehen, dass die Netzwerkausrüster und Endgerätehersteller zuerst die paketvermittelnde Datenübertragung über Dedicated Channels und den FACH implementieren und erst später über den Downlink Shared Channel.

*HSDPA*

Die Weiterentwicklung des Downlink Shared Channel Konzepts ist der High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) in UMTS Release 5. Dieser führt neben der Codebündelung im Downlink auch ein neues Modulationsverfahren auf der Luftschnittstelle ein, um Daten bei guten Empfangsbedingungen eines Endgeräts schneller übertragen zu können.

### 3.4.3

#### **Logische, Transport- und Physikalische Kanäle**

Um die logische Datenübertragung von den physikalischen Eigenschaften der Luftschnittstelle zu entkoppeln, wurden bei UMTS drei unterschiedliche Kanalschichten spezifiziert. In Abbildung 3.14 werden die nachfolgend beschriebenen Downlinkkanäle dargestellt, in Abbildung 3.15 die Uplinkkanäle.

*Logische Kanäle*

Die oberste Kanalschicht bilden die Logical Channels (logische Kanäle). Mit logischen Kanälen werden die unterschiedlichen Arten von Daten unterschieden, die über die Luftschnittstelle übertragen werden. Sie enthalten keinerlei Informationen, wie diese später physikalisch über die Luftschnittstelle übertragen werden. Zu den logischen Kanälen gehören:

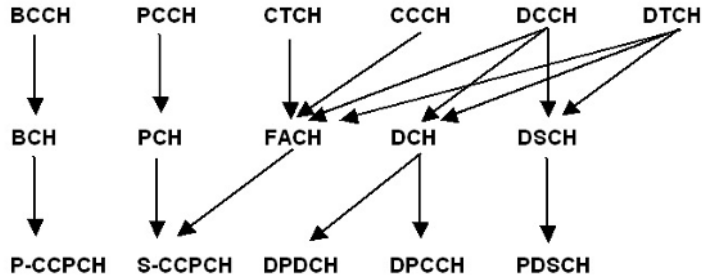
*BCCH*

Der BCCH (Broadcast Control Channel): Dieser Kanal wird von allen Teilnehmern im Idle Zustand abgehört, um Systeminformationen zu erhalten. Dazu gehören Informationen, wie auf das Netzwerk zugegriffen werden kann, welche Nachbarzellen mit welchen Codes senden und vieles mehr. Diese Informationen werden in so genannten System Information Blocks (SIBs) übertragen. Eine genaue Beschreibung der SIBs ist im 3GPP Standard 25.331, Kapitel 10.2.48.8 zu finden.

*PCCH*

Der PCCH (Paging Control Channel): Auf diesem Kanal werden Teilnehmer über eingehende Telefonanrufe oder SMS Nachrichten informiert. Auch für die paketvermittelte Datenübertragung wird eine Paging Nachricht für den Fall gesendet, dass das Netzwerk nach langer Inaktivität dem Teilnehmer alle für ihn reservierten Ressourcen auf der Luftschnittstelle entzogen hat (z.B. RRC Idle Mode) und plötzlich neue Datenpakete aus dem Kernnetz für die Übertragung zum Teilnehmer eintreffen. In diesem Fall muss sich das Endgerät erst wieder beim Netzwerk

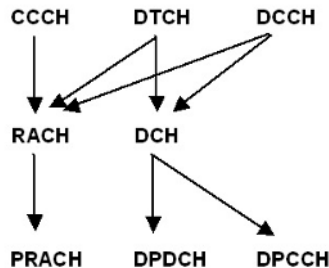
melden, damit eine logische RRC Verbindung aufgebaut werden kann. Erst danach können wieder Nutzdaten zum Endgerät übertragen werden.



**Abb. 3.14:** Logische-, Transport- und Physikalische Kanäle im Downlink

*CCCH*

Der CCCH (Common Control Channel): Dieser Kanal wird für alle Nachrichten von und zu Teilnehmern verwendet (bidirektional), die eine Verbindung zum Netzwerk aufbauen wollen. Dies ist z.B. nötig, wenn der Benutzer z.B. einen Telefonanruf machen möchte, eine SMS versendet oder eine paketvermittelnde Datenverbindung aufbaut.



**Abb. 3.15:** Logische-, Transport- und Physikalische Kanäle im Uplink

*DCCH*

Der DCCH (Dedicated Control Channel): Während die drei zuvor beschriebenen Kanäle Common Channels sind, ist ein DCCH immer nur für jeweils einen Benutzer gedacht. In diesem Kanal werden Nachrichten für die Protokolle Mobility Management (MM) und Call Control (CC) für leitungsvermittelnde Dienste, sowie Packet Mobility Management (PMM) und Session Management (SM) Nachrichten für paketvermittelnde Dienste von und zu Kernnetzwerkkomponenten wie MSC und SGSN übertragen. Diese Protokolle sind in Kapitel 3.6 und 3.7 näher beschrieben.

*DTCH*

Der DTCH (Dedicated Traffic Channel): Auch dieser Kanal ist wie der DCCH nur für einen einzelnen Benutzer gedacht und dient zur Übertragung der eigentlichen Nutzdaten. Nutzdaten können z.B. ein leitungsvermitteltes Telefongespräch oder paketvermittelte IP Daten sein. Während für ein Telefongespräch zwingend auch ein physikalischer Dedicated Channel verwendet werden muss, ist dies für IP Pakete aber nicht unbedingt erforderlich. Wie in Abbildung 3.14 dargestellt, kann der DTCH deshalb nicht nur auf Dedicated Transport- und Physical Channels abgebildet werden, sondern auch auf Common/Shared Channels.

Anmerkung: In der Praxis werden auch IP Pakete meistens über einen Dedicated Physical Channel übertragen. Common/Shared Physical Channels (z.B. der nachfolgend vorgestellte FACH) werden nur verwendet, wenn ein Teilnehmer lange Zeit inaktiv war und nur von Zeit zu Zeit kleine Datenmengen sendet bzw. empfängt. Shared Channels können im umgekehrten Fall aber auch verwendet werden, um die Übertragungsgeschwindigkeit eines Teilnehmers zu steigern. Dazu wird einem Teilnehmer zusätzlich zu einem Dedicated Physical Channel ein Downlink Shared Channel oder ein Highspeed Downlink Shared Channel (HSDPA) zugewiesen.

*CTCH*

Der CTCH (Common Traffic Channel): Über diesen Kanal können Cell Broadcast Informationen versandt werden. In GSM wird der gleiche Mechanismus z.B. von Vodafone-D2 verwendet, um den Anwender über die Festnetzvorwahlen zu informieren, die am aktuellen Ort des Teilnehmers zu einem niedrigeren Tarif zu erreichen sind.

*Transport Kanäle*

Transportkanäle (Transport Channels) bereiten in der Senderichtung Daten für die Übertragung über die Luftschnittstelle vor. Die Daten aus logischen Kanälen werden dazu durch das RLC/MAC Protokoll in kleine Datenpakete aufgeteilt, die für die Übertragung über die Luftschnittstelle geeignet sind. In der Empfangsrichtung arbeiten die Transport Channels entsprechend umgekehrt. Jedem Datenblock geht ein Header voraus, der die Übertragungsparameter der Luftschnittstelle beschreibt. Beispiele hierfür sind:

- Größe der Datenpakete (10,20,40 oder 80 ms).
- Art der Datensicherung (CRC Checksumme).
- Format der Kanalcodierung für die Fehlererkennung und Korrektur.

- Rate Matching (Datenratenanpassung), falls die Geschwindigkeit des physikalischen Kanals und des Datenkanals nicht übereinstimmen.
- Kontrolle der Discontinuous Transmission (DTX), falls keine Daten zu senden sind.

All diese Eigenschaften werden in einem so genannten Transportformat zusammengefasst. Die eigentliche Kanalkodierung wird jedoch erst in den physikalischen Kanälen auf dem Node-B durchgeführt. Dies ist sehr wichtig, da vor allem die Kanalkodierung zur Fehlererkennung und Korrektur einen großen Overhead mit sich bringt. Im Kapitel über GSM wurde bereits der Half Rate Convolutional Decoder für die Kanalkodierung beschrieben, der die Datenrate praktisch verdoppelt. Auch bei UMTS wird dieser Kanalkodierer verwendet, hier sind jedoch für diverse Anwendungsfälle auch noch andere Kanalkodierer spezifiziert. Würde die Kanalkodierung bereits auf dem RNC erfolgen, würde sich auch die Datenrate zwischen dem RNC und den angeschlossenen Node-Bs verdoppeln, was aufgrund hoher Leitungskosten mit großen operationellen Kosten verbunden wäre.

Logische Kanäle werden in einem weiteren Verarbeitungsschritt auf folgende Transportkanäle abgebildet:

<i>BCH</i>	Der BCH (Broadcast Channel): Transportkanal Variante des logischen BCCH.
<i>DCH</i>	Der DCH (Dedicated Channel): Dieser nimmt die Daten aus zwei logischen Kanälen auf, dem logischen Dedicated Traffic Channel (DTCH) und dem logischen Dedicated Control Channel (DCCH). Da Daten in beide Richtungen gesendet werden können, existiert dieser Kanal in Uplink- und Downlink Richtung.
<i>PCH</i>	Der PCH (Paging Channel): Transportkanal Variante des logischen PCCH.
<i>RACH</i>	Der RACH (Random Access Channel): Der bidirektionale logische Common Control Channel (CCCH) heißt auf der Transportkanalebene in Uplink Richtung RACH. Dieser dient dem Teilnehmer zum Senden von RRC Connection Request Nachrichten, wenn eine Verbindungsaufnahme mit dem Netz gewünscht wird, sowie zum Senden von Paketdaten (im Cell_FACH State), falls kein Dedicated Channel zwischen Teilnehmer und Netzwerk existiert.
<i>FACH</i>	Der FACH (Forward Access Channel): Über diesen Kanal sendet das Netzwerk RRC Connection Setup Nachrichten an Teilnehmer, die zuvor über den RACH einen Verbindungswunsch gemeldet

haben. Die Nachricht enthält Informationen darüber, wie der Teilnehmer auf das Netzwerk zugreifen soll. Im Falle der Zuweisung eines Dedicated Channels, enthält die Nachricht z.B. die zu verwendenden Spreadingcodes für Uplink und Downlink Richtung. Auf dem FACH können aber auch Userdaten gesendet werden. Dies ist nur für paketvermittelte Daten sinnvoll, wenn nur kleine Datenmengen zu übertragen sind. Der Teilnehmer ist bei dieser Übertragungsart nicht im Cell\_DCH Zustand (siehe Kapitel 3.5.4), sondern im Cell\_FACH Zustand. Daten in der Uplink Richtung werden dann statt auf einem Dedicated Channel auf dem RACH übertragen.

#### *DSCH*

Der DSCH (Downlink Shared Channel): Wie in Kapitel 3.4.2 erläutert, ist dies ein optionaler Kanal und dient zur Übertragung von Userdaten für mehrere Teilnehmer in der Downlink Richtung. Wie in Abbildung 3.14 gezeigt, erhält er seine Daten aus logischen Dedicated Channels verschiedener Teilnehmer.

#### *Physikalische Kanäle*

Physikalische Kanäle (Physical Channels) sind schließlich dafür zuständig, ein physikalisches Transportmedium einem oder mehreren Transportkanälen zur Verfügung zu stellen. Außerdem erfolgt auf dieser Stufe die Kanalcodierung, also das Hinzufügen von Redundanz und Fehlererkennung.

Das Zwischenprodukt zwischen Transportkanälen und physikalischen Kanälen wird Composite Coded Transport Channel (CCTrCh) genannt und ist die Zusammenfassung mehrerer Transportkanäle, die dann anschließend über einen oder mehrere physikalische Kanäle übertragen werden. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass nicht nur mehrere Transportkanäle auf einen physikalischen Kanal gemappt werden können, (z.B. der PCH und FACH auf den S-CCPCH), sondern umgekehrt auch mehrere physikalische Kanäle auf einen einzelnen Transportkanal (z.B. der DPDCH und DPCCH auf den DCH).

Die physikalischen Kanäle im Einzelnen:

#### *P-CCPCH*

Der P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel): Dieser Kanal dient für die Ausstrahlung der Broadcast Informationen.

#### *S-CCPCH*

Der S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel): Auf diesem Kanal werden die Transportkanäle PCH und FACH ausgestrahlt. Der Spreadingfaktor für diesen Kanal ist in den Standards dynamisch festgelegt worden. Die möglichen Datenraten reichen von einigen 10 kbit/s bis zu einigen 100 kbit/s. Dies wurde so festgelegt, da der PCH und FACH neben Nachrichten

für den ersten Netzwerkzugriff auch Userdaten transportieren können (vgl. Cell\_FACH state). Da diese Verkehrslast nicht von vorneherein bekannt ist, kann der Spreadingfaktor vom Netzbetreiber entsprechend der Verkehrssituation angepasst werden.

*PRACH*

Der PRACH (Physical Random Access Channel): Die physikalische Implementierung der Random Access Channels.

*AICH*

Der AICH (Acquisition Indication Channel): Dieser Kanal ist nicht in den Kanalübersichtsbildern enthalten, da es für diesen physikalischen Kanal kein Mapping zu einem Transportkanal gibt. Dieser Kanal wird ausschließlich zusammen mit dem PRACH für die Verbindungsaufnahme eines Teilnehmers mit dem Netzwerk verwendet. Näheres dazu in Kapitel 3.4.5.

*DPDCH*

Der DPDCH (Dedicated Physical Data Channel): Dieser Kanal ist die physikalische Implementierung eines dedizierten Kanals zu einem Endgerät. Hier werden nicht nur Userdaten, sondern auch Signalisierungsdaten wie Mobility Management und Call Control übertragen.

*DPCCH*

Der DPCCH (Dedicated Physical Control Channel): Dieser wird jeweils im Uplink und Downlink zusätzlich zu einem DPDCH verwendet. Er enthält ausschließlich Layer 1 Informationen wie z.B. die Transmit Power Control (TPC) Bits zur Regelung der Sendeleistung. Außerdem werden in diesem Kanal so genannte Pilot Bits übertragen. Da die Pilot Bits immer den gleichen Wert haben, kann der Empfänger mit diesen eine Kanalschätzung für die Dekodierung des restlichen DPCCH und des dazugehörigen DPDCHs durchführen. Standardisiert ist der DPCCH in 3GPP 25.211, 5.2.1.

*PDSCH*

Der PDSCH (Physical Downlink Shared Channel): Dieser optionale Kanal kann verwendet werden, um paketvermittelte Daten an mehrere Teilnehmer zu versenden. Zwar müssen sich alle Teilnehmer, die Daten auf diesem Kanal empfangen, die Kanalkapazität teilen, das Netzwerk kann aber auf diese Weise Codes aus dem Codebaum sparen, da diese nur begrenzt zur Verfügung stehen.

*Zusammenfassung*

Während die Einteilung bei GSM in logische und physikalische Kanäle noch recht einfach zu verstehen ist, fällt dies bei der Dreiteilung in UMTS in logische-, transport- und physikalische Kanäle schon schwieriger. Deshalb hier eine Zusammenfassung der Kanalarten und ihre wichtigsten Aufgaben:

- **Logische Kanäle:** Beschreiben unterschiedliche Informationsflüsse wie User- und Signalisierungsdaten. Logi-

sche Kanäle enthalten keine Information über die Charakteristiken des Übertragungskanals.

- **Transport Kanäle:** Bereiten die Datenpakete von logischen Kanälen für die Übertragung über die Luftschnittstelle vor. Außerdem wird hier festgelegt, welche Kanalkodierungsverfahren (z.B. Fehlerkorrekturverfahren) in der physikalischen Schicht anzuwenden sind.
- **Physikalische Kanäle:** Beschreiben, wie Daten aus Transportkanälen tatsächlich physikalisch übertragen werden und führen die Kanalkodierung bzw. Dekodierung durch.

Um einen Eindruck zu bekommen, in welcher Weise unterschiedliche Kanäle verwendet werden, folgen nun zwei Beispiele:

#### 3.4.4 Beispiel: Netzwerksuche

Nach dem Einschalten eines Endgeräts erfolgt zuerst die Suche nach einem vorhandenen und geeigneten UMTS Netzwerk. Danach meldet sich das Endgerät beim Netzwerk an und ist ab diesem Zeitpunkt für eingehende Telefonanrufe, Kurznachrichten usw. erreichbar. Beim Ausschalten schreibt das Endgerät die aktuellen Informationen über das Netzwerk (z.B. den von der aktuellen Zelle verwendeten primären Scrambling Code) auf die SIM Karte. Damit kann nach erneutem Einschalten des Endgeräts ein Großteil der nötigen Prozeduren für die Netzwerksuche entfallen. In diesem Beispiel wird jedoch davon ausgegangen, dass bisher keine oder nur ungültige Netzwerkinformationen auf der SIM Karte gespeichert sind. Dies ist z.B. der Fall, wenn die SIM Karte das erste Mal verwendet wird, oder wenn beim Einschalten die auf der SIM Karte beschriebene Zelle nicht mehr gefunden wird. Dies kann z.B. dann vorkommen, wenn der Benutzer ein Endgerät im ausgeschalteten Zustand an einen anderen Ort gebracht hat.

#### *Slot Synchronisation*

Wie bei allen Kommunikationsverbindungen, müssen auch bei UMTS Netzwerk und Endgeräte synchronisiert sein. Ohne eine korrekte Synchronisierung ist es z.B. nicht möglich, zum richtigen Zeitpunkt eine RRC Connection Request Nachricht zu senden, oder den Anfang eines Datenframes zu erkennen, der vom Netzwerk gesendet wird. Die erste Aufgabe für das Endgerät nach dem Einschalten ist deshalb, sich mit dem Netzwerk zu synchronisieren. Dazu sucht das Endgerät auf den für UMTS



vergebenen Frequenzen nach dem Primary Synchronization Channel (P-SCH). Wie in Abbildung 3.16 gezeigt, besteht ein UMTS Datenframe aus 15 Slots, die normalerweise jeweils 2560 Chips transportieren. Auf dem P-SCH werden jedoch nur die ersten 256 Chips pro Slot verwendet und alle Basisstationen senden mit dem gleichen Code. Werden mehrere Signale (z.B. von unterschiedlichen Basisstationen) zeitlich verschoben empfangen, synchronisiert sich das Endgerät auf das Timing der Bursts mit der besten Signalqualität.

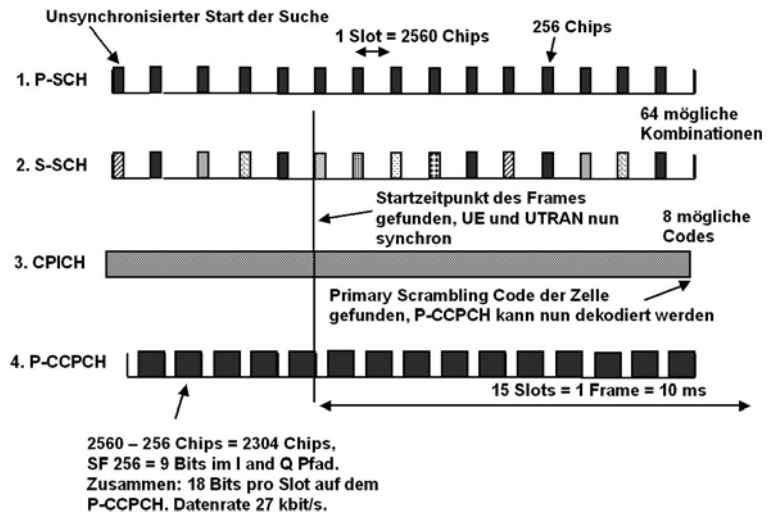


Abb. 3.16: Zellsuche nach Einschalten des Mobiltelefons

*Frame Synchronisation*

Wurde der P-SCH und somit der Anfang eines Slots gefunden, wird im nächsten Schritt der Anfang eines Frames gesucht. Dazu sucht das Endgerät den Secondary Synchronization Channel (S-SCH). Auch auf diesem Kanal werden in jedem Slot wiederum nur die ersten 256 Chips gesendet, jedoch wird in jedem Slot ein anderes Chipmuster verwendet. Da die Chipmuster und die Reihenfolge bekannt sind, kann das Endgerät somit herausfinden, welcher Slot der erste eines Frames ist. Somit ist nun auch der Beginn eines Frames bekannt.

*Suche nach dem Primary Scrambling Code der Zelle*

Da alle Basisstationen eines Netzbetreibers auf der gleichen Frequenz senden, unterscheiden sich diese im Downlink nur durch die Verwendung von unterschiedlichen Scrambling Codes. Mit dem Scrambling Code werden alle Downlink Kanäle der Zelle inklusive des P-CCPCH kodiert, der die System Broadcast Infor-

mationen ausstrahlt. Ziel des nächsten Schrittes ist es deshalb, den Primary Scrambling Code der ausgewählten Zelle zu ermitteln. Der erste Teil dieses Prozesses wurde schon mit der korrekten Identifizierung des S-SCH und des gesendeten Chipmusters eingeleitet. Insgesamt gibt es auf dem S-SCH 64 unterschiedliche Chipmuster, die fest vom Standard vorgegeben sind. Somit können an einem Ort theoretisch bis zu 64 unterschiedliche Zellen betrieben werden. Auf einem weiteren Kanal, dem Common Pilot Channel (CPICH), wird zur Ermittlung des Primary Scrambling Codes wiederum ein festes und somit bekanntes Chipmuster ausgestrahlt. In Abhängigkeit der 64 unterschiedlichen S-SCH Chipmuster gibt es 8 mögliche Scrambling Codes. Nur mit einem dieser 8 kann der CPICH korrekt dekodiert werden.

#### *Lesen der Systeminformationen*

Nachdem über den CPICH nun auch der Primary Scrambling Code der Zelle bekannt ist, kann das Endgerät im nächsten Schritt den P-CCPCH und die darin enthaltenen Systeminformationen lesen. Der P-CCPCH wird dabei immer mit dem Spreading Code C<sub>256,1</sub> übertragen und kann so vom Endgerät einfach gefunden werden. Erst danach weiß das Endgerät, zu welchem Netzwerk die Zelle gehört. Informationen, die auf dem Broadcast Channel / P-CCPCH ausgestrahlt werden, sind z.B.:

- Netzwerk Identität (MCC/MNC), Location Area (LAC) und Cell-ID.
- Cell Access Restrictions, d.h. welche Teilnehmergruppen mit der Zelle kommunizieren dürfen.
- Primary Scrambling Codes und Frequenzen der Nachbarzellen. Diese Informationen werden für Nachbarzellenmessung und Cell Reselection benötigt.
- Frequenzinformationen von benachbarten GSM Zellen, die verwendet werden, wenn keine geeignete UTRAN Zelle für ein Zellwechsel zur Verfügung steht.
- Parameter, die den Cell Reselection Algorithmus beeinflussen können.
- Maximale Sendeleistung, mit der das Endgerät auf den RACH zugreifen darf.
- Informationen über die Konfiguration des PRACH und S-CCPCH (also des PCH und FACH).

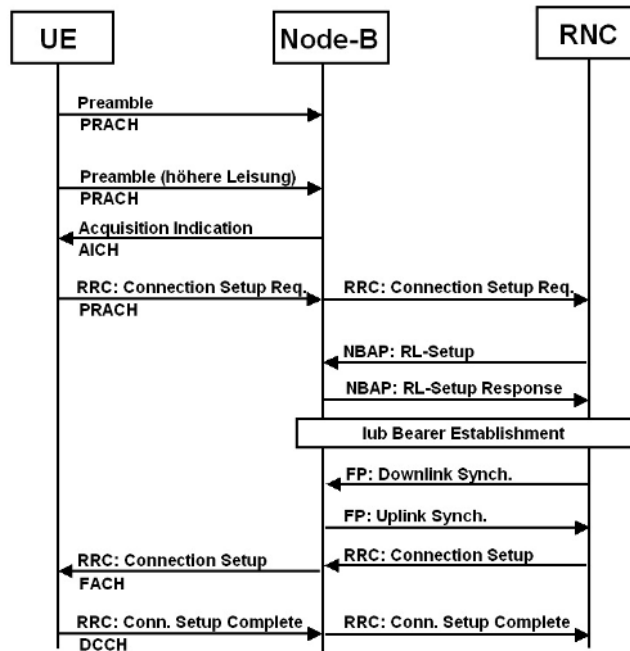
Das Endgerät hat nun im nächsten Schritt die Möglichkeit, sich am Netzwerk über ein Location Update oder GPRS Attach anzu-

melden. Diese Prozeduren verwenden auf den oberen Protokollschichten die Mobility Management bzw. Packet Mobility Management Protokolle, die auch bei GSM und GPRS verwendet werden. Für UMTS wurden diese nur leicht angepasst. Für weitere Information hierzu siehe Kapitel 1.8.1 und 2.7.1.

### 3.4.5 **Beispiel: Der erste Netzwerkzugriff**

Die Initial Network Access Prozedur wird immer dann durchgeführt, wenn das Endgerät mit dem Netzwerk Verbindung aufnehmen möchte. Dies kann ganz unterschiedliche Ursachen haben, wie z.B. ein Location Update, ein abgehendes Telefonat, eine erhaltene Paging Nachricht, oder auch der Beginn einer paketvermittelten Datenübertragung (PDP Context Activation). In allen Fällen muss das Endgerät vom Radio Netzwerk einen Übertragungskanal anfordern.

Zu Beginn der Initial Network Access Prozedur sendet das Endgerät eine oder mehrere 4096 Chip lange Sequenzen, die Präambel genannt werden. Die Übertragungsdauer einer 4096 Chip langen Präambel ist genau eine Millisekunde. Erhält das Endgerät keine Antwort, wird erneut eine Präambel gesendet, jedoch mit einer etwas höheren Sendeleistung. Dieser Vorgang wird wiederholt, bis das Netzwerk reagiert. Diese allmähliche Leistungssteigerung ist notwendig, da das Endgerät bei der ersten Verbindungsaufnahme noch nicht wissen kann, welche Sendeleistung genügt, um mit dem Netzwerk zu kommunizieren. Deshalb erfolgt die Verbindungsaufnahme erst mit einer kleinen Sendeleistung, die wenig Interferenzen hervorruft, aber auch nicht unbedingt Erfolg garantiert. Um dem Netzwerk Gelegenheit zur Antwort zu geben, sind die Sequenzen jeweils 3 Slots voneinander getrennt. Hat das Netzwerk die Präambel eines Teilnehmers empfangen, sendet es diesem auf dem Acquisition Indication Channel (AICH) eine Nachricht zurück. Somit kennt das Endgerät die zu verwendende Sendeleistung und sendet auf dem PRACH einen 10 oder 20 Millisekunden langen Frame, der eine RRC Connection Request Nachricht enthält. Da der Spreizfaktor des PRACHs variabel sein kann, kann diese Nachricht 9 bis 75 Octets enthalten.



**Abb. 3.17:** Verbindungsaufnahme mit dem Netzwerk (RRC Connection Setup) (siehe auch 3GPP TS 25.931, 7.3.1)

Um Kollisionen auf dem PRACH von unterschiedlichen Endgeräten zu vermeiden, wird der PRACH in 15 Slots eingeteilt. Außerdem gibt es 16 unterschiedliche Codes für die Präambel. Somit ist es sehr unwahrscheinlich, dass zwei Endgeräte zur selben Zeit den gleichen Code verwenden. Geschieht dies doch, wird die Verbindungsaufnahme dieser Geräte scheitern, und die Prozedur muss wiederholt werden. Nachdem der RNC die RRC Connection Request Nachricht erhalten hat, kann er die nötigen Übertragungskanäle im Radionetzwerk und auf der Luftschnittstelle reservieren. Der RNC hat dabei zwei Möglichkeiten:

- Der RNC kann einen Dedicated Channel für die Kommunikation verwenden, das Mobiltelefon wechselt dann in den RRC State Cell-DCH (vgl. Kapitel 3.5.4). Ein solcher Kanal wird gewählt, wenn aus der Connection Request Nachricht ersichtlich ist, dass das Endgerät eine Nutzdatenverbindung aufbauen möchte. Diese Möglichkeit ist in Abbildung 3.17 dargestellt.

- Der RNC kann sich aber auch entscheiden, die Kommunikation weiterhin über den RACH und den FACH fortzuführen. Das Mobiltelefon wechselt in diesem Fall in den RRC State Cell-FACH (vgl. Kapitel 3.5.4). Ein solcher „Shared“ Channel kann als Übertragungskanal vom RNC ausgewählt werden, wenn aus der Connection Request Nachricht ersichtlich ist, dass ein Endgerät nur eine Signalisierungsverbindung z.B. für einen Location Update aufbauen möchte. Ein solcher Kanal kann auch verwendet werden, wenn das Endgerät eine paketvermittelte Datenverbindung aufbauen will, die keine hohe Bandbreite oder schnelle Antwortzeit benötigt.

Nach Auswahl und Reservierung der Kanäle schickt der RNC eine RRC Connection Setup Nachricht über den FACH an das Endgerät zurück. Das Endgerät antwortet daraufhin auf dem zugeteilten Kanal mit einer RRC Connection Setup Complete Nachricht.

Nach dieser allgemeinen Prozedur folgen jetzt die spezifischen Prozeduren zwischen dem Kernnetz und dem Endgerät, wie der Aufbau eines Telefongesprächs oder die Aktivierung eines PDP Contexts. Einige dieser Szenarien werden in Kapitel 3.7 gezeigt.

### 3.4.6

#### Der Uu Protokoll Stack

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, werden in UMTS Daten auf der Luftschnittstelle in Kanälen übertragen. Wie auf jeder anderen Schnittstelle auch, werden die Daten in diesen Kanälen über mehrere Protokollebenen für die Übertragung vorbereitet. Für die meisten Kanäle werden im Radionetzwerk alle Teile des Protokollstacks, mit Ausnahme des Physical Layers, im RNC bearbeitet. Nur für Kanäle wie z.B. dem BCCH, der großteils statische Informationen enthält, ist der Protokollstack auf dem Node-B implementiert.

Wie in Abb. 3.18 dargestellt, werden am oberen Ende des Protokollstacks so genannte Higher Layer PDUs (Datenpakete) an den RNC übergeben. Dies können z.B. Userdaten wie IP Pakete oder Sprachdaten sein, sowie Control Plane Nachrichten der MM, CC, PMM und SM Subsysteme.

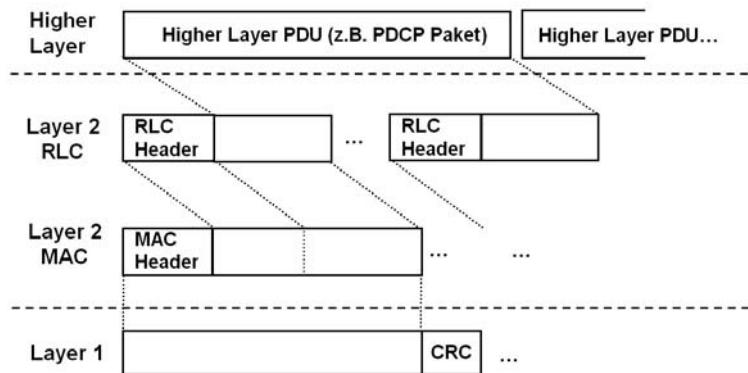
*PDPC Layer  
Headerkompri-  
mierung nach  
RFC 2507*

Handelt es sich bei einem eingehenden Paket um IP Daten, komprimiert das PDPC (Packet Data Convergence Protocol) Protokoll im nächsten Schritt den IP Header. Der verwendete Algorithmus wird in RFC 2507 beschrieben. Dies steigert die Daten-

übertragungsrate, da der IP Header je nach Paketgröße einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Datenaufkommen hat. Da die meisten Werte in einem IP Header statisch sind, ist eine Komprimierung leicht möglich.

*RLC Layer  
(3GPP 25.322)*

Der RLC (Radio Link Control) Layer kennt die physikalischen Eigenschaften der Luftschnittstelle und teilt die aus den oberen Schichten angelieferten Datenpakete für die Übertragung über die Luftschnittstelle auf (Segmentation). Dies ist notwendig, da PDCP Pakete, also z.B. komprimierte IP Pakete unterschiedliche Längen haben und durchaus über 1000 Bytes lang sein können. Pakete, die über die Luftschnittstelle übertragen werden, sind jedoch wesentlich kleiner und haben stets eine feste Länge. Die Größe der Nutzdaten in diesen Paketen wird im Wesentlichen durch den Spreizfaktor, das Übertragungszeitintervall (10 - 80 Millisekunden = Transmit Time Interval, TTI) und den verwendeten Fehlerkorrekturmechanismen bestimmt.



**Abb. 3.18:** Aufbereitung der Daten für die Übertragung über die Luftschnittstelle (Uu)

Wie bei GSM, werden auch bei UMTS möglichst kleine Datenpakete über die Luftschnittstelle übertragen. Dies hat den Vorteil, dass im Fehlerfall nur wenige Daten erneut zu übertragen sind. Einige Beispiele: Wurde einem Endgerät z.B. ein Kanal mit einer Datenrate von 384 kbit/s und einem TTI von 10 Millisekunden zugeteilt, kann jedes Datenpaket 480 Bytes Nutzdaten enthalten. Bei einer Datenrate von 64 kbit/s und einem Übertragungsintervall von 20 Millisekunden sind es 160 Bytes. Bei einer Sprach-

übertragung mit 12,2 kbit/s und TTI von 20 Millisekunden werden pro Paket schließlich nur noch 30 Bytes übertragen.

Im umgekehrten Fall ist es auch möglich, mehrere RLC Pakete pro TTI zu übertragen (concatenation), falls die Datenpakete aus höheren Schichten kleiner als die Paketgröße im Zeitintervall sind.

Sollten alle gerade vorhandenen Datenpakete aus höheren Schichten kein komplettes Paket für die Luftschnittstelle ausfüllen können, füllt der RLC Layer die restlichen Bits des Pakets auf, da die Paketgröße über die Luftschnittstelle konstant ist. Dieser Vorgang wird Padding genannt. Statt dem Padding können die ungenutzten Bits auch für RLC Kontrollnachrichten verwendet werden.

Je nach Art der zu übertragenden Daten gibt es drei unterschiedliche RLC Modi:

#### *RLC Transparent Mode*

Der RLC Transparent Mode wird hauptsächlich für die Übertragung von leitungsvermittelten Sprachkanälen verwendet, sowie für den BCCH und den PCCH. Im Falle der Sprachpakete ist keine Segmentierung oder Padding notwendig, da die Pakete schon in einem festen Frame Format (alle 20 Millisekunden ein Sprachpaket mit fester Länge) geliefert werden und somit ohne weitere Modifikationen übertragen werden können.

#### *RLC Non Acknowledged Mode*

Auch der RLC Non Acknowledged Mode bietet das oben beschriebene Segmentation und Concatenation für Daten aus höheren Schichten an. Darüber hinaus ist es in diesem Mode möglich, über ein oder mehrere Längenangaben im RLC Header den Beginn und das Ende von Layer-3-Nutzdatenpaketen zu markieren. Somit ist es möglich, unabhängig von der Größe der Pakete aus höheren Schichten die RLC Pakete immer komplett zu füllen.

Werden Pakete fehlerhaft übertragen oder gehen verloren, gibt es im Non Acknowledged RLC Mode keine Möglichkeit, dies zu erkennen und die Pakete nochmals zu übertragen. Somit muss diese Aufgabe, falls gewünscht, auf höheren Protokollschichten (z.B. im IP und TCP Layer) durchgeführt werden.

#### *RLC Acknowledged Mode*

Dritter Modus ist der RLC Acknowledged Mode. Zusätzlich zu den Diensten des Non Acknowledged Modes bietet diese Übertragungsart noch zusätzlich Flusskontrolle und erneute Übertragung von fehlerhaften oder verlorenen Datenblöcken an. Ähnlich wie bei TCP wird ein ‚Fensterverfahren‘ für die Bestätigung korrekter Blocks verwendet. Dies bedeutet, dass nicht nach jeder Übertragung eines Blocks auf eine Bestätigung gewartet werden

muss. Stattdessen können weitere Blöcke bis zur maximalen Fenstergröße übertragen werden. Während dieser Zeit hat die Gegenstelle die Möglichkeit, Blöcke innerhalb des Fensters zu bestätigen und somit das Fenster weiter nach vorne zu schieben. Ging ein Block verloren, bleibt eine Bestätigung für diesen aus, und der fehlende oder fehlerhafte Block wird automatisch neu übertragen. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass bei korrekter Übertragung keine Verzögerung durch das Warten auf eine Bestätigung entsteht. Die Fenstergröße kann bei UMTS von 1 bis  $2^{12}$  Datenblöcken zwischen UE und RNC ausgehandelt werden. Diese Flexibilität ist das Resultat aus den Erfahrungen, die bei GPRS gemacht wurden. Dort ist die Fenstergröße fest mit 64 Blöcken vorgegeben. Dies führt vor allem bei Verwendung von CS-3 und 4 und steigender Fehlerrate (Block Error Rate, BLER) zu Unterbrechungen bei der Übertragung, da Datenblöcke nicht schnell genug gemeldet und erneut übertragen werden können.

#### *Der MAC Layer*

Nachdem der RLC Layer die Datenpakete für die Übertragung über die Luftschnittstelle segmentiert und evtl. mit Kontrollinformationen versehen hat, führt der MAC (Medium Access Control) Layer folgende Operationen aus:

Auswahl eines geeigneten Transportkanals: Wie in Abbildung 3.14 gezeigt wurde, können logische Kanäle auf unterschiedliche Transportkanäle abgebildet werden. Nutzdaten des Dedicated Traffic Channel (DTCH) können z.B. auf einem Dedicated Channel (DCH), auf dem Forward Access Channel (FACH), oder auf einem Shared Channel übertragen werden. Welche Art Transportkanal für eine Verbindung verwendet wird, wurde vom Netzwerk beim Aufbau der Verbindung festgelegt. Diese Zuordnung kann jedoch vom Netzwerk auch jederzeit geändert werden.

Eine weitere Aufgabe des MAC Layers ist das Multiplexing von Daten auf Common und Shared Channels. Der FACH kann, wie bereits beschrieben, nicht nur für den Transport von RRC Nachrichten für unterschiedliche Benutzer verwendet werden, sondern kann auch Nutzdatenpakete befördern. Der MAC Layer ist dafür zuständig, die logischen Kanäle auf gemeinsamen Transportkanälen zu multiplexen und jeweils einen MAC Header voranzustellen. Dieser beschreibt unter anderem, für welchen Teilnehmer das Datenpaket bestimmt ist. Dieser Teil des MAC Layer wird MAC c/sh (common/shared) genannt.

Auch für Dedicated Channels ist der MAC Layer für das Multiplexing unterschiedlicher Datenströme zuständig. Wie ebenfalls in



Abbildung 3.14 zu sehen ist, werden der logische Nutzdatenkanal (DTCH) und der logische Signalisierungskanal (DCCH) eines Nutzers auf einen gemeinsamen Transport Dedicated Channel (DCH) gemultiplext. Somit ist es möglich, dass der Benutzer über einen Transportkanal nicht nur Nutzdaten empfängt, sondern auch gleichzeitig Signalisierungsnachrichten der MM (Mobility Management), PMM (Packet Mobility Management), CC (Call Control) und SM (Session Management) Subsystems. Dieser Teil des MAC Layers wird MAC-d (dedicated) genannt.

Bevor die so zusammengesetzten Datenpakete an die physikalische Schicht weitergegeben werden, fügt die MAC Schicht noch Informationen in den MAC Header ein, die dem physikalischen Layer im nächsten Schritt Aufschluss darüber geben, in welchem Transport Format die Daten übertragen werden sollen. Dieses so genannte Transport Format Set (TFS) beschreibt die Kombination aus Datenübertragungsrate, dem Transmit Time Interval (TTI) des Paketes, der Art der Kanalkodierung, sowie den anzuwendenden Mechanismus für die Fehlerkorrektur.

*Der Physikalische Layer*

Für die meisten Kanäle sind alle bisher beschriebenen Protokollschichten im RNC implementiert. Der unterste Layer, der Physical Layer, ist jedoch in der Basestation (Node-B) implementiert. Der Physical Layer im Node-B hat folgende Aufgaben:

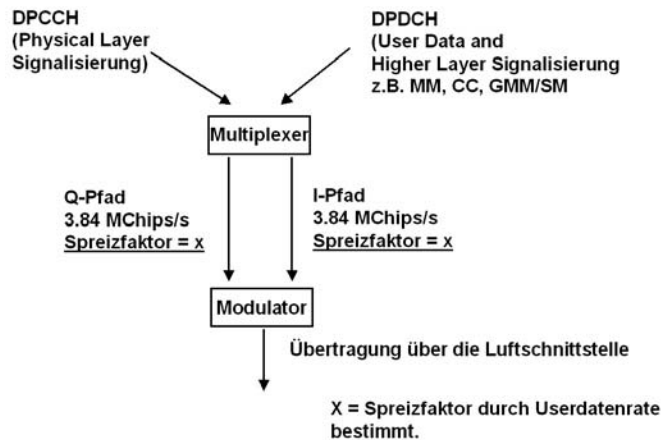
Um den für die Fehlererkennung und Fehlerkorrektur auf der Luftschnittstelle nötigen Overhead nicht auf der Iub Schnittstelle übertragen zu müssen, wird die Kanalkodierung erst im Node-B durchgeführt. Dies ist möglich, da im Header jedes Datenpakets das Transport Format Set (TFS) Feld angibt, welcher Kanalkodierer anzuwenden ist. Bei UMTS gibt es neben dem schon von GSM bekannten  $\frac{1}{2}$  Rate Convolutional Coder auch noch einen  $\frac{1}{3}$  Rate Coder, sowie den TurboCoder. Durch Hinzufügen von Fehlererkennung und Fehlerkorrekturbits zum Datenstrom verdoppelt sich der Datenstrom beim  $\frac{1}{2}$  Rate Coder und wird durch den  $\frac{1}{3}$  Rate Coder sogar verdreifacht.

Danach findet auf dem physikalischen Layer die Spreizung des Originaldatenstroms statt, aus den Bits werden Chips, die dann über die Luftschnittstelle übertragen werden.

Schließlich werden die zu übertragenden Daten im Modulator in ein analoges Signal umgewandelt und anschließend über die Luftschnittstelle übertragen. Als Modulationsverfahren kommt das Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) Verfahren zum Einsatz, mit dem pro Übertragungsschritt 2 Chips übertragen werden können.

## Downlink

Im Node-B wird dabei im Downlink, wie in Abbildung 3.19 dargestellt, ein Bit über die komplexe I Ebene übertragen, und ein weiteres Bit gleichzeitig über die Q Ebene. Da in jeder Ebene die Datenrate mit 3.84 MChips/s fest vorgegeben ist, ergibt sich eine „Gesamtdatenrate“ von  $2 * 3.84$  MChips/s. Der Dedicated Physical Data Channel (DPDCH) und der Dedicated Physical Control Channel (DPCCH), der vor allem bei niedrigen Spreizfaktoren nur einen kleinen Teil der Datenmenge ausmacht, werden im Downlink im Zeitmultiplex übertragen.



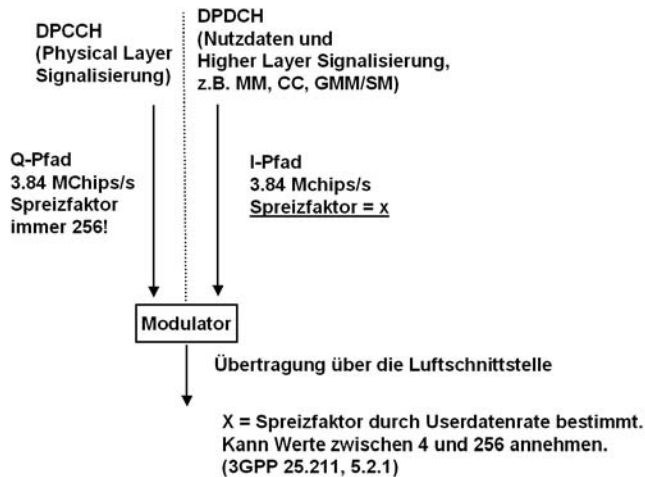
**Abb. 3.19:** Datenübertragung im Downlink Richtung über den I und Q Pfad

## Uplink

Im Uplink, also vom Endgerät zum Netz, wurde für die Übertragung ein etwas anderes Verfahren gewählt: Wie im Downlink wird ebenfalls das QPSK Modulationsverfahren verwendet. Statt jedoch auf dem I und Q Pfad Nutzdaten zu übertragen, werden diese im Uplink nur auf dem I-Pfad gesendet. Der Q Pfad wird ausschließlich zur Übertragung des Dedicated Physical Control Channels (DPCCH) verwendet, der Layer 1 Nachrichten z.B. für die Leistungsregelung (Power Control) überträgt (vgl. 3GPP 25.211, 5.2.1). Somit wird im Uplink nur ein Pfad für die eigentliche Nutzdatenübertragung verwendet. Wenn im Uplink und Downlink die Datenraten gleich sind (z.B. für Sprachübertragung) ist somit der Spreizfaktor in Uplink Richtung nur halb so lang wie der Spreizfaktor im Downlink.

Anmerkung: Der Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) überträgt nur Layer 1 Kontrollnachrichten (z.B. für die Leistungs-

regelung). Kontroll- und Signalisierungsnachrichten der MM, PMM, CC und SM Subsysteme zwischen Endgerät und MSC bzw. SGSN, werden nicht über den DPCCH, sondern über den logischen DCCH übertragen. Dieser wird zusammen mit dem logischen DTCH (Nutzdaten) im DPDCH Transportkanal übertragen (vgl. Abbildung 3.14, 3.19 und 3.20).



**Abb. 3.20:** Datenübertragung in Uplink Richtung verwendet nur die I-Ebene mit DPCCH in Q-Ebene

*Keine komplette Abschaltung im Uplink bei DTX*

Dieses Verfahren wurde aus folgendem Grund gewählt: In vielen Fällen müssen in der Uplink Richtung keine Daten übertragen werden. Dies ist z.B. bei Sprachverbindungen der Fall, wenn gerade nicht gesprochen wird, sowie bei paketvermittelter Datenübertragung, wenn keine Daten für die Übertragung vorhanden sind. Sendet während dieser Phase die Mobilstation keine Pakete (Discontinuous Transmission, DTX), kann Batteriekapazität eingespart werden und das Interferenzniveau für andere Teilnehmer gesenkt werden. Der Nachteil einer kompletten Leistungsabschaltung ist jedoch, dass das An- und Abschalten der Leistung über nahe gelegene Radioempfänger zu hören ist. Dies ist z.B. bei GSM Endgeräten der Fall und kann dort auch deutlich gehört werden. Bei UMTS wird im Uplink jedoch nur die Übertragung auf dem I-Pfad zeitweise eingestellt, der DPCCH im Q-Pfad wird weiterhin gesendet. Die Sendeleistung wird somit nicht ganz abgeschaltet, aber dennoch deutlich reduziert. Das typische GSM Brummen in nahe gelegenen Radioempfängern ist somit nicht mehr zu hören.

## 3.5 Das UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)

### 3.5.1 Node-B, Iub Interface, NBAP und FP

Die Basisstation, bei UMTS Node-B genannt, übernimmt alle Funktionen für das Senden und Empfangen von Daten über die Luftschnittstelle. Dies umfasst, wie in Kapitel 3.4 beschrieben, im Wesentlichen die Kanalkodierung, das Spreading bzw. De-Spreading der Daten, sowie die Modulation. Außerdem ist der Node-B auch für die Leistungsregelung der einzelnen Verbindungen zuständig. Der Node-B erhält hierzu lediglich Vorgaben vom RNC.

#### *Sektorisierte Node-B Konfiguration*

Größe und Kapazität eines Node-Bs sind variabel. Für Regionen mit großem Daten- und Sprachaufkommen werden bevorzugt sektorisierte Konfigurationen eingesetzt. Das bedeutet, dass der Node-B seinen Versorgungsbereich mit mehreren, voneinander unabhängigen Zellen abdeckt. Jede Zelle hat dabei ihre eigene Cell ID, Scrambling Code, sowie ihren eigenen Codebaum. Jede Zelle hat außerdem eine oder mehrere eigene Antennen. Diese decken z.B. 180 Grad (2 Sektor Konfiguration), 120 Grad (3 Sektoren) oder sogar nur 90 Grad (4 Sektoren) ab, wenn sehr hohes Datenaufkommen erwartet wird. Je nach Anzahl der Sektoren und Datenaufkommen muss der Node-B dann auch mit entsprechender Kapazität über die Iub Schnittstelle an seinen RNC angeschlossen sein. Nur wenige 64 kbit/s Timeslots wie bei GSM reichen für einen Node-B nicht mehr aus, da die Datenrate der Luftschnittstelle bei UMTS wesentlich größer ist. Um hohe Datenraten für möglichst viele Teilnehmer zu garantieren, ist ein Node-B deshalb je nach Ausstattung üblicherweise mit einer oder mehreren E-1 Verbindungen (je 2.048 MBit/s) an seinen RNC angeschlossen.

#### *Omnidirektionale Node-B Konfiguration*

Für Regionen mit geringem Daten- und Sprachaufkommen wird üblicherweise nur ein Node-B mit einer Zelle verwendet. Mit einer entsprechend hohen Sendeleistung kann dieser dann einen großen omnidirektionalen geographischen Bereich abdecken. Von außen ist eine solche Konfiguration nicht ohne weiteres zu erkennen, da durchaus eine sektorisierte Antennenanordnung verwendet werden kann. Dies wird vor allem deshalb gemacht, um die Empfangseigenschaften des Node-Bs zu verbessern. Im Downlink wird in einer solchen Konfiguration das gleiche Signal über alle Antennen ausgestrahlt, die Kapazität ist mit einer omnidirektionalen Konfiguration identisch. Im Uplink jedoch kann die Signalenergie eines Teilnehmers mit einer sektorisierten Anten-

- nenkonfiguration wesentlich besser empfangen werden, als mit einer einzigen omnidirektionalen Antenne (Antennengewinn).
- Microzellen* Für Gebiete mit sehr hohem Datenaufkommen, z.B. Straßenzüge in Innenstädten, werden Node-Bs in einer Microzellenkonfiguration verwendet. Auch diese haben nur eine Antenne, decken dann aber meistens nur ein wenige hundert Meter einer Straße ab. Für solche Anwendungen haben Netzwerkanbieter Node-Bs mit kompakten Abmessungen im Programm. Die Kapazität eines solchen Node-Bs ist jedoch meist auf einen Sektor begrenzt und auch die Sendeleistung ist geringer als bei Node-Bs mit größeren Abmessungen.
- NBAP  
(3GPP 25.433)* Für den Austausch von Kontroll- und Konfigurationsinformationen wird auf der Iub Schnittstelle zwischen RNC und Node-B das Node-B Application Part (NBAP) Protokoll verwendet. Es hat unter anderen folgende Aufgaben:
- Zellkonfiguration
  - Common Channel Management
  - Dedicated Channel Management, wie z.B. den Aufbau einer neuen Verbindung zu einem Teilnehmer.
  - Übertragung von Signal- und Interferenzmesswerten von Common und Dedicated Channels.
  - Kontrolle des Compressed Mode (vgl. Kapitel 3.7.1 Inter-system Handover).
- Das Frame Protocol (FP)* Nutzdaten werden zwischen RNC und Node-B über das Frame Protocol (FP) übertragen, das für Dedicated Channels im 3GPP Standard 25.427 beschrieben ist. Dies ist für das korrekte Senden und den korrekten Empfang von Nutzdaten über die Iub Schnittstelle zuständig. Es transportiert die Daten in einem Format, das vom Node-B direkt in einen Uu Frame umgewandelt werden kann. Für diese Umwandlung verwendet der Node-B den Traffic Format Identifier (TFI), der Teil jedes FP Pakets ist. Dieser gibt unter anderem die Framelänge vor, sowie den zu verwendenden Channel Coder.
- Synchronisation des Datenstroms* Das Frame Protocol wird außerdem zur Synchronisation der Nutzdatenverbindung zwischen RNC und Node-B verwendet. Dies ist besonders für den Datentransfer im Downlink wichtig, da der Node-B alle 10, 20, 40 oder 80 Millisekunden ein Frame zum Endgerät sendet. Um kurze Verzögerungszeiten zu gewährleisten ist es notwendig, dass die vom RNC gesendeten Datenpakete rechtzeitig für den nächsten Uu Frame beim Node-B einge-

hen. Geschähe dies nicht, müsste das Datenpaket bis zum nächsten Uu Frame gepuffert werden. Um dies zu gewährleisten, werden Synchronisationsnachrichten beim ersten Einrichten des Kanals (Bearers) zwischen Node-B und RNC ausgetauscht, sowie auch dann, wenn die Synchronisierung einmal verloren gehen sollte.

Schließlich werden in FP Frames auch Quality Estimates vom Node-B zum RNC übertragen. Diese helfen dem RNC bei einem Soft Handover (vgl. Kapitel 3.7.1), den besten Datenblock eines Teilnehmers von unterschiedlichen Node-Bs auszuwählen.

### 3.5.2 Der RNC, Iu, Iub und Iur Schnittstelle, RANAP und RNSAP

Das Herz des UMTS Radionetzwerkes ist der Radio Network Controller, kurz RNC genannt. Wie in Abbildung 3.21 und 3.22 gezeigt, laufen hier alle Schnittstellen des Radionetzwerkes zusammen.

#### *Die Iub Schnittstelle*

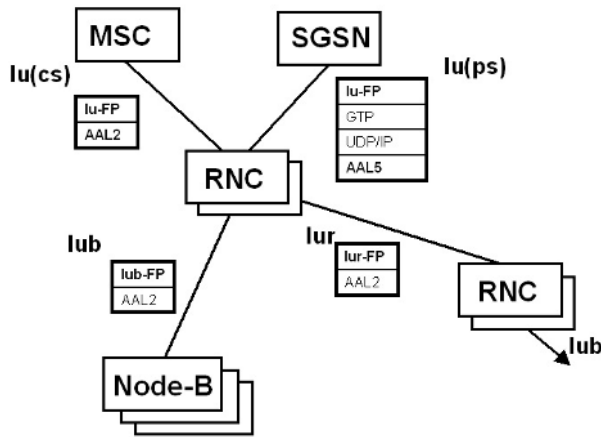
#### *Iub Bandbreite pro Node-B*

In Richtung des mobilen Teilnehmers sind über die Iub Schnittstelle normalerweise mehrere dutzend Node-Bs an einen RNC angeschlossen. In der UMTS Anfangsphase sind die meisten Node-Bs über eine oder mehrere 2 MBit/s E-1 Strecken drahtgebunden oder per Richtfunk an den RNC angeschlossen. Wie viele Verbindungen pro Node-B verwendet werden, hängt hauptsächlich von der Anzahl der Sektoren des Node-Bs ab, sowie der Anzahl der verwendeten Frequenzen. Da anzunehmen ist, dass das Datenaufkommen pro Node-B in Zukunft steigen wird, ist zu erwarten, dass Node-Bs in Zukunft auch über STM-1 (155 MBit/s) angeschlossen werden. Da ein Node-B diese Kapazität alleine nicht benötigt, können sich mehrere Node-Bs eine STM-1 Verbindung über eine Reihenschaltung teilen. Auf der physikalischen Schicht hat ein Netzbetreiber die Wahl, diese Verbindung elektrisch, optisch oder per Richtfunk herzustellen. Welche Übertragungsart gewählt wird, hängt hauptsächlich von der Datenrate ab, die der Node-B unterstützen soll, sowie von den monatlichen Kosten, die eine solche Verbindung verursacht. Je größer die Übertragungskapazität, desto höher auch die monatlichen Kosten. Diese sind bei UMTS gegenüber GSM höher, da UMTS wesentlich höhere Datenraten bietet und somit ein Node-B mit einer größeren Bandbreite an das Radionetzwerk angeschlossen werden muss.

#### *ATM und IP als Transportprotokoll*

Auf höheren Schichten spielt es keine Rolle, welches Übertragungsverfahren zum Einsatz kommt, da unabhängig davon grundsätzlich ATM als Transportprotokoll verwendet wird. Für

die Zukunft ist im Standard auch vorgesehen, alternativ statt ATM das IP Protokoll als Layer 3 Transportprotokoll auf allen Schnittstellen des UTRAN zu verwenden. Dies bereitet jedoch zusätzlichen Aufwand, da Datenströme zwischen Node-B und RNC synchron ausgetauscht werden müssen. Dies kann mit IP als Transportprotokoll nicht ohne zusätzliche neue Mechanismen gewährleistet werden. Um UMTS jedoch möglichst schnell einführen zu können, wurde daher zuerst auf ATM mit seinen ausgezeichneten und über Jahre bewährten Eigenschaften als Echtzeitübertragungsprotokoll zurückgegriffen.



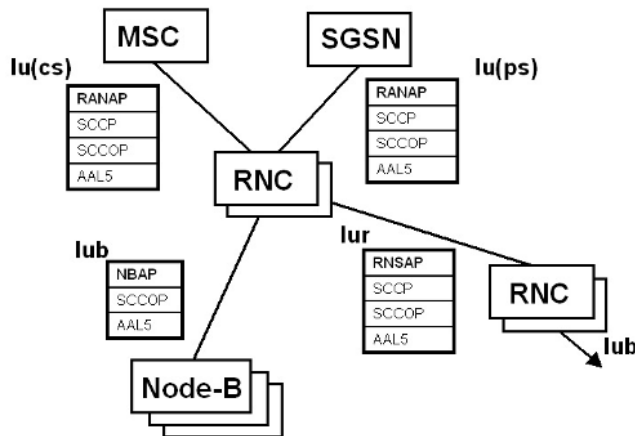
**Abb 3.21:** RNC Protokolle und Interfaces für User Daten (User Plane)

In Richtung des Kernnetzwerks ist der RNC über die Iu Schnittstelle verbunden. In Release 99 gibt es weiterhin, wie in Abbildung 3.3 in der Einleitung des Kapitels gezeigt wurde, zwei voneinander weitgehend unabhängige Kernnetzwerke:

*Iu(cs) für Sprach- und Videotelefonie*

*Die Iu(cs) Schnittstelle:* Für die Sprach- und Videotelefonie wird weiterhin auf die bereits bestehende leitungsvermittelnde GSM Core Netzwerk Technologie zurückgegriffen. Das Mobile Switching Center (MSC) stellt also weiterhin die Brücke zwischen Core- und Zugangsnetz dar. Um den Neuerungen von UMTS Rechnung zu tragen, wurden jedoch folgende Modifikationen vorgenommen: Bei UMTS wurde die Transcoding and Rate Adaptation Unit (TRAU) logisch dem Core Netzwerk zugeordnet und neu implementiert. Dies ist ein Unterschied zu GSM, wo die

TRAU logisch dem Zugangsnetz zugeordnet ist. In der Praxis wird die TRAU jedoch bei GSM und UMTS in den allermeisten Fällen zusammen mit der MSC aufgestellt. Durch die Umwandlung des Sprachcodexs von 64 kbit/s im Core Netzwerk zu z.B. 12.2 kbit/s im Zugangsnetzwerk kann einiges an Übertragungskapazität und somit an Kosten eingespart werden. Eine MSC wird somit nicht, wie in den meisten Bildern gezeigt, direkt an einen RNC angeschlossen, sondern immer über eine TRAU. Die Schnittstelle zwischen MSC, TRAU und RNC wurde Iu(cs) genannt, wobei ‚cs‘ für circuit switched steht. Die Iu(cs) Schnittstelle entspricht somit der A-Schnittstelle bei GSM und ist dieser auf höheren Protokollschichten auch sehr ähnlich. Weitere Informationen zur Funktionalität einer TRAU sind in Kapitel 1.7.5 zu finden, sowie anschließend im Kapitel 3.5.3 zum Thema AMR.



**Abb. 3.22:** RNC Protokolle und Interfaces für Signalisierung (Control Plane)

### RANAP

Das von GSM bekannte BSSMAP Protokoll wurde für UMTS etwas erweitert und modifiziert und in Radio Access Network Application Part (RANAP) umbenannt. In den Standards ist RANAP in 3GPP TS 25.413 zu finden. RANAP bildet die Grundlage für die Mobility Management, Call Control und Session Management Protokolle. Außerdem können MSC und SGSN über RANAP auch den Auf- und Abbau von Radiokanälen (RABs) zu Teilnehmern vom RNC anfordern.

Um RANAP mit einer schon vorhandenen GSM MSC zu unterstützen, ist eine Software Erweiterung nötig. Da das bisherige A-Interface weiterhin Teil der MSC ist, kann diese gleichzeitig ein



UMTS Zugangnetzwerk über RANAP und Iu(cs), sowie ein GSM Zugangnetzwerk über BSSMAP und dem A-Interface unterstützen.

Bei GSM und dem A-Interface war die MSC in Richtung Zugangnetzwerk auf Sprachverbindungen mit 12.2 kbit/s und leitungsvermittelnde Datenverbindungen mit 9.6 kbit/s und 14.4 kbit/s beschränkt. Mit UMTS und dem Iu(cs) Interface sind nun auch 64 kbit/s Verbindungen zum RNC möglich, was der Geschwindigkeit eines ISDN B-Kanals im Festnetz entspricht. Diese neue und schnellere Verbindungsart wird hauptsächlich für Videotelefonie verwendet. Durch optimierte Video- und Sprachkompressionsverfahren stellt dieser leitungsvermittelnde Übertragungskanal in puncto Verzögerungszeit und garantierte Bandbreite ein optimales Medium dar. In der weiteren Evolution des UMTS Netzwerkes und der Endgeräte ist für die Zukunft zu erwarten, dass Videotelefonie auch über paketvermittelnde Verbindungen eingeführt wird.

Auch die Iu(cs) Schnittstelle basiert auf ATM und ist somit, wie schon bei der Iub Schnittstelle erläutert, weitgehend vom physikalischen Übertragungsmedium unabhängig.

*Iu(ps) für  
paketvermittelte  
Daten*

Alle paketvermittelten Dienste, in den meisten Fällen also Internetverbindungen, werden bei UMTS über die Iu(ps) Schnittstelle von und zum Core Netzwerk geführt. Diese Schnittstelle entspricht der Funktionalität der Gb Schnittstelle des GSM/GPRS Netzwerkes, die in Kapitel 2.6 beschrieben ist. Da das paketvermittelnde Core Netzwerk von GPRS und UMTS gemeinsam genutzt werden kann, können nicht nur GSM BSCs an einen Serving GPRS Support Node (SGSN) angeschlossen werden, sondern auch UMTS RNCs. Die Schnittstellenarchitektur selber hat jedoch wesentliche Änderungen erfahren. Statt Frame Relay wird, wie auch auf allen anderen UTRAN Schnittstellen, ATM als Layer 3 Protokoll genutzt.

*Nutzdaten in  
UMTS für SGSN  
transparent*

Für den SGSN ändert sich bei UMTS neben dem neuen Layer 3 Übertragungsprotokoll auch noch die Verarbeitung der Nutzerdaten grundlegend. Bei GSM/GPRS war der SGSN noch dafür zuständig, die vom GGSN eingetroffenen GTP Pakete zu verarbeiten und in einem BSSGP Paket und Frame Relay über die PCU and die richtige Zelle zu schicken. Bei UMTS hat der SGSN nun nur noch die Aufgabe, die GTP Pakete an den für den Anwender zuständigen RNC weiterzureichen. Der UMTS SGSN weis also im Unterschied zum GSM SGSN nicht mehr genau, in welcher Zelle

sich ein Teilnehmer befindet. Diese Änderung hat vor allem zwei Gründe:

- Der SGSN ist bei UMTS nun logisch vom Radio Netzwerk und der Zellarchitektur losgelöst. Er gibt das Paket lediglich zum RNC weiter. Erst dieser entscheidet, wie er die Pakete weiterleitet. Vor allem beim Soft Handover, der in Kapitel 3.7.1 detaillierter beschrieben wird, kann das Paket gleichzeitig über mehrere Node-Bs an den Teilnehmer gesendet werden. Diese Komplexität bleibt dem SGSN jedoch verborgen. Er kennt nur den momentanen Serving RNC (S-RNC) des Endgeräts.
- Durch Verwenden des GTP und IP Protokolls, sowie ATM in der Transportschicht, ergibt sich eine wesentliche Vereinfachung und eine Reduktion der verwendeten Protokollstapel im gesamten Netzwerk. Wie in Abbildung 3.21 zu sehen ist, wird der ATM Adaptation Layer (AAL) 5 verwendet, um die IP Datenpakete über ATM zu transportieren.

*Packet Switched  
Mobility  
Management und  
Resource Anforderung*

Nach wie vor ist der SGSN jedoch auch bei UMTS für das Mobility- und Session Management (GMM/SM) zuständig, das in Kapitel 2.7 beschrieben wurde. Für UMTS gibt es hier nur wenige Änderungen. Eine der wenigen ist die Anforderung eines Radio Beares beim RNC am Anfang einer Datenübertragung (PDP Context Activation). Dieses Konzept ist beim GSM/GPRS Netzwerk nicht bekannt, da hier ein Teilnehmer keine reservierten Ressourcen für sich auf der Luftschnittstelle hatte. Wie in Kapitel 2.5 beschrieben, bekommt der Nutzer dort nur für kurze Zeit einen oder mehrere Zeitschlitz für die Datenübertragung zugeteilt. Diese werden nach dem Beenden der aktuellen Übertragung, wie zum Beispiel nach der Übertragung einer Web Seite sofort wieder einem anderen Nutzer zugeteilt. Bei UMTS wurde dieses Prinzip geändert, und es gibt jetzt grundsätzlich drei Möglichkeiten, Paketdaten über die Luftschnittstelle zu übertragen:

*Dedizierter Ra-  
diokanal (DCH)  
für die Paketda-  
tenübertragung*

Erste Möglichkeit: Der RNC vergibt einen Dedicated Channel (DCH) für die Paketdatenübertragung. Hier wird dem Nutzer in gleicher Weise wie für die leitungsvermittelte Sprachübertragung vom RNC ein dedizierter Kanal (RAB) zur Verfügung gestellt. Dies bedeutet auf der physikalischen Schicht, dass der Benutzer einen eigenen PDTCH und PDCCH für die Paketdatenverbindung zugeteilt bekommt. Die Bandbreite des Kanals steht für den Teilnehmer immer zur Verfügung, auch wenn keine Daten übertragen werden. In einem solchen Fall findet jedoch das in Kapitel

3.5.4 beschriebene Discontinuous Transmission (DTX) Verfahren Anwendung. Dies senkt die Interferenz in der Zelle und spart Energie im Endgerät. Der RNC kann beim Verbindungsaufbau zwischen unterschiedlichen Spreizfaktoren wählen und so dem Anwender eine Bandbreite von z.B. 8, 32, 64, 128 und 384 kbit/s garantieren.

*Gleichzeitige Übertragung von Sprache und Daten*

Ausserdem ist es möglich, über einen RAB paketvermittelte Daten und leitungsvermittelte Daten, wie z.B. Telefongespräche, gleichzeitig zu übertragen. Eine große Einschränkung, die noch bei GSM/GPRS in der Praxis existierte, wird somit elegant gelöst. Um dies zu ermöglichen, kann ein RAB auch nach dem Aufbau vom RNC jederzeit modifiziert werden. Kommt zu einer paketvermittelten Übertragung später noch ein leitungsvermitteltes Telefongespräch hinzu, modifiziert der RNC den RAB, um beide Verbindungen zur gleichen Zeit zu ermöglichen. Auch die Modifikation in umgekehrter Reihenfolge ist möglich. Einschränkend gilt aber, dass zusätzlich zu einer leitungsvermittelten Verbindung nur paketvermittelte Geschwindigkeiten von 64 oder 128 kbit/s möglich sind.

Ein Dedicated Channel bietet weiterhin noch folgende Vorteile:

*Zellwechsel vom Netzwerk kontrolliert*

Der Zellwechsel kann vom Netzwerk kontrolliert werden. Es entstehen somit keine Unterbrechungen beim Zellwechsel mehr, wie dies noch bei GPRS der Fall war. Zusammen mit den wesentlich höheren Geschwindigkeiten werden mit UMTS somit auch Dienste wie Videostreaming oder IP Videotelefonie möglich, bei denen eine Unterbrechung bei Zellwechsel sehr unerwünscht ist.

*Schneller Zugriff auf den Übertragungskanal*

Für das Senden von Daten in Up- und Downlink Richtung müssen bei Zuteilung eines dedizierten Kanals keine Ressourcen vom Netzwerk mehr angefordert werden, die Datenübertragung kann sofort beginnen. Dies machte sich bei GPRS vor allem beim Web surfen sehr störend bemerkbar. Hier werden pro Seite meist viele Objekte wie z.B. Bilder geladen. Diese erzeugen jeweils eine eigene Anfrage und Antwort vom Netz, für die in vielen Fällen die Ressourcen erst zugeteilt werden müssen.

Verwendet der Benutzer seinen dedizierten Kanal für einen längeren Zeitraum nicht, so gibt es mehrere Möglichkeiten den Radio Bearer zu modifizieren: So ist es z.B. möglich, einen anderen Spreizfaktor zu wählen. Dies senkt die maximale Geschwindigkeit für den Benutzer, gibt aber dem Netzwerk die Möglichkeit, den kürzeren Code für einen anderen Teilnehmer zu verwenden.

*Common Channel  
für die Paketda-  
tenübertragung*

Zweite Möglichkeit der paketvermittelten Datenübertragung: Hat der Benutzer nur selten Daten zu übertragen, oder eine bereits zugewiesene dedizierte Verbindung wurde längere Zeit nicht benutzt, kann der RNC auch Daten über den Forward Access Channel (FACH) an ein Endgerät senden. Für Daten in Uplink Richtung verwendet das Endgerät in diesem Fall den Random Access Channel (RACH). Diese Kanäle stehen jedoch einem Benutzer nicht exklusiv zur Verfügung, er muss sich diese mit vielen anderen teilen. Interessant ist hierbei, dass der FACH und RACH nicht mehr nur für Signalisierungsdaten verwendet werden, sondern auch für Userdaten. Besonders in Uplink Richtung ergibt sich jedoch hier wieder ein ähnliches Verzögerungsproblem wie bei GPRS. Daten können hier nicht unmittelbar gesendet werden, da zuvor erst vom Netzwerk eine Zugriffserlaubnis eingeholt werden muss. Aufgrund der höheren Geschwindigkeiten von UMTS ist diese Verzögerungszeit aber geringer. Neben der nicht garantierten Bandbreite für einzelne Nutzer ist ein weiterer Nachteil des Common Channels, dass Endgeräte nicht vom Soft Handover profitieren können, der in Kapitel 3.7.1 beschrieben wird.

*Shared Channel  
für die Paketda-  
tenübertragung*

Dritte Möglichkeit der paketvermittelten Datenübertragung: Optional kann für die Datenübertragung auch ein Downlink Shared Channel (DSCH) verwendet werden, sofern dieser von Netzwerk und Terminal unterstützt wird. Da der Downlink Shared Channel im Unterschied zum FACH nur für die Paketdatenübertragung verwendet wird, kann die Anzahl und Länge der Spreading Codes dynamisch an die aktuelle Verkehrslast einer Zelle angepasst werden. Somit sind Datenraten von 15 bis 960 kbit/s auf dem DSCH möglich. Außerdem ist einem DSCH auch ein Control Channel für die Leistungsregelung zugeordnet. Dies erhöht die Kapazität der Zelle und spart Energie in den Endgeräten. Durch den für die aktive Leistungsregelung notwendigen Dedicated Control Channel ist ein Endgerät, das Daten auf dem DSCH empfängt, im Cell-DCH State (vgl. Kapitel 3.5.4). Großer Nachteil des DSCH ist jedoch, dass ein Endgerät nicht vom Soft Handover profitieren kann.

Ab UMTS Release 5 wird zusätzlich zum DSCH ein High Speed DSCH eingeführt. Diese Technik wird High Speed Downlink Packet Access genannt und ermöglicht Datenraten von bis zu 2 MBit/s.

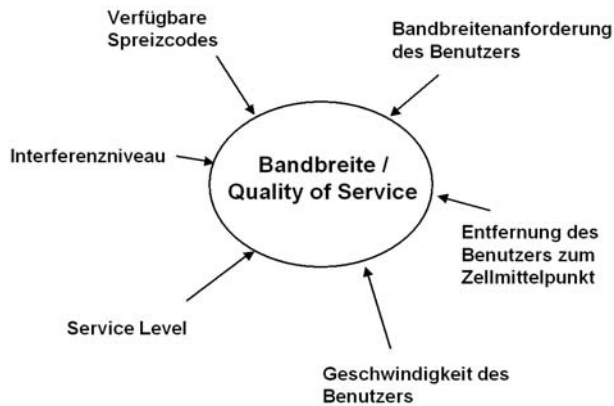
*Quality of Service*

Ob nun ein Dedicated-, Common oder Shared Channel auf Anforderung des SGSNs bei der PDP Context Activation zugewiesen

wird und mit welcher Geschwindigkeit die Daten dann übertragen werden, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Wesentliche Faktoren sind dabei z.B. die momentane Auslastung der Zelle und die Empfangsbedingungen am Ort des Teilnehmers. Ist z.B. das Interferenzverhältnis bereits sehr hoch, sind die Spreading Codes knapp, oder hat der Anwender einen großen Abstand zum Node-B, kann unter Umständen bei der Vergabe eines Dedicated Channels nur ein langer Spreading Code für kleine Datenraten vergeben werden.

*QoS beim Aktivieren eines PDP Kontexts*

Auch der Benutzer kann beim Aufbau des PDP Kontextes Einfluss auf die Zuteilung der Radio Ressourcen nehmen. Über optionale Parameter des at+cgdcont Befehls (vgl. Kapitel 2.8) kann der Benutzer verschiedene QoS Parameter wie minimale Datenrate, maximale Verzögerungszeit, etc. anfordern. Es ist auch möglich, über unterschiedliche Access Point Names unterschiedliche Quality of Service Klassen zu definieren. Im HLR ist dazu für jeden APN auch ein entsprechendes Quality of Service Profil gespeichert.



**Abb. 3.23:** Faktoren für die Beeinflussung der maximalen Bandbreite und des Quality of Service Level.

*Service Level*

Die Vergabe von Ressourcen auf dem Air Interface kann auch durch den Service Level des Nutzers beeinflusst werden. Dazu bietet UMTS die Möglichkeit, Nutzern unterschiedliche Service Levels zuzuteilen. Somit besteht für den Netzbetreiber die Möglichkeit, schnellere Datenübertragungsraten für Benutzer zu reservieren, die dafür eine extra Gebühr bezahlen. Auch ist es über

dieses Model möglich, bei hoher Last einer Zelle zuerst Kanäle von Benutzern auf geringere Geschwindigkeiten zu reduzieren, die weniger bezahlen.

*Die Iur Schnittstelle und RNSAP*

Aus Gründen der Vollständigkeit sollte an dieser Stelle auch noch kurz die Iur Schnittstelle erwähnt werden, die RNCs untereinander verbinden kann. Diese Schnittstelle unterstützt das in Kapitel 3.7.1 beschriebene Soft Handover Verfahren über RNC Grenzen hinweg. Außerdem werden über die Iur Schnittstelle die in Kapitel 3.5.4 beschriebenen RRC Zustände Cell-FACH, Cell-PCH und URA-PCH über Zellgrenzen hinweg ermöglicht. Das dazu nötige Protokoll wird Radio Network Subsystem Application Part (RNSAP) genannt.

### 3.5.3

#### **Adaptive Multi Rate (AMR) für Sprachübertragung**

Auch mit dem Einsatz unterschiedlicher Sprachcodex geht UMTS über seinen Vorgänger GSM hinaus. In GSM werden heute, wie in Kapitel 1.7.5 beschrieben, der Full Rate (FR) und Enhanced Full Rate Codec (EFR) verwendet, um 64 kbit/s Sprachkanäle des Kernnetzes auf ca. 12 kbit/s zu komprimieren. Dies ist nötig, da die Bandbreite auf der Luftschnittstelle sehr begrenzt ist. Der zu verwendende Codec wird dabei beim Aufbau der Verbindung zwischen Teilnehmer und Netzwerk ausgehandelt und ändert sich während der Verbindung nicht mehr. Die BTS fügt noch Fehlererkennungsbits und Fehlerkorrekturbits zum Datenstrom hinzu und erzeugt somit eine Datenrate von etwa 22 kbits/s. Auch bei UMTS wird der Enhanced Full Rate Codec verwendet. Da jedoch in der Zwischenzeit noch wesentlich effizientere Codex entwickelt wurden, bietet UMTS auch die Möglichkeit, andere Codex mit geringeren Bitraten einzusetzen. Der verwendete Sprachcodex ist bei UMTS auch nicht fest, sondern kann alle 20 Millisekunden geändert werden. Diese Eigenschaft wird Adaptive Multi Rate (AMR) genannt und bietet eine Anzahl von Vorteilen für Netzbetreiber und Anwender:

*AMR*

*Anpassung des Codex an Übertragungsbedingungen*

Wird die Verbindungsqualität schlechter, kann ein Sprachcodex mit geringerem Bandbreitenbedarf gewählt werden. Wird der Spreizfaktor nicht geändert, können die frei werdenden Bits für die Fehlererkennung und Fehlerkorrektur verwendet werden. Einerseits bietet ein Sprachcodex mit geringerer Bandbreite zunächst eine qualitativ schlechtere Sprachqualität. Dies ist aber einer höheren Fehlerrate und der daraus resultierenden schlechten Sprachqualität vorzuziehen. Wird die Verbindungsqualität

wieder besser, kann auch wieder ein besserer Sprachcodec verwendet werden.

Befinden sich viele Teilnehmer in einer Zelle, kann das Netzwerk für neue oder bestehende Sprachverbindungen einen Codec mit geringerem Bandbreitenbedarf wählen und den Spreizfaktor erhöhen. Somit sinkt zwar die Sprachqualität für diese Teilnehmer, es können aber mehr Teilnehmer über die Zelle kommunizieren.

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen AMR Codecs, die in UMTS in 3GPP TS 26.071 standardisiert wurden. Während das Endgerät alle Codecs unterstützen muss, ist es dem Netzwerk freigestellt, welche es verwendet.

Codec Mode	Datenrate
AMR_12.20	12.20 kbit/s (GSM EFR)
AMR_10.20	10.20 kbit/s
AMR_7.95	7.95 kbit/s
AMR_7.40	7.40 kbit/s (IS-641)
AMR_6.70	6.70 kbit/s (PDC-EFR)
AMR_5.90	5.90 kbit/s
AMR_5.15	5.15 kbit/s
AMR_4.75	4.75 kbit/s

*AMR auch für GSM*

Das AMR Verfahren wurde im Nachhinein auch in den GSM Standard übernommen und alle größeren Netzwerkhersteller bieten in Ihren Radionetzwerkprodukten heute auch AMR für GSM an. Die Verwendung von AMR ist bei GSM aber optional und muss natürlich auch vom Endgerät unterstützt werden.

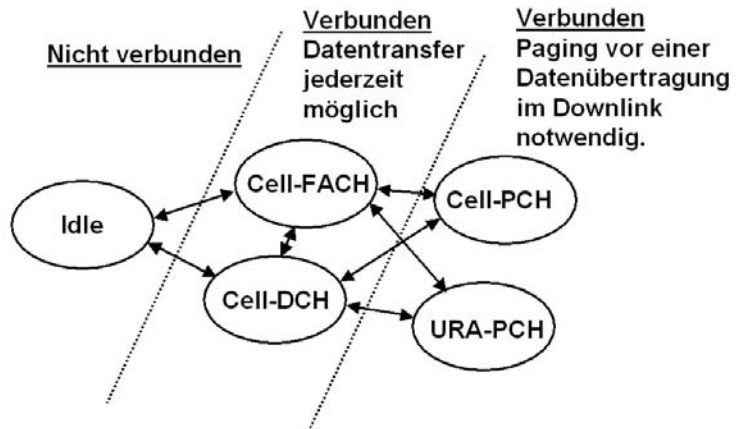
### 3.5.4 Radio Resource Control (RRC) Zustände

Die Aktivität eines Teilnehmers bestimmt, wie häufig und in welcher Art Daten auf der Luftschnittstelle zwischen Endgerät und Netzwerk ausgetauscht werden. In UMTS kann sich ein Endgerät in einem der folgenden fünf Radio Resource Control States (Zustände) befinden:

*Idle State*

Im Idle Zustand ist ein Endgerät zwar am Netzwerk angemeldet (vgl. Attach Prozedur), es besteht aber weder eine logische noch

eine physikalische Verbindung mit dem Netzwerk. Praktisch bedeutet dies, dass der Teilnehmer momentan weder ein Telefongespräch führt, noch Daten überträgt. Unter Umständen kann der Teilnehmer jedoch einen aktiven PDP Kontext besitzen, was gleichbedeutend mit einer zugewiesenen IP Adresse ist. Aufgrund einer langen Inaktivität wurde jedoch der Radio Bearer des Teilnehmers vom Netzwerk abgebaut. Möchte ein Endgerät Daten senden, muss zunächst erneut eine Verbindung aufgebaut werden und das Endgerät wechselt in den Cell-DCH oder Cell-FACH Zustand.



**Abb. 3.24:** Radio Resource Control Zustände

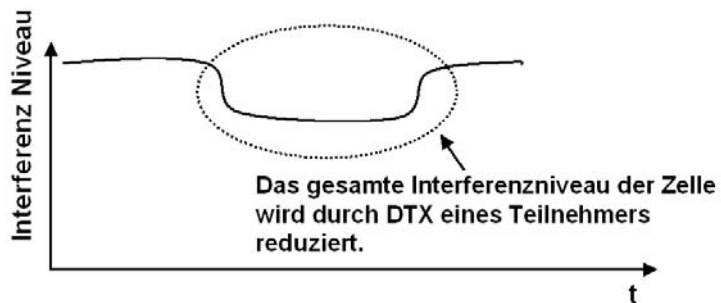
#### *Cell-DCH State*

Der Cell-DCH RRC Zustand wird ähnlich dem GSM-Dedicated Mode für leitungsvermittelte Sprachverbindungen verwendet. In diesem Zustand besteht eine ständige physikalische Verbindung zwischen Teilnehmer und Netzwerk. Dies bedeutet bei UMTS, dass das Netzwerk dem Teilnehmer im Downlink einen eigenen Spreading Code und im Uplink eigene Spreading und Scrambling Codes zuteilt.

Der Cell-DCH Zustand wird bei UMTS auch für paketvermittelte Verbindungen verwendet. Dies widerspricht im ersten Moment dem paketvermittelten Ansatz. Dessen Vorteil ist normalerweise, dass nur Ressourcen während der Datenübertragung benötigt werden. Im Cell-DCH Zustand wird aber die Ressource, also der dedizierte Kanal, nicht freigegeben, wenn keine Daten mehr übertragen werden. Der CDMA Ansatz von UMTS bietet jedoch eine elegante Lösung dieses Problems. Empfängt oder sendet der



Teilnehmer keine Daten, wird auf dem Kanal außer Kontrolldaten auch nichts gesendet. Während der Sendepausen sinkt somit der Interferenzlevel für alle anderen Teilnehmer. Statt des dedizierten Kanals wird die Ressource in Form einer geringeren Interferenz freigegeben, und steht sofort für andere Teilnehmer zur Verfügung. Sind wieder Daten auf der Luftschnittstelle von oder zu einem Teilnehmer zu senden, müssen keine neuen Ressourcen angefordert werden, da der dedizierte Kanal in Form eines Spreading- oder Scrambling Codes nicht abgebaut wurde. Während des erneuten Sendens erhöht sich die Interferenz natürlich für die anderen Teilnehmer wieder. Diese Vorgehensweise wirkt sich speziell bei burstartigen Übertragungen wie dem Web Surfen sehr positiv aus. Bei einer solchen Anwendung sind die Zugriffe der einzelnen Teilnehmer auf die Luftschnittstelle im mittel statistisch gleichmäßig verteilt. Die Gesamtkapazität der Luftschnittstelle wird weiter optimal ausgenutzt, ohne den noch bei GSM/GPRS vorhanden Nachteil der zeitaufwändigen Anforderungen für Ressourcen.



**Abb. 3.25:** Discontinuous Transmission (DTX) auf einem Dedicated Channel senkt Interferenz für andere Teilnehmer.

Mit Hilfe von Signalstärkemessungen des Endgerätes und des Node-Bs regeln der Node-B und der RNC die Sendeleistung des Kanals in Uplink und Downlink. Über den PDCCH hat das Netzwerk die Möglichkeit, die Sendeleistung des Teilnehmers 1500-mal pro Sekunde den aktuellen Bedingungen anzupassen. Diese sehr schnelle Leistungsregelung ist bei UMTS besonders wichtig, da die Interferenz die maximale Bandbreite einer Zelle limitiert.

#### *Handover im Cell-DCH State*

Auch im Cell-DCH Zustand misst das Endgerät ständig die Empfangsqualität aller Nachbarzellen und teilt das Ergebnis dem Netzwerk mit. Der RNC kann dann aufgrund dieser Messungen einen Zellwechsel (Handover) veranlassen (vgl. Kapitel 3.7.1).

Während das Reportintervall bei GSM eine fest vorgegebene Periode hat, wurde dies bei UMTS wesentlich flexibler gestaltet. Zum einen gibt es weiterhin das periodische Reporting, dessen Periode nun aber vom Netz zwischen 250 Millisekunden und 64 Sekunden flexibel konfigurierbar ist. Zum anderen ist es für ein UMTS Endgerät auch möglich, nur Messergebnisse an den RNC zu senden, wenn diese vom RNC vorgegebene Bedingungen erfüllen. So ist es zum Beispiel möglich, nur Messergebnisse von Nachbarzellen zu senden, die einen vom RNC festgelegten Grenzwert überschreiten. Die eingesparte Bandbreite kann somit in vielen Fällen statt für die Übertragung von Signalisierungsdaten für Nutzdaten verwendet werden. Ein weiterer Vorteil dieser Methode für den RNC ist außerdem, dass weniger Rechenleistung pro Verbindung benötigt wird, als bei periodisch eintreffenden Messergebnissen.

Ein Dedicated Channel kann je nach den Anforderungen an die zu übertragenden Daten ganz unterschiedliche Eigenschaften besitzen. Eine dieser Eigenschaften ist zum Beispiel die Länge des Spreading Codes. Dieser bestimmt, mit welcher maximalen Geschwindigkeit die Nutzdaten übertragen werden können. In Abhängigkeit des Spreading Codes können somit Datenraten von wenigen Kilobits bis mehrere hundert Kilobits pro Sekunde erreicht werden (vgl. auch Kapitel 3.3.2).

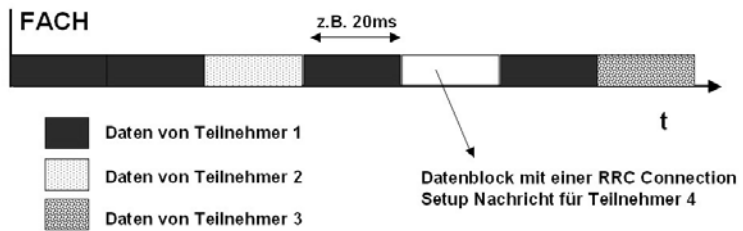
#### *Cell-FACH State*

Während der Idle und Cell-DCH RRC State in jedem Fall im Netzwerk implementiert sein müssen, sind der Cell-FACH, sowie der Cell-PCH und URA-PCH State nicht zwingend vom Standard vorgeschrieben. Der Cell-FACH State wird vor allem für die Übertragung von paketvermittelten Daten verwendet. Ein Teilnehmer bekommt in diesem Zustand keinen eigenen Kanal zugeteilt, sondern empfängt seine Daten auf dem Forward Access Channel (FACH). Wie in Kapitel 3.4.5 beschrieben, ist die primäre Aufgabe des FACH eigentlich die Übertragung von RRC Connection Setup Nachrichten an Teilnehmer, die über den Random Access Channel Verbindung mit dem Netz aufgenommen haben. Ist der Cell-FACH State im Netzwerk implementiert, kann dieser Kanal nun aber auch verwendet, um Nutzdatenpakete oder Signalisierungsnachrichten von MSC und SGSN an Endgeräte zu senden. Der FACH ist ein „Common“ Channel, da auf ihm Pakete unterschiedlicher Nutzer transportiert werden. Alle Endgeräte, die sich in diesem Zustand befinden, müssen den FACH abhören. Im MAC Header jedes Pakets befindet sich die Adresse des Teilnehmers, für den das Paket bestimmt ist. Nur Pakete für den eigenen Benutzer werden von den unteren Protokollschichten

eines Endgeräts an höhere Protokollschichten weitergegeben. Somit entspricht dieser RRC Zustand in etwa dem Ethernet Modell. Auch hier gibt es ein gemeinsames Medium und jede Station empfängt alle Pakete. Außerdem entspricht der Cell-FACH Zustand auch in etwa dem GSM/GPRS Verfahren für die paketvermittelte Datenübertragung. Sind Daten in Downlink Richtung zwischen Netzwerk und Endgerät zu übertragen, müssen keine Ressourcen zugewiesen werden und die Übertragung kann je nach aktueller Netzwerklast und Teilnehmerpriorität sehr schnell erfolgen.

*Cell-FACH bei geringer Nutzeraktivität*

Da sich mehrere Teilnehmer den Kanal teilen, kann jedoch keine Datenrate und konstante Verzögerungszeit garantiert werden. Während die Mobilität im Cell-DCH Zustand vom Netzwerk kontrolliert wird, ist dies im Cell-FACH Zustand Aufgabe des Endgeräts. Statt eines Handovers wird in diesem Zustand ein Cell Update vom Endgerät autonom durchgeführt, und es entsteht eine kurze Unterbrechung der Verbindung. Für Echtzeitanwendungen oder Streamingapplikationen ist dieser RRC Zustand also nicht geeignet. Besser geeignet ist er jedoch für sehr burstartige Applikationen wie z.B. dem WAP browsen. Da Endgerätedisplays sehr klein sind, sind die zu übertragenen Datenmengen beim WAP browsen in vielen Fällen nur sehr klein. Somit wird nicht unbedingt ein dedizierter Übertragungskanal benötigt.



**Abb. 3.26:** Daten unterschiedlicher Teilnehmer auf dem FACH

*Cell-FACH für Mobility Management Operationen*

Der Cell-FACH Zustand eignet sich auch für die Übertragung von Mobility Management und Packet Mobility Management Signalingnachrichten zwischen Endgerät und MSC bzw. SGSN. Da das Endgerät schon in der RRC Connection Setup Nachricht den Grund der Verbindung angibt, kann das Netzwerk dynamisch entscheiden, ob ein dedizierter Kanal für die Verbindung nötig ist, oder nicht. Ist der Cell-FACH Zustand im Netzwerk integriert,

*RACH für  
Uplinkdaten*

braucht z.B. kein dedizierter Kanal für eine Location Update Prozedur zugeteilt werden.

Im Uplink übertragen die Teilnehmer im Cell-FACH Zustand ihre Daten über den Random Access Channel (RACH), dessen Hauptaufgabe eigentlich die Übertragung von RRC Connection Setup Request Nachrichten ist. Wie in Kapitel 3.4.5 gezeigt wurde, ist der Zugriff auf den RACH ein zeitaufwändiger Prozess, der für eine Verzögerung sorgt, bevor die Daten tatsächlich gesendet werden können. Auch aus diesem Grund ist der Cell-FACH Zustand nicht für Echtzeitapplikationen geeignet.

Für ein Endgerät gibt es zwei Möglichkeiten, in den Cell-FACH Zustand zu wechseln. Wie bereits erwähnt, kann sich das Netzwerk während des RRC Connection Setups entscheiden, den Teilnehmer für eine MM/PMM Signalisierung oder für die paketvermittelte Datenübertragung in den Cell-FACH zu setzen. Außerdem ist es möglich, vom Cell-DCH Zustand in den Cell-FACH Zustand zu wechseln. Der RNC kann dies z.B. veranlassen, wenn für längere Zeit keine Daten von oder zu einem Endgerät übertragen wurden. Der dadurch frei werdende Spreizcode kann danach sofort an einen anderen Teilnehmer vergeben werden. Außerdem reduziert der Cell-FACH Zustand die Leistungsaufnahme des Endgerätes. Solange der Teilnehmer nun nur kleine Datenmengen überträgt, wird der Cell-FACH Zustand beibehalten. Überträgt der Teilnehmer wieder mehr Daten, ist natürlich wieder ein Zustandswechsel in den Cell-DCH Zustand möglich.

*Cell-PCH,  
URA-PCH*

Der optionale Cell-PCH (Cell-Paging Channel) RRC Zustand und der URA-PCH (UTRAN Registration Area-Paging Channel) RRC Zustand reduzieren in Phasen längerer Inaktivität die Leistungsaufnahme des Endgerätes weiter. Ähnlich dem Idle Zustand ist einem Endgerät in diesen Zuständen kein Übertragungskanal zugewiesen, der in Downlink Richtung überwacht werden müsste. Sollen erneut Daten in Downlink Richtung übertragen werden, muss der RNC den Teilnehmer zuvor pagen. Das Endgerät antwortet daraufhin mit einer RRC Connection Request Nachricht, die es dem RNC ermöglicht, einen neuen Übertragungskanal zum Endgerät aufzubauen. Auch für den Fall, dass zuerst das Endgerät neue Datenpakete zum Netzwerk senden möchte, muss zuvor ein neuer Übertragungskanal aufgebaut werden. In beiden Fällen wechselt das Endgerät durch den Aufbau des Übertragungskanals automatisch wieder in den Cell-FACH oder Cell-DCH Zustand. In welchen Zustand gewechselt wird, entscheidet der RNC.

Wie der Name Cell-PCH andeutet, wird ein Teilnehmer vom Netzwerk im Falle von neu eintreffenden Paketen nur in einer Zelle gesucht. Dies bedeutet, dass das Endgerät bei einem Zellwechsel eine Cell Update Nachricht zum RNC senden muss. Im URA-PCH Zustand wird der Teilnehmer hingegen in einer ganzen UTRAN Registration Area gepaged, die vom RNC verwaltet wird (vgl. Kapitel 3.7.3).

Im Unterschied zum Idle Zustand gibt es in diesen Zuständen jedoch weiterhin eine logische RRC Verbindung zwischen Endgerät und SGSN. Da die RRC Zustände auf dem RNC verwaltet werden, hat jedoch der SGSN als Kernnetzkomponente keine Informationen darüber, in welchem RRC Zustand sich ein Teilnehmer befindet. Somit sendet er die Pakete weiterhin ohne Verzögerungen zum Serving-RNC des Teilnehmers. Befindet sich das Endgerät im Cell-PCH oder URA-PCH Zustand, muss der RNC, wie gerade beschrieben, vor der Weiterleitung der Pakete erneut einen physikalischen Übertragungskanal aufbauen. Die logische Trennung von einer Verbindung zwischen Endgerät und Core Netzwerk (SGSN und MSC) einerseits und einer Verbindung zwischen Endgerät und dem Radionetzwerk (RNC) andererseits wurde in UMTS ganz bewusst eingeführt. Dies hat den großen Vorteil, dass der MSC und der SGSN komplett von den Eigenschaften des Radionetzwerkes abgekoppelt sind. Auf diese Weise ist es möglich, dass sich Radionetzwerk und Kernnetz unabhängig voneinander weiterentwickeln können.

Der Unterschied zwischen Idle-, Cell-PCH und URA-PCH State ist in der Praxis sehr gering. Sowohl bei der Leistungsaufnahme im Endgerät, als auch bei der Dauer für die Wiederaufnahme einer Datenübertragung unterscheiden sich die Zustände nur unwesentlich. Deshalb ist fraglich, ob alle RRC Zustände von den Netzwerkherstellern implementiert werden.

Wie in Kapitel 2 beschrieben, werden bei GSM die GPRS RRC Zustände nur im Endgerät und im SGSN verwaltet. Der SGSN weiß in diesem System also zu jeder Zeit, ob sich ein Teilnehmer im Idle, Ready oder Standby State befindet. Somit musste dieser als Kernnetzkomponente auch Aufgaben des Radio Netzwerkes wie z.B. Cell Updates übernehmen. Dies hat einerseits den Vorteil, dass der SGSN für Teilnehmer im Ready State die genaue Zelle des Teilnehmers kennt. Vorteil der Lösung in UMTS ist jedoch das Verteilen dieser Aufgaben auf mehrere RNCs und somit eine Reduktion der Signalisierungslast des SGSNs.

	<b>RNC State</b>	<b>SGSN State</b>
<b>Idle</b>	Nicht verbunden	Nicht verbunden
<b>Cell-DCH</b>	Verbunden, Daten werden sofort über den DCH, DSCH oder HS-DSCH geschickt.	Verbunden
<b>Cell-FACH</b>	Verbunden, Daten werden sofort über den FACH (Common Channel) geschickt.	Verbunden
<b>Cell-PCH</b>	Verbunden, Teilnehmer muss jedoch vor der Datenübertragung gesucht werden (paging). Nach der Antwort auf das Paging wird der Teilnehmer in den Cell-FACH oder Cell-DCH gesetzt.  Bei Zellwechsel muss das Netzwerk benachrichtigt werden.	Verbunden
<b>URA-PCH</b>	Wie Cell-PCH, jedoch muss das Netzwerk nur dann von einem Zellwechsel benachrichtigt werden, wenn der Teilnehmer in eine Zelle wechselt, die sich in einer anderen UTRAN Registration Area befindet.	Verbunden

### 3.6

#### **Mobility Management aus Sicht des Kernetzes**

Aus Sicht des MSCs und des SGSNs kann sich ein Endgerät in den Mobility Management (MM) bzw. Packet Mobility Management (PMM) Zuständen Detached, Idle und Connected befinden.

Für die MSC haben diese Zustände folgende Bedeutung:

<i>MM Detached</i>	MM Detached: Das Endgerät ist ausgeschaltet, und der Aufenthaltsort des Teilnehmers ist nicht bekannt. Eingehende Anrufe für den Teilnehmer können vom Netzwerk nicht zum Teilnehmer durchgestellt werden.
<i>MM Idle</i>	MM Idle: Das Endgerät ist eingeschaltet und hat sich erfolgreich bei der MSC angemeldet (vgl. Attach Prozedur). Ein Teilnehmer kann nun jederzeit ein Gespräch beginnen. Bei eingehenden Anrufen wird der Anrufer von der MSC in seiner aktuellen Location Area gesucht (paging).
<i>MM Connected</i>	<p>MM Connected: Das Endgerät und die MSC haben eine aktive Signalisierungs- und Kommunikationsverbindung. Dies kann zum Beispiel ein Telefongespräch, ein Datenruf oder ein Video-call sein. In diesem Zustand hat das Radionetzwerk dem Teilnehmer immer einen DCH zugeteilt. Der Teilnehmer befindet sich somit aus der Sicht des RNCs im Cell-DCH RRC Zustand.</p> <p>Für den SGSN gibt es folgende Packet Mobility Management Zustände:</p>
<i>PMM Detached</i>	PMM Detached: Das Endgerät ist ausgeschaltet, und der Aufenthaltsort des Teilnehmers ist dem SGSN somit nicht bekannt. Ein Endgerät kann in diesem Zustand auch keinen aktiven PDP Kontext haben, es hat also auch keine aktuelle IP Adresse.
<i>PMM Connected</i>	PMM Connected: Das Endgerät und der SGSN haben eine aktive Signalisierungs- und Kommunikationsverbindung. Der PMM Connected Zustand kann nur beibehalten werden, wenn der Teilnehmer einen PDP Kontext aktiviert hat, sprich über eine vom SGSN zugeteilte IP Adresse verfügt. In diesem Zustand sendet der SGSN alle vom Netzwerk eingehenden Datenpakete an den Serving-RNC weiter. Im Unterschied zu GSM/GPRS ist dem SGSN nur der Serving-RNC des Teilnehmers bekannt, nicht jedoch die Zelle. Dies ist aufgrund des in Kapitel 3.7 vorgestellten Soft Handovers auch nicht mehr möglich. Wie zuvor beschrieben, ist dem SGSN auch nicht bekannt, in welchem RRC Zustand sich das Endgerät befindet. In Abhängigkeit des Quality of Service Profils, der Netzwerklast und der eigenen Aktivität kann sich ein Endgerät im PMM-Connected Zustand in den RRC Zuständen Cell-DCH, Cell-FACH, CELL-PCH oder auch URA-PCH befinden.
<i>PMM Idle</i>	PMM Idle: Hat sich ein Endgerät am Netzwerk erfolgreich angemeldet, und existiert momentan keine logische Signalisierungsverbindung zum SGSN, befindet es sich im PMM Idle Zustand.

Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn der Teilnehmer keinen PDP Kontext aktiviert hat.

Außerdem hat der RNC die Möglichkeit, die RRC Ressourcen für eine bestehende paketvermittelte Verbindung jederzeit zu modifizieren. Dies kann bedeuten, dass sich der RNC bei langer Inaktivität eines Teilnehmers entscheidet, das Endgerät in den RRC Idle Zustand zu versetzen. Da der RNC die Mobilität des Teilnehmers dann nicht mehr überwacht, fordert er den SGSN auf, den Teilnehmer vom PMM Connected Zustand in den PMM Idle Zustand zu setzen. Obwohl der Teilnehmer nun aus RRC Sicht und aus PMM Sicht im Idle Zustand ist, bleibt der PDP Kontext weiter aktiv, der Teilnehmer muss seine IP Adresse nicht abgeben. Für den SGSN bedeutet dies, dass bei neuen Daten aus dem Netzwerk der Teilnehmer erst gesucht und danach eine neue Verbindung für Signalisierungs- und Nutzdaten aufgebaut werden muss.

### 3.7 Mobility Management aus Sicht des Radionetzwerkes

Je nach Mobility Management Zustand des Kernnetzwerkes kann sich das Radionetzwerk in einer Reihe unterschiedlicher RRC Zustände befinden. Wie das Mobility Management im Radionetzwerk gehandhabt wird, hängt vom jeweiligen Zustand ab. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über MM und PMM Zustände im Kernnetz und die jeweils dafür möglichen RRC Zustände im Radionetzwerk.

<b>MM States und mögliche RRC States</b>	MM Idle	MM connected	PMM Idle	PMM connected
Idle	x		x	
Cell-DCH		x		x
Cell-FACH				x
Cell-PCH				x
URA-PCH				x



### 3.7.1 Mobility Management im Cell-DCH Zustand

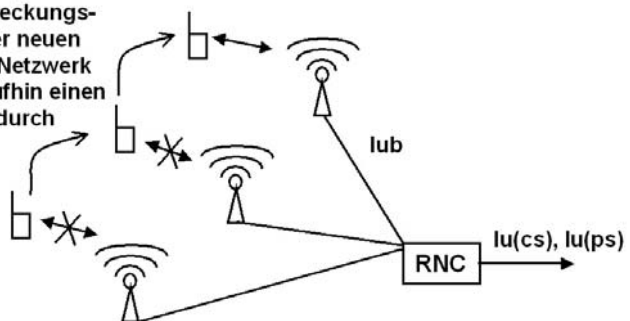
*Vom Netzwerk kontrollierte Mobilität im Cell-DCH State*

Für Applikationen wie Sprach- oder Videoübertragungen ist es sehr wichtig, dass bei einem Zellwechsel keine, oder nur eine möglichst kurze Unterbrechung der Datenübertragung entsteht. Für diese und andere Anwendungen befindet sich deshalb das Endgerät im Cell-DCH State. Das Netzwerk kontrolliert in diesem Zustand ständig die Qualität der Verbindung und kann das Gespräch auf andere Zellen umleiten, wenn sich der Teilnehmer bewegt. Dieser Zellwechselfvorgang, der vom Netzwerk kontrolliert wird, wird Handover oder Handoff genannt. Bei UMTS gibt es eine ganze Reihe unterschiedlicher Handover Varianten:

*Hard Handover*

Hard Handover: Diese Art des Handovers ist einem GSM Handover sehr ähnlich. Aufgrund von Signalstärkemessungen der aktuellen und benachbarten Zellen kann der RNC erkennen, wenn sich eine Nachbarzelle für die Weiterführung einer Verbindung besser eignet. Um die Verbindung in eine andere Zelle umleiten zu können, wird die neue Zelle vom RNC für den Handover vorbereitet. Dies bedeutet, dass alle nötigen Ressourcen auf der Iub Schnittstelle, und wenn nötig, auch auf der Iur Schnittstelle in ähnlicher Weise wie bei einem neuen Verbindungsaufbau eingerichtet werden.

**Nutzer bewegt sich in das Abdeckungsgebiet einer neuen Zelle. Das Netzwerk führt daraufhin einen Handover durch**



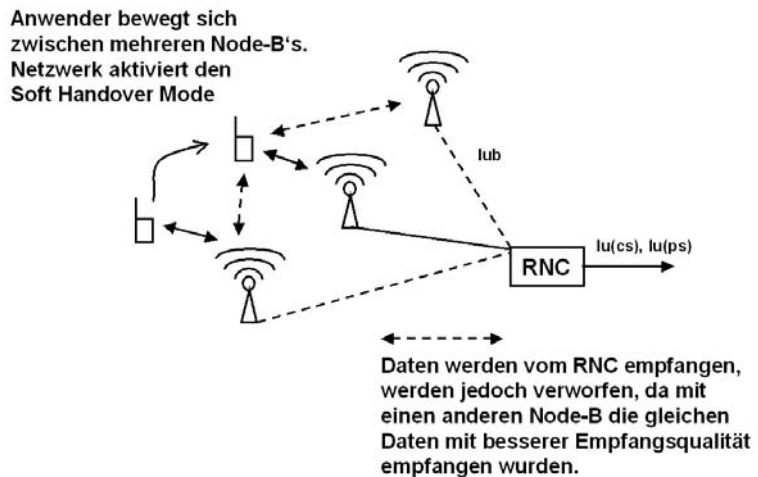
**Abb. 3.27:** UMTS Hard Handover

Danach wird das Endgerät über die noch aktive Verbindung aufgefordert, in die neue Zelle zu wechseln. Dieses Handover Kommando enthält unter anderem die neue Frequenz, sowie die Scrambling und Channelisation Codes der neuen Zelle. Das Endgerät beendet dann die Verbindung zur aktuellen Zelle und versucht, eine neue Verbindung mit der neuen Zelle herzustellen.

*Soft Handover*

Dies dauert normalerweise weniger als 100 Millisekunden, da das Netzwerk auf diesen Zellwechsel schon vorbereitet ist. Die Nutzdatenübertragung kann nach dem Zellwechsel sofort wieder aufgenommen werden. Diese Art Handover wurde UMTS Hard Handover genannt, da die Kommunikationsverbindung, wenn auch nur kurz, beim Zellwechsel unterbrochen wird.

Soft Handover: Bei dieser Art des Handovers wird die Nutzdatenübertragung zwischen Endgerät und UTRAN zu keiner Zeit unterbrochen. Aufgrund von Signalstärkemessungen der aktuellen Zelle und der Nachbarzellen kann der RNC das Endgerät in den Soft Handover Zustand setzen. Alle Daten von und zum Endgerät werden dann nicht nur über einen Node-B, sondern über zwei oder mehr Node-Bs gesendet oder empfangen. Die an der Kommunikation beteiligten Node-Bs werden im so genannten Active Set der Verbindung geführt. Wird die Radioverbindung zu einem Node-B im Active Set zu schlecht, kann dieser aus der Kommunikationsverbindung entfernt werden. Auf diese Weise ist gewährleistet, dass trotz des Zellwechsels ein Teilnehmer zu keinem Zeitpunkt den Kontakt zum Netzwerk verliert. Ein Active Set kann dabei bis zu 6 Node-Bs umfassen. Abbildung 3.28 zeigt einen Soft Handover, an dem 3 Zellen beteiligt sind.

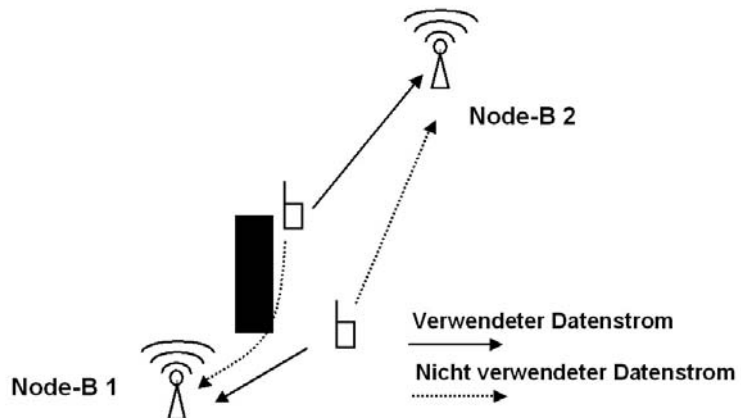


**Abb. 3.28:** Ein Teilnehmer während eines Soft Handovers mit 3 Node-Bs

Der Soft Handover hat gegenüber dem Hard Handover eine Reihe von Vorteilen: Durch den komplett unterbrechungsfreien Übergang zwischen den Zellen erhöht sich die Verbindungsqualität für den Teilnehmer. Da der Soft Handover schon begonnen

werden kann, wenn die Signalqualität der aktuellen Zelle noch akzeptabel ist, wird die Wahrscheinlichkeit eines Verbindungsabbruchs bei einer plötzlich eintretenden Signalverschlechterung deutlich reduziert.

Auch die Sendeleistung und somit der Stromverbrauch kann in einem Endgerät durch den Soft Handover Zustand in manchen Situationen verringert werden. Abbildung 3.29 zeigt ein solches Szenario. Ein Teilnehmer befindet sich in einem Bereich, der gut von Zelle 1 versorgt wird. Da er sich bewegt, verdecken von Zeit zu Zeit Gebäude den optimalen Übertragungsweg zu Zelle 1. Der Teilnehmer muss als Konsequenz seine Sendeleistung erhöhen. Im Soft Handover Fall kommuniziert der Teilnehmer aber auch gleichzeitig mit Zelle 2. Während die Verbindung zu Zelle 1 schlechter wird, bleibt die Verbindung zu Zelle 2 weiterhin gut, oder wird sogar besser. Die Sendeleistung des Endgeräts muss somit nicht erhöht werden, da die Daten vom Netzwerk über Zelle 2 weiterhin gut empfangen werden können. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Verbindung zu Zelle 1 in dieser Zeit abgebaut wird.



**Abb. 3.29:** Soft Handover reduziert die Sendeleistung des Endgeräts

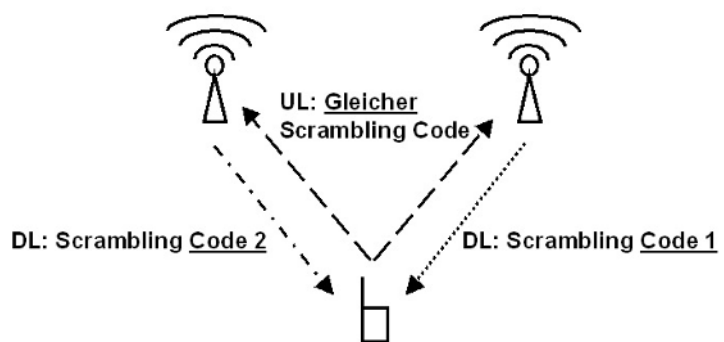
In Uplink Richtung empfängt Zelle 1 weiterhin das gleiche Signal des Teilnehmers wie Zelle 2, wenn auch in schlechterer Qualität. Der RNC kann durch Auswertung der Signalqualität entscheiden, das aktuelle Datenpaket von Zelle 1 zu verwerfen und stattdessen das Paket von Zelle 2 ins Kernnetz weiterzuleiten. Diese

Entscheidung wird für jedes Paket, also alle 20,40 oder 80 Millisekunden neu getroffen.

Auch in Downlink Richtung empfängt der Teilnehmer weiterhin die Daten von Zelle 1 und Zelle 2. Da die Zellen unterschiedliche Channelisation und Scrambling Codes haben, werden diese vom Endgerät auch als zwei separate Datenströme auf der physikalischen Schicht behandelt. Dies bedeutet, dass der Downlink zweimal dekodiert werden muss, was natürlich mehr Rechenleistung in Anspruch nimmt.

Auch für das Netzwerk hat dieses Szenario Vorteile. Da das Endgerät immer nur mit der minimal nötigen Leistung sendet, um einen Node-B des Active Sets zu erreichen, reduziert sich die Interferenz in Uplink Richtung deutlich. Dies wiederum steigert die Kapazität des gesamten Systems, es können mehr Teilnehmer versorgt werden.

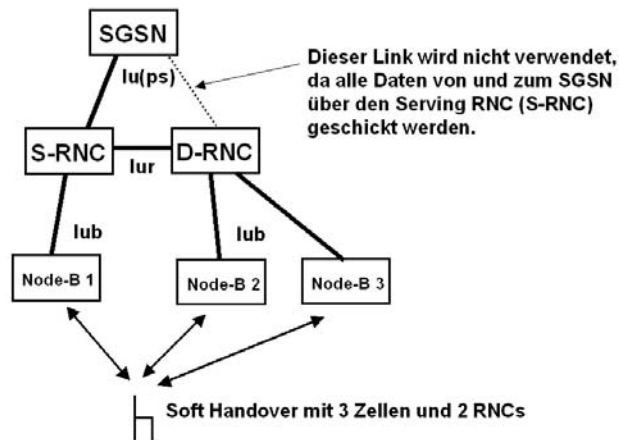
Der Soft Handover hat für das Netzwerk aber nicht nur Vorteile. In Downlink Richtung muss der RNC an jeden Node-B des Active Sets eine Kopie der Daten schicken. In der umgekehrten Richtung erhält der RNC von jedem Node-B eine Kopie der Daten im Uplink. Es wird somit wesentlich mehr Kapazität auf den Iub Schnittstellen für einen Teilnehmer im Soft Handover Zustand verwendet, als für einen Teilnehmer, der nur mit einem Node-B kommuniziert. Deshalb wird schon bei der Netzwerkplanung versucht, keine Bereiche zu schaffen, in denen mehr als 3 Node-Bs gut empfangen werden können.



**Abb. 3.30:** Verwendung von Scrambling Codes beim Soft Handover

Soft Handover  
über Iur

Noch aufwändiger wird das Szenario, wenn am Soft Handover Node-Bs beteiligt sind, die nicht vom aktuellen S-RNC kontrolliert werden. In diesem Fall ist ein Soft Handover nur möglich, wenn der S-RNC mit dem oder den RNCs der zusätzlichen Node-Bs kommunizieren kann. Diese RNCs werden Drift RNCs oder D-RNCs genannt. Abbildung 3.31 zeigt ein Szenario mit einem S-RNC und einem D-RNC. Soll ein fremder Node-B in das Active Set eines Teilnehmers aufgenommen werden, muss der S-RNC über die Iur Schnittstelle mit dem zuständigen D-RNC Verbindung aufnehmen. Der D-RNC reserviert daraufhin die benötigten Übertragungsressourcen auf seinem Node-B und bestätigt die Anforderung des S-RNCs. Dieser informiert dann den Teilnehmer über eine „Update Active Set“ Nachricht. Von nun an sendet der S-RNC alle Nutzdaten des Teilnehmers auch an den oder die zusätzlichen D-RNCs, die diese wiederum an ihre Node-Bs weitergeben. In umgekehrter Richtung leiten D-RNCs alle eingehenden Datenpakete des Endgerätes an den S-RNC weiter. Dieser kann dann entscheiden, ob Datenpakete von einem seiner eigenen Node-Bs oder von einem Node-B eines D-RNCs mit der besten Signalqualität empfangen wurden und leitet diese dann entsprechend an das Kernnetz weiter.



**Abb. 3.31:** Soft Handover mit S-RNC und D-RNC

## Softer Handover

Als Softer Handover wird ein Szenario bezeichnet, bei dem zwei oder mehr Zellen des gleichen Node-Bs im Active Set eines Endgerätes enthalten sind. Für das Netzwerk bietet der Softer Handover den Vorteil, dass auf dem Iub Interface keine zusätzlichen Ressourcen für diesen Handover bereitgestellt werden müssen. Der Node-B übernimmt dabei die Aufgabe, die Datenströme in

Downlink Richtung auf seine Zellen zu verteilen und in Uplink Richtung die Daten zusammenzuführen. Der S-RNC erhält von einem solchen Node-B nur einen Datenstrom, selbst wenn z.B. drei unabhängige Zellen am Softer Handover beteiligt sind.

*Kein Timing  
Advance in UMTS*

Einer der wichtigsten Parameter auf der Luftschnittstelle bei GSM ist der Timing Advance. Mobilstationen, die weiter von der Basisstation entfernt sind, müssen aufgrund der Signallaufzeit ihre Daten früher in ihrem Zeitfenster senden, als Endgeräte, die näher an der Basisstation sind. Diese Sendezeitregelung wird Timing Advance genannt. In UMTS ist eine solche Regelung nicht möglich. Während sich ein Endgerät im Soft Handover Zustand befindet, empfangen alle Node-Bs im Active Set das gleiche Signal eines Endgerätes. Die Node-Bs befinden sich aber alle in einem unterschiedlichen Abstand zum Teilnehmer und empfangen somit die Signale zu etwas unterschiedlichen Zeiten. Für das Endgerät ist es nicht möglich, dies durch verschieben des Sendezeitpunktes auszugleichen, da es ja nur ein Signal in Uplink Richtung sendet. Eine Timing Advance Regelung ist aber auch aus folgenden Gründen nicht notwendig:

Alle Teilnehmer senden zur gleichen Zeit. Da keine Zeitschlitzte verwendet werden, kann es auch keine Kollisionen zwischen verschiedenen Teilnehmern geben.

Um die Orthogonalität der Channelisation Codes zu gewährleisten, müssten alle Teilnehmer im Uplink am Node-B eigentlich gleichzeitig empfangen werden. Durch die zusätzliche Verwendung von Scrambling Codes werden die Teilnehmer aber voneinander entkoppelt. Eine zeitliche Verschiebung der unterschiedlichen Signale ist somit kein Problem.

Die Zeitverschiebung des Signals eines Teilnehmers an unterschiedlichen Node-Bs ist gemessen an der Übertragungsdauer eines kompletten Pakets immer noch sehr gering. Während die Übertragungsdauer eines Pakets 20,40 oder 80 Millisekunden beträgt, ist die Paketverzögerung auch bei einem Distanzunterschied von 30 Kilometer zwischen unterschiedlichen Node-Bs nur 0,1 Millisekunden. Diese Zeitdifferenz ist somit auf der Iub Schnittstelle vernachlässigbar.

*SRNS Relocation*

Entfernt sich ein Teilnehmer mit der Zeit immer weiter von seinem S-RNC, so kann der Fall eintreten, dass kein Node-B mehr an der Verbindung beteiligt ist, der direkt am S-RNC angeschlossen ist. Abbildung 3.32 zeigt dieses Szenario. Aus Gründen der Radionetzwerkoptimierung kann der S-RNC dann beim MSC und/oder SGSN eine Änderung des Routings auf dem

Iu(cs)/Iu(ps) Interface beantragen. Dies geschieht mit einer Serving Radio Network Subsystem (SRNS) Relocation Request Nachricht. Aus dem aktuellen D-RNC wird dann der neue S-RNC. Nach dem SRNS Relocation Request ist dann nur noch ein RNC an der Verbindung beteiligt und auch die Ressourcen auf der Iur Schnittstelle werden nicht mehr benötigt.

Ein SRNS Relocation ist auch dann notwendig, wenn zwischen zwei RNCs keine Iur Verbindung besteht und ein Handover notwendig ist. Hier steht nicht die Verbindungsoptimierung im Radionetzwerk im Vordergrund, sondern die Aufrechterhaltung der Verbindung. In diesem Fall ist neben dem SRNS Relocation auch ein Hard Handover zur neuen Zelle notwendig, da aufgrund der fehlenden Iur Verbindung kein Soft Handover möglich ist.

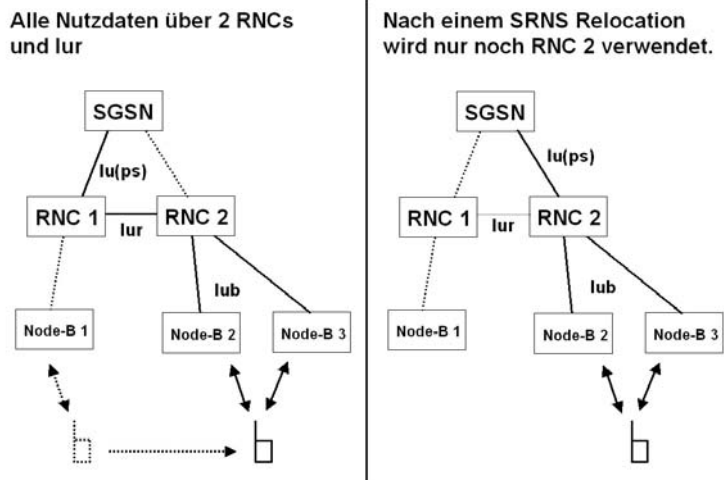


Abb. 3.32: SRNS Relocation

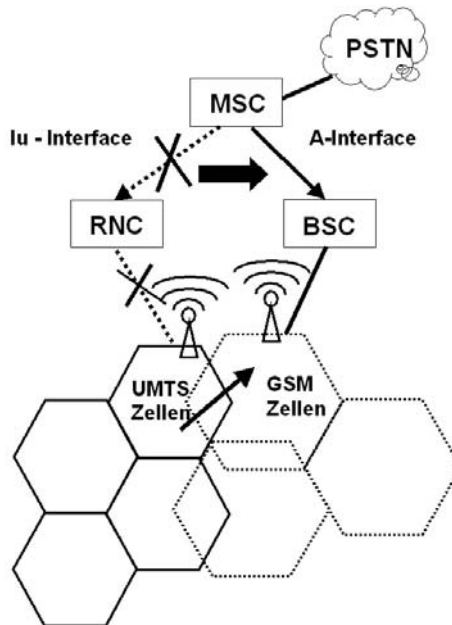
*Intersystem Handover*

Als die ersten GSM Mobilfunknetzwerke Anfang der neunziger Jahre aufgebaut wurden, gab es zwar schon flächendeckende Vorgängernetzwerke, deren Kundenzahl war jedoch gering. Somit war es nicht unbedingt notwendig, auch mit dem neuen GSM Netz sofort eine flächendeckende Netzversorgung zu gewährleisten.

Beim Start von UMTS hat sich die Situation jedoch völlig geändert. Durch den enormen Erfolg von GSM besitzt heute die Mehrzahl der Bewohner in Europa ein GSM Mobiltelefon. Da beim Start des UMTS Netzes noch keine flächendeckende Versorgung gewährleistet werden kann, ist ein fließender Übergang

zwischen GSM und UMTS Netzwerken notwendig. Dies bedeutet für den Mobiltelefonmarkt in der Praxis, dass UMTS Telefone auch GSM und GPRS unterstützen müssen. Während sich ein Teilnehmer in einer Region aufhält, die bereits per UMTS versorgt wird, werden sowohl Sprach- als auch Datenübertragung über das UMTS Netzwerk abgewickelt. Bewegt sich ein Teilnehmer aus einem von UMTS versorgten Gebiet hinaus, wechselt das Mobiltelefon automatisch in ein GSM Netzwerk und nutzt für die Datenübertragung GPRS. Dies soll auch während eines laufenden Telefongesprächs oder einer laufenden Datenübertragung möglich sein. Dieser Übergang wird als Intersystem Handover bezeichnet.

In UMTS gibt es eine Anzahl unterschiedlicher Möglichkeiten, einen solchen Intersystem Handover durchzuführen:



**Abb. 3.33:** 3G nach 2G Handover

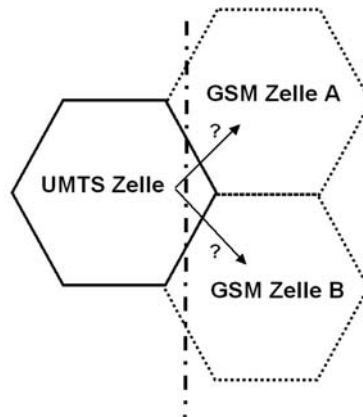
*Blind Intersystem Handover*

Beim Blind Intersystem Handover weiß der RNC, ob für eine aktive UMTS Zelle eines Teilnehmers nur eine GSM Nachbarzelle existiert. Bewegt sich der Teilnehmer aus dem Versorgungsbe-  
reich der UMTS Zelle hinaus, leitet der RNC den Handover ein. Dieser Handover Vorgang wird „blind“ genannt, da bei der Handover Entscheidung keine Messergebnisse über die Empfangs-  
stärke der GSM Zelle verwendet werden.



Vorteil dieses Verfahrens ist sicherlich die einfache Implementierung im Netzwerk und in den Endgeräten. Diesem stehen jedoch eine Reihe Nachteile gegenüber:

- Das Netzwerk hat keine Informationen, ob die Zielzelle vom Endgerät überhaupt empfangen werden kann.
- Das Endgerät ist mit der Zielzelle nicht synchronisiert. Dies verlängert die Zeit erheblich, die das Endgerät benötigt, mit der Zielzelle Kontakt aufzunehmen. Für den Anwender macht sich dies zum Beispiel bei der Sprachübertragung durch eine kurze Unterbrechung bemerkbar.
- Hat eine UMTS Zelle, wie in Abbildung 3.34 dargestellt, mehrere GSM Nachbarzellen, so kann der RNC nicht wissen, in welche GSM Zelle er den Teilnehmer übergeben soll. Ein solches Szenario sollte beim Blind Handover vermieden werden. Dies ist aber in der Praxis oftmals schwer.



**Abb. 3.34:** UMTS Zelle mit mehreren GSM Nachbarzellen, die beim Blind Handover nicht unterschieden werden können.

#### *Handover mit GSM Messungen*

Neben dem Blind Intersystem Handover gibt es auch einen gesteuerten Intersystem Handover. Dazu informieren UMTS Zellen am Rande des UMTS Versorgungsgebietes Endgeräte im Idle und Dedicated Mode nicht nur über UMTS Nachbarschaftszellen, sondern auch über GSM Zellen. Ein Endgerät im Dedicated Mode kann somit während einer aktiven Kommunikation die Signalstärke und Qualität von UMTS und GSM Nachbarzellen messen. Wie bereits zu Beginn des Kapitels beschrieben, werden die Ergebnisse dieser Messungen an den RNC geschickt. Dieser

kann dann aufgrund der sich verschlechternden UMTS Signalqualität einen Intersystem Handover in das GSM Netzwerk veranlassen. Hier wird natürlich die Mithilfe des MSCs benötigt, da der RNC keine GSM Zellen kontrolliert.

#### *Compressed Mode*

Nachbarzellenmessungen sind bei UMTS recht einfach, wenn es sich um UMTS Nachbarzellen handelt, die auf der gleichen Frequenz senden. Das Endgerät muss dann lediglich die Primary Codes der Nachbarzellen auf das empfangene Signal anwenden, um das Signal dieser Zellen zu dekodieren. Dies bedeutet für das Endgerät nur einen zusätzlichen Rechenaufwand. Bei GSM Nachbarzellen kann dieses Verfahren nicht angewandt werden, da diese auf einer anderen Frequenz senden. Somit können diese nicht gleichzeitig zu den Zellen im Active Set empfangen werden. Auch UMTS Zellen, die auf einer anderen Frequenz senden, können mit diesem Verfahren nicht empfangen werden. Solche Zellen können aber z.B. verwendet werden, um die Gesamtkapazität des Systems zu erhöhen. Somit bleibt dem Endgerät nichts anderes übrig, als Sende- und Empfangspausen einzulegen, um diese Nachbarzellenmessungen vorzunehmen. Dies wird bei UMTS als Compressed Mode bezeichnet. Bei Bedarf wird dieser Modus, vom RNC gesteuert, in allen Node-Bs des Active Sets und dem Endgerät aktiviert und wieder deaktiviert. Der UMTS Standard definiert drei Möglichkeiten, wie der Compressed Mode realisiert werden kann. Die Systemhersteller können wählen, welche dieser Möglichkeiten sie implementieren:

- Reduktion des Spreizfaktors: Hier wird der Spreizfaktor für manche Pakete reduziert. Somit können in diesen Paketen mehr Daten übertragen werden. Diese kurzfristige Geschwindigkeitssteigerung kann danach für eine Übertragungspause verwendet werden. Während dieser Pause können dann die Messungen vorgenommen werden. Da sich der Spreizfaktor ändert, muss auch die Sendeleistung in dieser Zeit erhöht werden, um eine sichere Übertragung zu gewährleisten.
- Punktierung: Nachdem der Kanalkodierer dem Originaldatenstrom Fehlererkennungs- und Fehlerkorrekturbits hinzugefügt hat, werden ein Teil dieser Bits wieder entfernt, um Zeit für die Messungen zu schaffen. Auch hier muss wiederum die Sendeleistung erhöht werden, um die Anzahl der Fehler zu minimieren.

- Verwenden eines Rahmenformates mit weniger Daten-bits: Da hier schon bei der Übertragung weniger Bits verwendet werden, muss die Sendeleistung nicht erhöht werden, um einen weiterhin guten Empfang zu gewährleisten. Der Nachteil zu den zwei anderen Verfahren ist jedoch die geringere Datenrate, während der Compressed Mode aktiviert ist.

Ziel aller Verfahren ist es, den Frequency Correction Channel (FCCH) und den Synch Channel (SCH) einer GSM Zelle zu finden (vgl. Kapitel 1.7.3).

*Intersystem  
Handover von 3G  
nach 2G im  
Kernnetz*

Abbildung 3.35 zeigt den Ablauf eines Intersystem Handovers von UMTS nach GSM. Dieser beginnt auf der UTRAN Seite, wie bei einem normalen Inter-MSC Handover, mit einem SRNS Relocation Request. Da in GSM der SRNS Relocation Vorgang nicht bekannt ist, verwendet die 3G MSC die schon von GSM bekannte 2G Prepare Handover Nachricht. Für die 2G MSC sieht dieser Handover wie ein normaler GSM-GSM Handover aus (Rückwärtskompatibilität) und wird entsprechend bearbeitet.

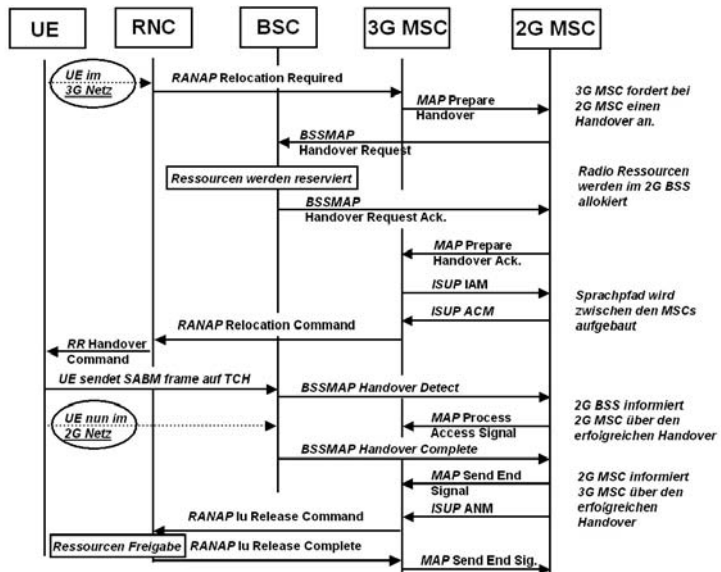


Abb. 3.35: 3G – 2G Intersystem Hard Handover Message Flow

### 3.7.2 Mobility Management im Idle Zustand

Im Idle Zustand verhält sich ein Endgerät passiv, d.h. es kann keine Daten senden oder empfangen. Trotzdem ist das Endgerät periodisch aktiv und führt folgende Aufgaben durch:

#### *Überwachen des Paging Kanals*

Um auf eingehende Sprachrufe, Kurznachrichten, etc. reagieren zu können, wird ständig der Paging Kanal (PCH) der aktuellen Zelle überwacht. Wird dort eine Paging Nachricht mit der eigenen IMSI oder TMSI entdeckt, nimmt das Endgerät Kontakt mit dem Netzwerk auf. Da auch das Abhören des Paging Kanals Energie benötigt, wird ein Verfahren verwendet, das die Teilnehmer anhand ihrer IMSI in unterschiedliche Gruppen einteilt (Paging Group). Paging Nachrichten für Teilnehmer einer Gruppe werden nur zu ganz bestimmten Zeiten ausgestrahlt. Somit muss das Endgerät nur zu diesen Zeiten den Paging Kanal abhören. In der restlichen Zeit kann der Empfänger abgeschaltet werden und somit Energie gespart werden. Dem gegenüber steht der kleine Nachteil, dass die Pagingprozedur etwas länger dauert.

Hat der Teilnehmer im Idle Zustand einen aktiven PDP Kontext, so kann das Netzwerk dem Endgerät ebenfalls eine Paging Nachricht senden, sobald ein IP Paket vom Netzwerk an den Nutzer gesendet wird. Ein solches IP Paket könnte z.B. durch eine Messaging Applikation geschickt werden. Auch in diesem Fall muss sich das Endgerät erst wieder beim Netzwerk melden. Danach wird wieder ein Radio Bearer aufgebaut, und das IP Paket kann zugestellt werden.

#### *Cell Reselection*

Im Idle State ist nicht das Netzwerk, sondern das Endgerät selber für den Zellwechsel zuständig. Dieser Vorgang wird nicht Handover, sondern Cell Reselection genannt.

Im Idle Zustand existiert zwischen Endgerät und Netzwerk keine physikalische oder logische Verbindung. Sollen Daten zwischen dem Endgerät und dem Netzwerk ausgetauscht werden, muss zuvor wieder eine physikalische Verbindung über die Luft-schnittstelle aufgebaut werden. Für den leitungsvermittelnden Teil des UMTS Netzwerkes bedeutet der Idle State also, dass keine Sprachverbindung über die MSC aufgebaut ist. Über den SGSN kann jedoch auch im Idle Zustand ein PDP Kontext aktiv sein. In diesem Zustand können jedoch keine Daten übertragen werden. Ein Endgerät befindet sich also trotz aktivem PDP Kontext nur im Idle Zustand, wenn sehr lange keine Daten mehr übertragen wurden. Um die Datenübertragung erneut aufzuneh-

men, muss zuerst wieder eine logische und physikalische Verbindung aufgebaut werden und das Endgerät in den Cell-DCH oder Cell-FACH Zustand gesetzt werden.

*Location Update  
mit dem MSC*

Im Idle State kennt das Kernnetzwerk den genauen Aufenthaltsort eines Teilnehmers nicht. Dem MSC ist lediglich bekannt, in welcher Location Area sich ein Teilnehmer befindet. Eine Location Area besteht dabei aus einer Anzahl von Zellen. Bei einem ankommenden Anruf muss somit der Teilnehmer zuerst ausfindig gemacht werden. Dies geschieht mit einer Paging Nachricht, die über den Paging Kanal aller Zellen in einer Location Area ausgestrahlt wird. Dieses Konzept wurde ohne große Änderungen von GSM übernommen und ist in Kapitel 1.8.1 genauer beschrieben.

*Routing Area  
Update mit dem  
SGSN*

Aus Sicht des SGSNs wird für ein Datenpaket, das an ein Endgerät im Idle Zustand zugestellt werden soll, in ähnlicher Weise verfahren. Für den paketvermittelnden Teil des Netzwerkes sind die Zellen in Routing Areas eingeteilt. Eine Routing Area entspricht dabei einer Location Area oder einem Teilstück einer Location Area. Auch dieses Konzept wurde größtenteils unverändert von GPRS übernommen und ist in Kapitel 2.7.1 genauer beschrieben.

Wechselt ein Endgerät durch ein Cell Reselection die Location Area bzw. die Routing Area, muss es ein Location Update bzw. ein Routing Area Update durchführen. Dafür baut das Endgerät eine Signalisierungsverbindung mit dem Netzwerk auf und wird vom RNC in den Cell-DCH oder Cell-FACH RRC Zustand gesetzt. Danach kann der Location Area Update mit dem MSC, bzw. der Routing Area Update mit dem SGSN durchgeführt werden. Nach erfolgreichem Update kehrt das Endgerät wieder in den Idle Zustand zurück.

### 3.7.3

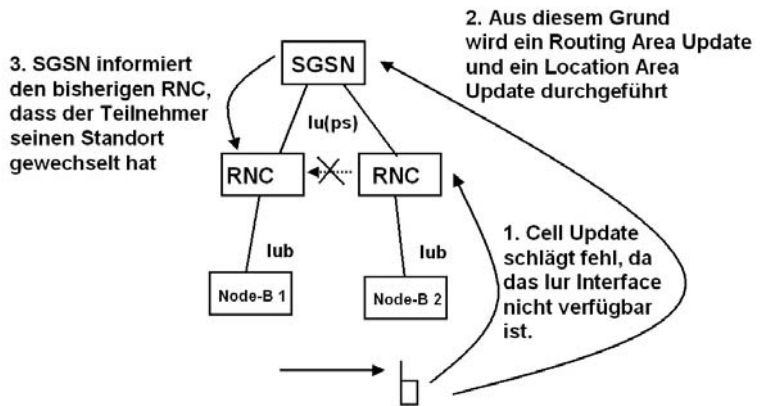
#### **Mobility Management in anderen Zuständen**

Auch in den Cell-FACH, Cell-PCH und URA-PCH Zuständen ist das Endgerät für den Zellwechsel zuständig. Der große Unterschied zum Idle Zustand ist jedoch, dass in diesen Zuständen eine logische Verbindung zwischen Endgerät und Netzwerk besteht. Sind diese Zustände im Radionetzwerk implementiert, so werden sie für Verbindungen mit geringem Datenübertragungsaufkommen verwendet. Die Vorteile dieser Zustände wurden bereits in Kapitel 3.5.4 beschrieben. Je nach Zustand ändern sich die Mobility Management Aufgaben, die vom Endgerät nach einem Zellwechsel durchgeführt werden müssen:

*Cell-FACH  
Zustand*

Im Cell-FACH Zustand kann das Endgerät mit dem Netzwerk Nutzdaten austauschen. Führt das Endgerät einen Zellwechsel durch, so muss dies sofort dem Netzwerk durch eine Cell Update Nachricht mitgeteilt werden. Alle Daten werden dann zukünftig über die neue Zelle übertragen. Befindet sich die neue Zelle im Bereich eines anderen RNCs, sendet dieser die Cell Update Nachricht über die Iur Schnittstelle an den Serving RNC (S-RNC) des Teilnehmers. Auch wenn sich die neue Zelle in einer neuen Location oder Routing Area befindet, wird kein Location Area bzw. Routing Area Update durchgeführt. Dies bedeutet, dass das Kernnetzwerk nicht informiert wird, dass sich der Teilnehmer in einer neuen Location- bzw. Routing Area befindet. Dies ist aber auch nicht notwendig, da der S-RNC die Daten über die Iur Schnittstelle an den Teilnehmer weiterleitet. Zwar tritt während des Zellwechsels eine kurze Übertragungsunterbrechung auf, diese wird jedoch durch dieses Verfahren so kurz wie möglich gehalten.

Ist die neue Serving Cell an einem neuen RNC angeschlossen, der keine Iur Schnittstelle zum bisherigen RNC hat, wird ein Cell Update fehlschlagen. Da der neue RNC den bisherigen RNC nicht über den neuen Aufenthaltsort informieren kann, setzt er das Endgerät während der Cell Update Prozedur vom Cell-FACH, Cell-PCH oder URA-PCH Zustand zurück in den Idle Zustand. Danach führt das Endgerät automatisch einen Location Update mit der MSC und dem SGSN durch.



**Abb. 3.36:** Zellwechsel im PMM Connected Zustand in eine Zelle, über die der S-RNC nicht mehr erreichbar ist.

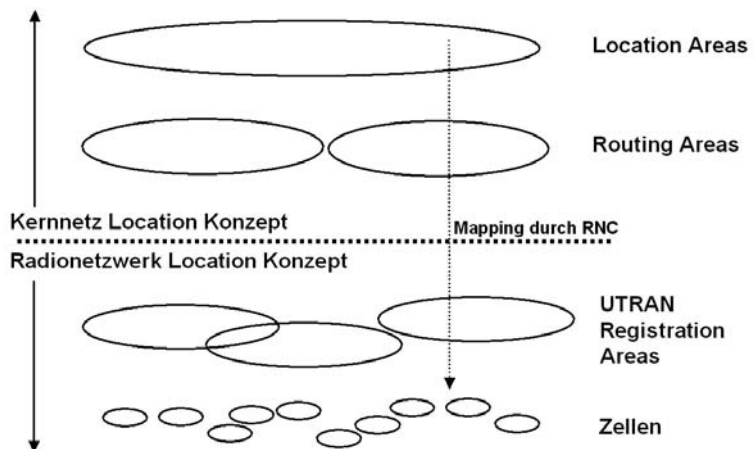
Da der SGSN beim Location Update erkennt, dass noch eine weitere Signalisierungsverbindung zum bisherigen RNC besteht, kann er diesen über den Wechsel des Teilnehmers zu einem neuen RNC informieren. So wird sichergestellt, dass auf dem bisherigen RNC alle Ressourcen freigegeben werden. Abbildung 3.36 zeigt einen solchen Zellwechsel.

*Cell-PCH*

Aus Mobility Management Sicht entspricht der Cell-PCH Zustand dem Cell-FACH Zustand. Im Cell-PCH Zustand kann das Endgerät jedoch keine Daten übertragen. Werden in diesem Zustand Daten für den Teilnehmer aus dem Kernnetzwerk zum RNC geliefert, muss dieser den Teilnehmer erst wieder in den Cell-FACH oder Cell-DCH Zustand setzen. Möchte der Teilnehmer von sich aus in diesem Zustand Daten übertragen, muss das Endgerät dies dem RNC zunächst signalisieren. Dieser setzt dann das Endgerät wieder in den Cell-DCH oder Cell-FACH Zustand, und der Datentransfer kann beginnen.

*URA-PCH*

Bei noch längerer Inaktivität kann das Radionetzwerk einen Teilnehmer mit aktivem PDP Kontext auch in den URA-PCH Zustand setzen. Eine Cell Update Nachricht muss in diesem Zustand nur an das Netzwerk gesendet werden, wenn der Teilnehmer in eine neue UTRAN Registration Area (URA) wechselt. Eine UTRAN Registration Area ist ein neues Konzept, das mit UMTS eingeführt wurde. Es verfeinert, wie in Abb. 3.37 gezeigt, eine Location Area, bzw. eine Routing Area.



**Abb. 3.37:** Location Konzepte von Radio- und Kernnetz

UMTS Registration Areas sind dem Kernnetzwerk nicht bekannt. Auch die einzelnen Zellen wurden für das Kernnetzwerk in so genannte Service Areas abstrahiert. Bei GSM kannte eine MSC oder ein SGSN noch die Location Area und die genaue Cell ID jeder Zelle. Bei UMTS wurde dies nun durch die Location Area und die abstrakte Service Area ersetzt. Es ist jedoch möglich, pro Service Area nur eine Zelle zu konfigurieren. Auf diese Weise gibt es eine klare Trennung zwischen dem Location Prinzip des Kernnetzwerkes, das Location Areas, Routing Areas und Service Areas kennt und dem Location Prinzip des Radio Netzwerkes, das UTRAN Registration Areas und einzelne Zellen kennt. Kernnetz und Radionetz sind also auch hier logisch voneinander entkoppelt worden. Das Mapping zwischen dem Location Prinzip im Kernnetzwerk und dem Location Prinzip im Radionetzwerk wird im RNC durchgeführt.

### 3.8 UMTS CS und PS Verbindungsaufbau

Um eine leitungsvermittelte oder paketvermittelte Verbindung aufzubauen, muss das Endgerät mit dem Netzwerk Verbindung aufnehmen und seinen Verbindungswunsch mitteilen. Der Aufbau der eigentlichen Nutzdatenverbindung verläuft dann in mehreren Phasen:

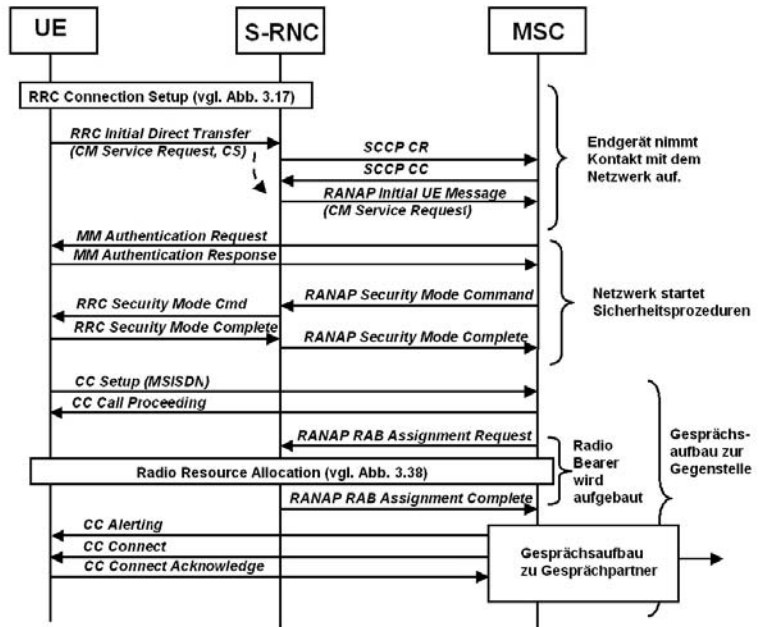
#### *Aufbau eines leitungsvermittelnden Kanals*

Um aus dem Idle Mode heraus eine erste Signalisierungsverbindung zum Radionetzwerk aufzunehmen, verwendet das Endgerät, wie in Abbildung 3.37a gezeigt, die RRC Connection Setup Prozedur. Diese wurde in Kapitel 3.4.5 und Abbildung 3.17 vorgestellt. Ziel des RRC Connection Setup ist es, einen temporären Radiokanal für eine Signalisierungsverbindung zwischen Endgerät und RNC aufzubauen. Der RNC hat für die Signalisierungsverbindung die Wahl, einen Dedicated Channel zu vergeben (Cell-DCH State), oder die Signalisierung über den FACH Channel durchzuführen (Cell-FACH State).

Falls, wie in Abbildung 3.37a dargestellt, eine leitungsvermittelte Verbindung aufgebaut werden soll, schickt das Endgerät danach über die eingerichtete Signalisierungsverbindung eine CM Service Request Nachricht über den RNC an die MSC. DTAP Nachrichten werden zwischen RNC und dem MSC über das SCCP Protokoll ausgetauscht (vgl. Kapitel 1.4), das verbindungsorientiert ist. Aus diesem Grund muss zuerst eine neue logische SCCP Verbindung zwischen RNC und MSC hergestellt werden, bevor der RNC die Nachricht an das MSC weitergeben kann.



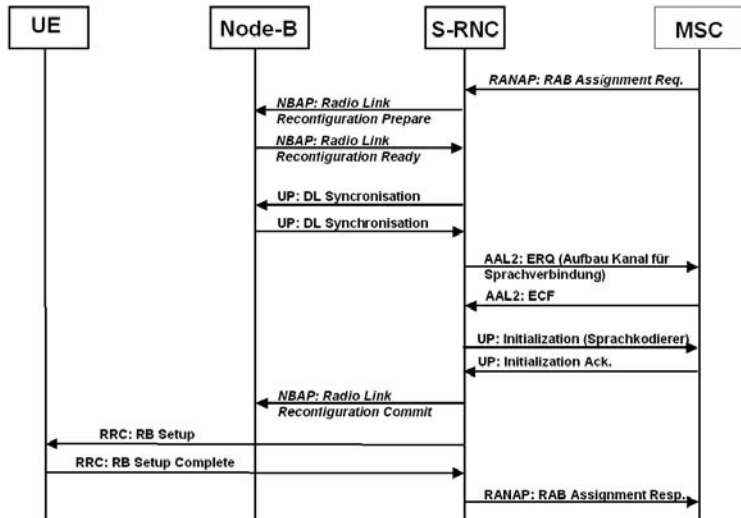
Nachdem das MSC die CM Service Request Nachricht erhalten hat, überprüft sie mit der darin enthaltenen Teilnehmer Identität (TMSI oder IMSI) zunächst die Authentizität des Teilnehmers. Dies geschieht mit einem Challenge Response Verfahren ähnlich wie bei GSM. Große Neuerung ist bei UMTS jedoch, dass sich auch das Netzwerk gegenüber dem Teilnehmer authentifiziert. Nach erfolgreicher Authentifizierung wird danach die Verschlüsselung des Radiokanals durch die Security Mode Command Nachrichten aktiviert. Optional erfolgt nun die Vergabe einer neuen temporären Identität (TMSI) an den Teilnehmer. Dies ist im Nachrichtenfluss zur besseren Übersicht jedoch nicht dargestellt.



**Abb. 3.37a:** Mobile Originated Voice Call (MOC)

Nach erfolgreicher Authentifizierung und Aktivierung der Verschlüsselung teilt das Endgerät im nächsten Schritt die genauen Einzelheiten des Verbindungswunsches mit. In einer Call Control (CC) Setup Nachricht wird dem Netzwerk dazu unter anderem die Telefonnummer für den Verbindungswunsch mitgeteilt. Die MSC quittiert diese Nachricht dem Endgerät mit einer Call Proceeding Nachricht und startet daraufhin zwei Vorgänge:

Bisher ist zwischen Teilnehmer und Radionetzwerk nur eine Signalisierungsverbindung aufgebaut, über die keine Sprachverbindung geführt werden kann. Aus diesem Grund fordert die MSC deshalb vom RNC mit einer RAB Assignment Request Nachricht den Aufbau einer Verbindung für die Übertragung der Sprachdaten an. Der RNC baut daraufhin auf dem Iub Interface einen für eine Sprachverbindung geeigneten Kanal auf und weist den Node-B an, einen entsprechenden Radiokanal auf der Luftschnittstelle zum Teilnehmer aufzubauen. Außerdem baut der RNC auch eine Verbindung für die Sprachdaten über die Iu(cs) Schnittstelle zur MSC auf. Diese Radio Ressource Allocation Prozedur ist zur besseren Übersicht in Abbildung 3.38 separat dargestellt. Da in unserem Beispiel schon ein Dedicated Channel für die Signalisierungsverbindung zum RNC besteht, wird dieser durch die Radio Ressource Allocation Prozedur nur neu konfiguriert (Radio Link Reconfiguration). Die Neukonfigurierung umfasst dabei z.B. die Änderung des Spreading Codes, da eine leitungsvermittelte Verbindung mehr Bandbreite als die bisherige Signalisierungsverbindung benötigt. Hätte der RNC die Signalisierung zuvor über den FACH durchgeführt (Cell-FACH State), müsste an dieser Stelle ein neuer Dedicated Channel aufgebaut werden.



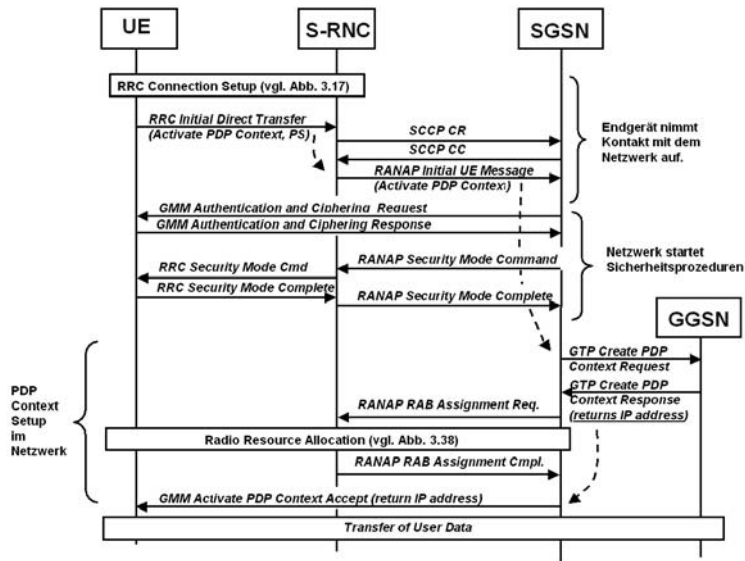
**Abb. 3.38:** Radio Ressource Allocation für den Sprachkanal

Gleichzeitig zum Aufbau der Ressourcen für die Sprachverbindung im Radionetzwerk versucht die MSC, die gewünschte Ver-

bindung für den Teilnehmer über das Kernnetzwerk aufzubauen. Dies geschieht über die schon bekannte ISUP Signalisierung, die in Kapitel 1.4 beschrieben ist. Konnte die Gegenstelle erreicht werden, sendet das MSC die entsprechenden Call Control Nachrichten an das Endgerät.

*Aufbau eines Kanals für die Paketdatenübertragung (PDP Context Activation)*

Der Aufbau einer paketvermittelten Verbindung wird auch Packet Data Protocol (PDP) Context Activation genannt. Aus Anwendersicht bedeutet die Aktivierung eines PDP Kontextes die Verbindungsaufnahme mit dem Internet und die Zuweisung einer IP Adresse. Weitere Informationen zu diesem Thema sind in Kapitel 2.8 und 2.7.2 zu finden. Auch der Aufbau einer paketvermittelten Verbindung erfolgt, wie in Abbildung 3.39 gezeigt, im ersten Schritt mit einer RRC Connection Setup Prozedur.



**Abb. 3.39:** PDP Context Activation

Nach erfolgreichem Aufbau der Signalisierungsverbindung sendet das Endgerät dann eine Activate PDP Context Request Nachricht über den RNC an den SGSN. Danach erfolgen, wie im vorigen Beispiel auch, die Authentifizierung des Teilnehmers und die Aktivierung der Verschlüsselung. Im weiteren Verlauf des Verbindungsaufbaus vergibt der GGSN eine IP Adresse für den Teilnehmer und der SGSN fordert vom RNC den Aufbau einer Verbindung für die Nutzdatenübertragung zum Teilnehmer an. Der SGSN übergibt dafür dem RNC die Quality of Service Parameter

(z.B. die gewünschte Bandbreite) für die neue Verbindung. Diese wurden am Anfang der Verbindungsaufnahme vom Endgerät in der PDP Context Activation Request Nachricht an den SGSN übermittelt, können aber vom SGSN oder GGSN für den RAB Assignment Request noch modifiziert werden. Der Aufbau des paketvermittelten Kanals erfolgt dabei in gleicher Weise wie in Abbildung 3.38 für einen leitungsvermittelten Kanal. Lediglich die Parameter der einzelnen Nachrichten enthalten Werte für andere Eigenschaften des einzurichtenden Datenkanals. Ausserdem entfallen die Nachrichten für die Einrichtung des Sprachkanals.

### 3.9 High Speed Downlink Packet Access

Wie schon in Kapitel 3.1.4 im Überblick dargestellt, wird die UMTS Spezifikation ständig den neuen Möglichkeiten der Technik und den Anforderungen des Marktes angepasst. Mit HSDPA in Release 5 der 3GPP Spezifikation wurde der UMTS Standard um einen wichtigen Baustein erweitert. Dieser ermöglicht im Downlink im Vergleich zu einem Release 99 UMTS Netzwerk wesentlich höhere Datenraten pro Zelle und User. Mit Datenraten zwischen 500 kbit/s und 3.6 Mbit/s pro Nutzer ermöglicht es HSDPA den UMTS Netzbetreibern, in direkte Konkurrenz zu DSL und anderen Internetzugangstechnologien zu treten.

Wichtige Dokumente im Standard zu HSDPA sind die Overall Description Stage 2 in 3GPP TS 25.308, die Physical Layer Description in TS 25.858, Physical Layer Procedures in TS 25.214, HSDPA auf dem Iub und Iur Interface in TS 25.877, RRC Erweiterungen in TS 25.331 und Beispiele zu Signaling Procedures in TS 25.931.

#### 3.9.1 HSDPA Kanäle

##### *Kombination von Dedicated und Shared Channels*

Wie in Abbildung 3.40 und 3.41 gezeigt wird, kombiniert HSDPA die Konzepte von Dedicated und Shared Channels. Für die Übertragung der Nutzdaten im Downlink werden ein oder mehrere High Speed Physical Downlink Shared Channels (HS-PDSCH) verwendet, die sich mehrere Nutzer teilen. Somit ist es möglich, Daten gleichzeitig an unterschiedliche Teilnehmer zu senden oder durch Bündelung mehrerer HS-PDSCH, die jeweils einen anderen Code verwenden, die Übertragungsrate für einen einzelnen Teilnehmer zu erhöhen.

Jeder HS-PDSCH verwendet einen Spreizfaktor von 16, womit theoretisch bis zu 15 gleichzeitige HS-DSCH Kanäle in einer Zelle konfiguriert sein können. In der Praxis werden jedoch meist nur

5-10 HS-PDSCH pro Zelle verwendet werden, da die Zelle neben HSDPA auch noch andere Dienste wie Telefonie und Paketdatenübertragung für Release 99 Endgeräte anbietet. Außerdem ist es für Dienste wie z.B. Videostreaming weiterhin von Vorteil, einen Release 99 Dedicated Channel zu verwenden, da hier dem Teilnehmer die Bandbreite während der gesamten Verbindung garantiert werden kann. Dies ist bei HSDPA nicht so einfach möglich, da hier je nach Anzahl der Teilnehmer pro Zelle und aktueller Signalqualität die Übertragungsrate sehr dynamisch ist. HSDPA opfert somit das Konzept des dedizierten Kanals mit garantierter Bandbreite für eine wesentlich schnellere Datenübertragung, bei der jedoch eine konstante Bandbreite nicht garantiert werden kann. Für viele Applikationen wie z.B. dem Websurfen oder der Übertragung von großen Dateien oder eMails mit Anhängen ist dies jedoch sehr vorteilhaft.

*High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH)*

Die Zuteilung der Timeslots auf den HS-DSCH Kanälen an einzelne Benutzer erfolgt über mehrere gleichzeitig ausgestrahlte High Speed Shared Control Channels (HS-SCCH) mit einem SF=128. Ein Endgerät muss in der Lage sein, mindestens vier dieser Kanäle gleichzeitig empfangen und dekodieren zu können. Auf diese Weise ist es möglich, viele Teilnehmer gleichzeitig zu informieren, auf welchen HS-PDSCH Kanälen im nächsten Timeslot Daten für sie übertragen werden.

Neben den Shared Channels werden während einer HSDPA Verbindung auch noch eine Anzahl Dedicated Channels pro Teilnehmer verwendet:

- Ein Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) im Uplink mit SF=256 für HSDPA Kontrollinformationen wie Acknowledgements bzw. Neuanforderung von nicht korrekt empfangenen Datenpaketen sowie die Übertragung der zuletzt ermittelten Signalqualität. Dieser Kanal wird nicht im Zeit- oder IQ-Multiplex mit den anderen Kanälen übertragen, sondern mit einem eigenen Channelization Code.
- Ein Dedicated Control Channel (DCCH) für RRC Nachrichten im Up- und Downlink zwischen RNC und Endgerät, die z.B. für Aufgaben wie das Mobility Management, sprich für Zellwechsel benötigt werden.
- Ein Dedicated Traffic Channel (DTCH) für IP Nutzdatenpakete im Uplink, da HSDPA nur einen Shared Channel für den Downlink vorsieht. Dieser hat eine Bandbreite von 64 – 384 kbit/s.

- Optional ein zusätzlicher Dedicated Traffic Channel (DTCH) in Up- und Downlinkrichtung, falls während der HSDPA Verbindung auch telefoniert wird.

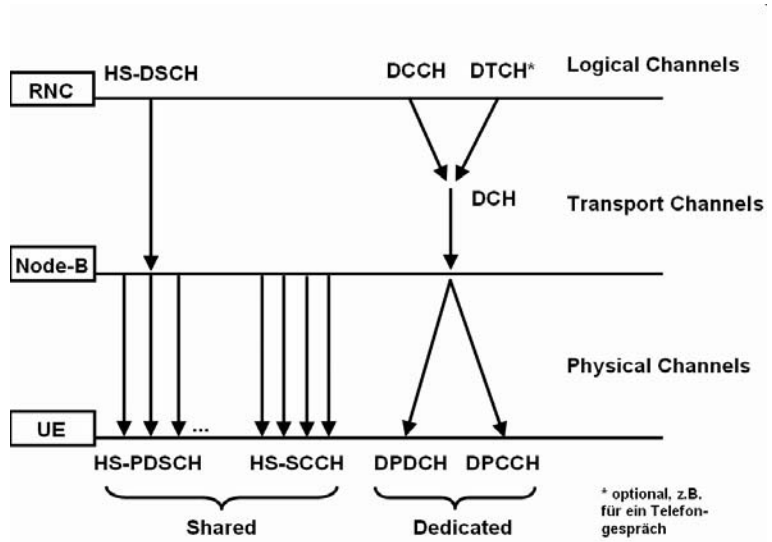


Abb. 3.40: Vereinfachte HSDPA Kanalarstellung im Downlink

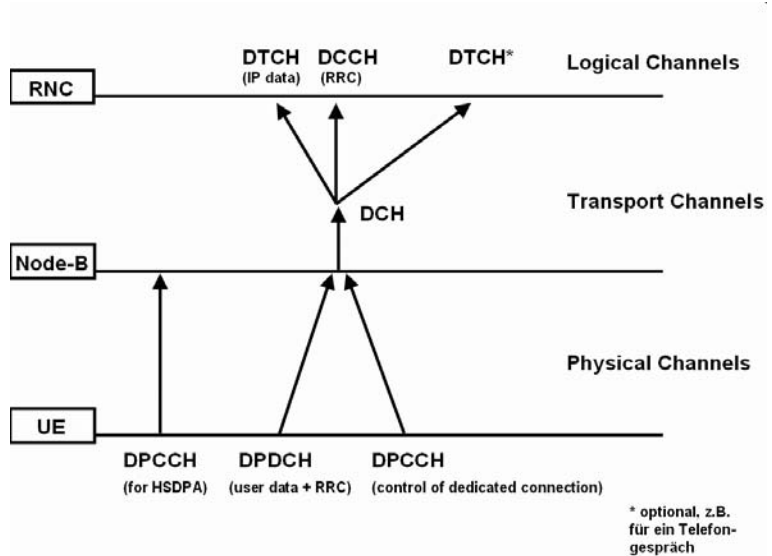


Abb. 3.41: Vereinfachte HSDPA Kanalarstellung im Uplink

### 3.9.2 Kleinere Delay- Zeiten und Hybrid ARQ (HARQ)

Neben schnelleren Geschwindigkeiten ist ein weiteres Ziel von HSDPA eine Reduzierung der Round Trip Delay (RTD) Zeit sowohl für den stationären, als auch für den mobilen Betrieb. Mit Release 99 Dedicated Channels beträgt die RTD Zeit etwa 160 – 200 ms, mit HSDPA etwa 70 ms. Dies ist z.B. bei Applikationen wie dem Webbrowser von großer Bedeutung, da beim Laden einer Web Seite neben einer DNS-Abfrage zur Auflösung des Webseitenamens auch noch mehrere TCP Verbindungen geöffnet werden und sich die Round Trip Delay Zeit somit mehrfach auf die Zeit auswirkt, bis erste Teile der Seite angezeigt werden können. Um dies zu erreichen, wurde die Blockgröße auf 2 ms reduziert. Bei den Release 99 Dedicated Channels beträgt die Blockgröße hingegen mindestens 10 ms.

#### *HARQ*

Aufgrund der sich ständig ändernden Übertragungsbedingungen im mobilen Betrieb z.B. im Auto, im Zug oder auch während des Gehens, lassen sich Übertragungsfehler nicht immer vermeiden. In der Praxis tritt zwar kein Paketverlust auf, da falsche oder verlorene Pakete vom Radionetzwerk erneut übertragen werden, der Delay der erneut übertragenen Pakete ist jedoch größer. Höhere Protokolle wie z.B. TCP reagieren jedoch sehr empfindlich auf plötzlich schwankende Delay Zeiten und deuten dies irrtümlich als Übertragungsfehler. Um diesen Effekt zu minimieren, wird neben der Fehlerkorrektur und Neuübertragung auf dem RLC Layer mit HSDPA auch noch eine Fehlerkorrektur auf der MAC Ebene eingeführt. Dieser Mechanismus ist direkt im Node-B implementiert und wird Hybrid ARQ (HARQ) genannt. Zusammen mit einer Blockgröße von 2 ms statt wie bisher mindestens 10 ms für einen Dedicated Channel kann ein als fehlerhaft gemeldeter MAC Datenblock vom Node-B innerhalb von 10 ms erneut übertragen werden. Dies ist ein großer Vorsprung gegenüber Release 99 Dedicated Channels. Hier findet nur eine Fehlerkorrektur auf dem RLC Layer statt, die mindestens 80-100 ms für die Erkennung und erneute Übertragung eines fehlerhaften Frames benötigt.

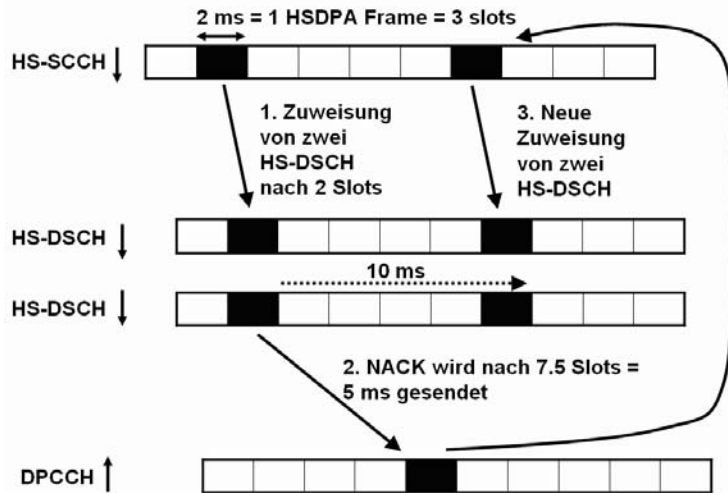
Gegenüber anderen Fehlererkennungs- und Korrekturverfahren wird wie z.B. bei TCP wird bei HARQ kein Fensterverfahren verwendet, sondern es erfolgt eine gezielte Rückmeldung für jeden Frame. Dieses Verfahren wird Stop and Wait (SAW) genannt. Abbildung 3.42 zeigt, wie ein Datenframe im Downlink übertragen, fehlerhaft empfangen und daraufhin neu übertragen wird. Vor der eigentlichen Übertragung des Frames kündigt das

Netzwerk dem Benutzer über den Shared Control Channel die Übertragung an. Jeder HS-SCCH Frame enthält dazu folgende Informationen:

- ID des Endgeräts, für den in einem oder mehreren HS-PDSCH Kanälen im nächsten Frame Daten übertragen werden.
- Die Channelization Codes der HS-PDSCH Kanäle, die dem Endgerät im nächsten Frame zugeordnet sind
- Kodierungsinformation in Form von Transport Format und Resource Indicator
- Modulationsart (QPSK or 16QAM)
- HARQ Prozessnummer (s.u.)
- ob es sich um eine erneute Übertragung handelt (Retransmit) und welche Redundancy Version (RV) verwendet wird (s.u.)

Jeder Frame ist dazu in drei Slots unterteilt. Bereits nach der Übermittlung von zwei der drei Slots des Frames hat das Endgerät alle nötigen Informationen, die zum Empfang des Nutzdatenframes notwendig sind. Deshalb wartet das Netzwerk das Ende des Control Frames gar nicht ab, sondern sendet die Nutzdaten sofort. Das bedeutet, dass der Shared Control Channel und der Downlink Shared Channel um einen Slot versetzt übertragen werden. Nach Empfang des Datenframes hat das Endgerät genau 5 ms Zeit, den Frame zu dekodieren und zu überprüfen, ob die Übertragung korrekt war. Falls das Paket korrekt übertragen wurde wird daraufhin auf dem Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) im Uplink eine Bestätigung (Acknowledgement) geschickt, im Fehlerfall ein NACK (Not Acknowledge). Um auch hier Zeit zu sparen, wird der Control Channel im Uplink wiederum leicht versetzt zum Downlink Shared Channel gesendet. Dies ermöglicht es dem Netzwerk, beim Empfang eines NACK den fehlerhaften Frame sofort erneut zu übertragen.





**Abb 3.42:** Erkennung und erneute Übertragung eines fehlerhaften Frames innerhalb von 10 ms

*Bis zu 8 gleichzeitige HARQ Prozesse*

Da mit HARQ nur nach einer positiven Bestätigung der nächste Frame des Datenstroms übertragen werden kann, muss ein Endgerät in der Lage sein, bis zu acht gleichzeitige HARQ Prozesse zu kontrollieren. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass der Datenfluss auf der MAC Ebene nicht ins Stocken gerät, wenn ein Frame falsch übertragen wurde. Für höhere Ebenen kann der Datenstrom jedoch erst dann weitergegeben werden, wenn das fehlerhafte Paket bei der nächsten Übertragung korrekt empfangen wurde, da höhere Schichten die Daten in der richtigen Reihenfolge benötigen.

*Incremental Redundancy*

Für das Netzwerk gibt es zwei unterschiedliche Möglichkeiten, ein Paket erneut zu übertragen: Beim Incremental Redundancy Verfahren nutzt das Netzwerk die Tatsache, dass ein Teil der Fehlererkennung und Fehlerkorrekturbits vor der Übertragung wieder entfernt werden. Dieses so genannte Puncturing wird auch bei UMTS, GPRS und EDGE verwendet, um den Datenstrom der Bandbreite des Übertragungskanals anzupassen. Weitere Informationen zum Thema Puncturing finden sich z.B. in Kapitel 2.2.3 zum Puncturing bei GPRS. Bei einer erneuten Übertragung eines Frames werden statt des ursprünglichen Datenstroms ein Datenstrom mit Fehlererkennungs- und Korrekturbits gesendet, die bei

der Übertragung zuvor punktiert wurden. Man spricht hier auch von einer anderen Redundancy Version des Frames. Durch Kombination der beiden Pakete wird somit erreicht, dass der Datenstrom eine höhere Redundanz aufweist, womit sich die Chance auf eine korrekte Dekodierung erhöht. Sollte der Frame auch dann noch nicht richtig dekodiert werden können, kann der Frame in weiteren Redundancy Version geschickt werden und die Dekodierungschancen weiter zu erhöhen.

*Chase Combining* Mit dem zweiten Verfahren, dem Chase Combining, wird hingegen der Frame mit der gleichen Redundancy Version wie zuvor übertragen. Statt auf der MAC Ebene wird mit diesem Verfahren die Signalenergie der zwei übertragenen Frames auf der physikalischen Ebene addiert und dann eine weitere Dekodierung versucht. Ob Incremental Redundancy oder Chase Combining verwendet wird, wird vom Netzwerk bestimmt, hängt aber auch von den Fähigkeiten des Endgerätes ab.

### 3.9.3

#### **Scheduling im Node-B**

Die HS-DSCH Channels stehen einem User meist nicht exklusiv zur Verfügung stehen, sondern werden vom Netzwerk für mehrere Benutzer gleichzeitig verwendet. Das Netzwerk bestimmt dann für jeden Frame, welchem Benutzer dieser zugeteilt werden soll und teilt diese Entscheidung den Endgeräten dann über die HS-SCCH Kanäle mit. Diese Aufgabe wird als Scheduling bezeichnet. Um schnell auf sich ändernde Übertragungsbedingungen einzelner Teilnehmer reagieren zu können, wurde das Scheduling für die HS-DSCHs nicht wie bisher üblich im RNC implementiert, sondern direkt im Node-B. Dies ist auch in Abbildung 3.40 zu sehen, da die High Speed Shared Control Channels (HS-SCCH) direkt vom Node-B ausgehen. Für HSDPA werden also dem Node-B eine weitere Aufgabe übertragen, die für Dedicated Channels bisher und weiterhin vom RNC erledigt werden. Auf diese Weise ist es möglich, dass der Scheduler z.B. bei sich temporär verschlechternden Übertragungsbedingungen (Fading) eines Nutzers sofort reagieren kann. Statt Pakete zu senden, die während des Fadings mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht korrekt empfangen werden können, kann der Scheduler mehr Frames anderen Endgeräten zuteilen. Auf diese Weise kann der Gesamtdurchsatz der Zelle gesteigert werden, da weniger Frames für das erneute Senden von nicht korrekt empfangenen Daten verwendet werden müssen. Neben der Signalqualität pro User bestimmen auch andere Faktoren wie z.B. die Priorität eines Users über

die Zuteilung von Ressourcen. Da es wiederum wie bei vielen anderen Funktionalitäten den Netzwerkherstellern überlassen bleibt, welche Faktoren, deren Gewichtung usw. der Scheduler für seine Entscheidung verwendet, können gute Implementierungen zu einem Wettbewerbsvorteil führen.

Da der RNC keinen direkten Einfluss mehr auf die Ressourcenzuteilung pro Teilnehmer hat, kann dieser auch nicht mehr wissen, wie schnell die Daten tatsächlich übertragen werden können. Deshalb gibt es für HSDPA zwischen RNC und den Node-Bs einen Flow Control Mechanismus. Dazu wird im Node-B für jede Prioritätsstufe ein Datenpuffer angelegt, aus denen dann der Scheduler die zu übertragenden Daten ausliest und über die Luftschnittstelle versendet. Wie viel Platz in den einzelnen Puffern noch für weitere Daten vorhanden ist, kann der RNC über eine Capacity Request Nachricht ermitteln, die vom Node-B mit einer Capacity Allocation Nachricht beantwortet wird. Ein Node-B verwaltet somit nicht für jeden Teilnehmer einen Datenpuffer, sondern nur pro Prioritätsstufe.

### 3.9.4

#### **Adaptive Modulation, Codierung und Geschwindigkeit**

##### *16QAM*

Um bei guten Übertragungsbedingungen eine möglichst große Übertragungsgeschwindigkeit zu erreichen, wird bei HSDPA ein neues Modulationsverfahren verwendet. Dadurch ist es möglich, 4 Bits pro Übertragungsschritt zu übertragen. Da in 4 Bits 16 Werte kodiert werden können ( $2^4$ ) wird diese Modulation 16QAM genannt. Im besten Fall kann somit die Gesamtkapazität einer Zelle bei einer Beibehaltung der bisherigen Kanalbandbreite von 5 MHz verdoppelt werden. Bei mittleren bis schlechten Übertragungsbedingungen wird jedoch auf die schon von U-TMS Release 99 bekannte QPSK Modulation umgeschaltet, die zwei Bits pro Übertragungsschritt kodieren kann.

##### *Channel Quality Index*

Neben dem Umschalten zwischen unterschiedlichen Modulationsarten kann das Netzwerk auch den Coding Scheme jedes Frames und die Anzahl der gleichzeitig genutzten HS-DSCH Kanäle für den Benutzer an den zuletzt vom Endgerät gemeldeten Channel Quality Index (CQI) anpassen. Der CQI kann Werte von 1 (sehr schlecht) bis 31 (sehr gut) annehmen und teilt dem Netzwerk mit, wie viele Redundanzbits benötigt werden, um die Block Error Rate (BLER) unter 10% zu halten. In der Praxis bedeutet dies also, dass bei schlechter werdenden Bedingungen mehr Bits pro Frame für die Fehlererkennung und Fehlerkorrektur verwendet werden. Die Übertragungsgeschwindigkeit sinkt

dadurch zwar, auf diese Weise kann jedoch eine stabile Datenübertragung aufrechterhalten werden. Da Modulation und Codierung eines Frames pro Teilnehmer individuell geregelt wird, hat eine schlechte Empfangssituation eines Teilnehmers keine Auswirkungen auf die Übertragungsgeschwindigkeit für einen anderen Teilnehmer, dessen Daten das Netzwerk auf dem gleichen HS-DSCH sendet.

### *Adaptive Modulation and Coding Schemes*

Durch Anpassung der Modulation und des Coding Schemes kann die Sendeleistung, die in der Zelle für die HSDPA Kanäle reserviert ist, konstant gehalten werden. Die Strategie von HSDPA, mit konstanter Sendeleistung, z.B. 40% der gesamten Sendeleistung einer Zelle und variablen Teilnehmergeschwindigkeiten unterscheidet sich somit deutlich von der Strategie der Release 99 Dedicated Channel. Bei diesen wird durch schnelle Regelung der Sendeleistung eine bestimmte Bandbreite für den Teilnehmer gewährleistet. Erst wenn die Leistung nicht weiter erhöht werden kann, bzw. wenn der Nutzer über längere Zeit die angebotene Bandbreite nicht nutzt, kann der Spreizfaktor der Verbindung erhöht und somit die maximal mögliche Geschwindigkeit reduziert werden.

Auch die Fähigkeiten des Endgerätes haben einen Einfluss auf die maximale Datenrate. Der Standard definiert dazu eine Anzahl unterschiedlicher Geräteklassen, die in 3GPP TS 25.306 aufgelistet werden. Nachfolgende Tabelle zeigt einige Beispielskategorien und deren Eigenschaften:

HS-DSCH Category	Max. Anzahl gleichzeitiger HS-PDSCH	Minimum TTI Interval	Maximum Anzahl an Transport Block Bits per TTI
6	5	1	7298 (mit 16QAM)
11	5	2	3630 (nur QPSK)
12	5	1	3630 (nur QPSK)

Mit einem Category 6 Endgerät, das neben QPSK auch 16QAM unterstützt ist folgende maximale Übertragungsgeschwindigkeit möglich: 7298 Bits pro TTI (die verteilt über 5 HS-PDSCH Kanäle übertragen werden) alle 2 ms =  $(1/0.002) \cdot 7298 = 3.6$  MBit/s. Das entspricht einer Geschwindigkeit von 720 kbit/s pro Kanal bei einem Spreizfaktor von 16. Verglichen mit einem Release 99

384 kbit/s Dedicated Channel mit Spreizfaktor von 8, ergibt sich wegen des unterschiedlichen Spreizfaktors und Modulation eine Geschwindigkeitssteigerung um den Faktor 4. Während die Modulation wie am Anfang dieses Unterkapitels beschrieben die Übertragungsgeschwindigkeit um den Faktor 2 steigert, sorgt die geringere Anzahl von Fehlerkorrekturbits bei guten Übertragungsbedingungen für eine weitere Beschleunigung um den Faktor zwei. Eine HSDPA Zelle kann somit theoretisch den vierfachen Durchsatz gegenüber einer Release 99 Zelle erreichen. In der Praxis kann dieser Wert jedoch nicht erreicht werden, da sich nicht alle Endgeräte in unmittelbarer Nähe zu einer Zelle befinden werden und somit QPSK und mehr Fehlerkorrekturbits verwendet werden müssen.

Mit einem Category 11 Endgerät hingegen, das nur QPSK beherrscht und nur in jedem zweiten Frame Daten empfangen kann ist die maximale Geschwindigkeit auf 3630 Bits alle 4 ms =  $(1/0.004) \cdot 3630 = 900$  kBit/s.

Es sind auch Endgeräte vorstellbar, die mehr als 5 HS-DSCH Kanäle gleichzeitig empfangen können und theoretisch eine maximale Empfangsgeschwindigkeit bis zu 14.4 MBit/s erreichen können. Dies würde jedoch alle Ressourcen der Zelle benötigen und natürlich optimale Empfangsbedingungen voraussetzen.

Somit zeigt sich, dass viele Faktoren einen Einfluss darauf haben, wie schnell Daten zu einem Endgerät übertragen werden können. Hier nochmals eine Auflistung der wesentlichen Faktoren:

- Empfangsbedingungen
- Anzahl der gleichzeitigen HSDPA Nutzer in der Zelle
- Anzahl der Nutzer von Dedicated Channels für Sprach- und Videotelefonie.
- Anzahl der Nutzer in der Zelle, die einen Dedicated Channel für die Datenübertragung nutzen.
- Endgerätekategorie
- Bandbreite der Anbindung der Zelle an das Netzwerk
- Interferenz der Nachbarzellen
- Erreichbarer Durchsatz in anderen Teilen des Netzwerkes, da bei solch hohen Geschwindigkeiten nicht immer gewährleistet ist, dass z.B. ein Web Server Daten schnell genug liefern kann um die maximale Geschwindigkeit auch auszunutzen.

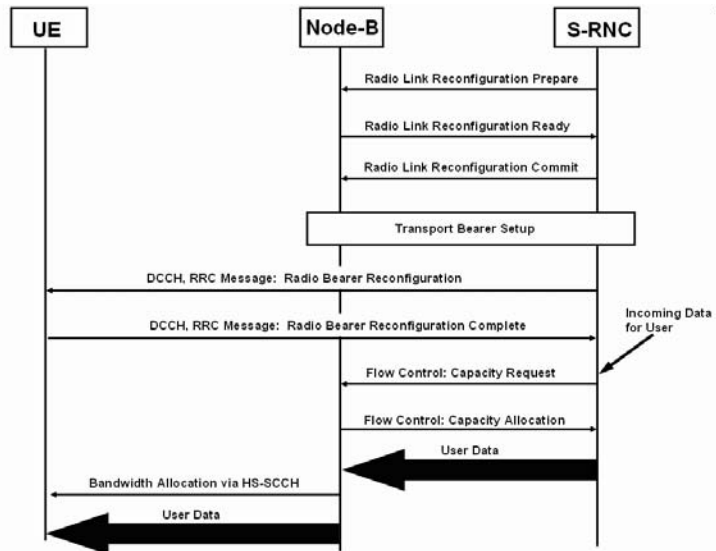
An dieser Stelle sei noch kurz erwähnt, dass die mit HSDPA möglichen Geschwindigkeiten auch Auswirkungen auf andere Teile des Endgeräts haben. Neben einer höheren Prozessorleistung ergeben sich auch neue Anforderungen an das Interface zwischen Terminal und Endgerät wie z.B. einem Notebook. Die maximale Übertragungsrate von etwa 700 kbit/s der ersten Version von Bluetooth (siehe Kapitel 5), reichen für HSDPA nicht mehr aus. Somit sollten HSDPA Endgeräte auch die Bluetooth Enhanced Data Rates unterstützen, um nicht die drahtlose Verbindung zwischen Endgerät und Notebook zum Nadelöhr werden zu lassen.

### 3.9.5 Auf- und Abbau einer HSDPA Verbindung

Um eine HSDPA Verbindung zwischen Netzwerk und Endgerät aufzubauen, muss bereits eine dedizierte Verbindung (DCH) vorhanden sein. Dies ist notwendig, da wie in Kapitel 3.9.1 gezeigt, neben dem High Speed Shared Channel auch noch Dedicated Channels für die Verbindung benötigt werden. Erkennt das Netzwerk beim Aufbau der dedizierten Verbindung, dass das Endgerät auch HSDPA unterstützt, können im nächsten Schritt dann die notwendigen Ressourcen aufgebaut werden. Abbildung 3.43 zeigt diesen Ablauf.

Für den Aufbau der HSDPA Verbindung informiert der S-RNC zunächst den Node-B, damit dieser die HS-PDSCH Kanäle entsprechend konfigurieren kann. Im nächsten Schritt werden dann die nötigen Ressourcen für die Datenübertragung zwischen RNC und Node-B allokiert. Ist auch dies erledigt, ist das Netzwerk für die Datenübertragung bereit und kann das Endgerät über eine RRC Radio Bearer Reconfiguration Nachricht dazu auffordern, ab sofort auch Daten über den HS-DSCH zu empfangen und die dazu benötigten Dedicated Channels einzurichten, bzw. zu modifizieren. Sobald der SGSN nun Datenpakete für den Nutzer zum RNC weiterleitet, tauschen RNC und Node-B wie in Kapitel 3.9.3 beschreiben, Flow Control Informationen aus. Damit wird verhindert, dass der Datenpuffer im Node-B überläuft, denn der RNC kann nicht wissen, wie schnell die Daten über die Luftschnittstelle weitergegeben werden können. Nachdem der RNC weiß, wie viel Platz aktuell noch im Puffer des Node-B vorhanden ist, beginnt dieser die Userdaten an den Node-B weiterzugeben. Danach ist es die Aufgabe des HSDPA Schedulers auf dem Node-B, Ressourcen auf dem Air Interface für den Teilneh-

mer einzuplanen und dies dem Endgerät über den Shared Control Channel mitzuteilen.



**Abb. 3.43:** Aufbau einer HSDPA Verbindung zu einem Endgerät

*Fallback in den  
Cell-FACH State  
bei Inaktivität*

Während sich das Endgerät im HSDPA Empfangsmodus befindet, muss es ständig die zugeteilten HS-SCCH Kanäle abhören und auch die notwendigen Dedicated Channels aufrechterhalten. Dies geht natürlich mit einem höheren Stromverbrauch einher, der nicht sehr ins Gewicht fällt, solange Daten übertragen werden. Werden jedoch für längere Zeit keine Daten übertragen, ist dieser Zustand natürlich sehr ungünstig, da das Terminal weiter einen erhöhten Stromverbrauch hat und somit die Laufzeit eines Batterie betriebenen Geräts verkürzt wird. Auch für das Netzwerk ist dieser Zustand ungünstig, da auch auf dieser Seite Ressourcen in Form von Rechenkapazität für die Aufrechterhaltung der Verbindung benötigt werden. Aus diesem Grund kann sich das Netzwerk entscheiden, die HSDPA Verbindung nach einiger Zeit der Inaktivität zu beenden und den Teilnehmer z.B. in den Cell-FACH State zu setzen (vgl. hierzu auch Kapitel 3.5.4). In diesem Zustand kann das Endgerät weiterhin mit einer sehr begrenzten Bandbreite Nutzdaten senden und empfangen, ohne dass dazu Dedicated Channel nötig wäre. Bei Bedarf kann auch aus diesem Zustand heraus schnell wieder eine neue HSDPA Verbindung aufgebaut werden.

### 3.9.6 HSDPA Mobility Management

Auch bei HSDPA ist es wichtig, die Verbindung aufrechtzuerhalten, während sich der User bewegt. Dazu unterhält das Endgerät wie schon in Kapitel 3.7.1 für den Soft Handover beschrieben, ein so genanntes Active Set für die Dedicated Channels der HSDPA Verbindung. Im Unterschied zu den Dedicated Channels und dem Soft Handover empfängt das Endgerät seine Daten auf den HS-PDSCH Kanälen jedoch nur über einen einzelnen Node-B. Basierend auf Vorgaben des Netzwerkes meldet dann das Terminal, wenn eine Zelle des Active bzw. Candidate Sets einen besseren Empfang gewährleisten würde. Der RNC kann daraufhin entscheiden, das Endgerät über diese Zelle zu versorgen. Bei HSDPA wird deshalb auch nicht von einem Handover gesprochen, sondern von einem Cell Change.

Im Vergleich zum Cell Update Verfahren von GPRS/EDGE wird der Cell Change Vorgang bei HSDPA vom Netzwerk gesteuert und nicht vom Endgerät. Da das Endgerät auch schon mit der neuen Zelle synchronisiert ist, führt der Zellwechsel nur zu einer sehr kurzen Unterbrechung der Datenübertragung auf den HS-PDSCH.

Je nachdem in welchem Verhältnis alte und neue Zelle zueinander stehen, gibt es mehrere Arten von Cell Changes:

- Intra Node-B Cell Change: Alte und neue Zelle sind Teil des gleichen Node-Bs. Dies ist die einfachste Variante, da der gleiche Node-B auch für die alte und neue Verbindung zuständig ist und somit die Datenpakete des Users, die ggf. noch im Puffer des Node-B sind, einfach über die neue Zelle geschickt werden können
- Inter Node-B Cell Change: Alte und neue Zelle gehören zu unterschiedlichen Node-Bs. Hier muss der RNC einen neuen Node-B anweisen, Ressourcen für die Übertragung von Nutzdaten über HSDPA bereitzustellen. Dies funktioniert im Netzwerk ähnlich wie ein komplett neuer Aufbau einer HSDPA Verbindung, der in Abbildung 3.43 gezeigt wurde. Nutzdaten, die noch für den Teilnehmer im Puffer des alten Node-B gespeichert sind gehen verloren und müssen von höheren Schichten neu übertragen werden.
- Cell Change mit Iur Interface: Befinden sich die alte und neue Zelle unter der Kontrolle von unterschiedlichen



RNCs, muss die HSDPA Verbindung über das Iur Interface aufgebaut werden.

- Cell Change ohne Iur Interface: Befinden sich alte und neue Zelle unter der Kontrolle von unterschiedlichen RNCs, die jedoch nicht über das Iur Interface verbunden sind, muss ein SRNS Relocation durchgeführt werden, an dem auch das Core Netzwerk (SGSN und ggf. MSC) beteiligt sind.
- Alte und neue Zelle senden auf unterschiedlichen Frequenzen (Inter Frequency Cell Change). Hier ist zusätzlicher Aufwand nötig, um Zellen auf anderen Frequenzen zu finden und dann in diese zu wechseln.
- Neue Zelle unterstützt kein HSDPA: Für diesen Fall kann das Netzwerk in der neuen Zelle einen dedicated Channel allokalieren und dem Endgerät zuteilen. Dieser bietet zwar nicht die gleiche Geschwindigkeit wie HSDPA, die Verbindung bricht jedoch nicht ab.
- Inter-RAT Cell Change: Falls der Teilnehmer sich aus dem Versorgungsbereich des UMTS Netzwerkes hinausbewegt, ist auch ein Handover von UMTS/HSDPA zu GSM spezifiziert. Dazu gibt es einen HSDPA Compressed Mode, der es ähnlich dem Compressed Mode für Dedicated Channels erlaubt, nach GSM Zellen zu suchen, während noch eine Verbindung zum UMTS Netzwerk besteht.

Bei allen Varianten ist es natürlich möglich, dass parallel zur Datenverbindung auch noch eine Sprach- oder Videotelefonieverbindung aufgebaut ist. Dies erschwert den Cell Change / Handover natürlich noch zusätzlich, da diese Verbindung natürlich simultan zur Datenverbindung aufrechterhalten, bzw. in die neue Zelle übergeben werden muss.

### 3.10 UMTS Release 6: High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

Durch das Aufkommen von Peer-to-Peer Anwendungen wie Multimediatelefonie mit Videoübertragungen, Upload von großen Dateien, Podcasts und Bildern ist zu erwarten, dass der Bedarf an Uplink-Kapazität im Netzwerk wachsen wird. Auch für andere Anwendungen wie eMails mit großen Dateianhängen und MMS mit großen Bilddateien ist eine höhere Uplinkgeschwindigkeit

von großem Nutzen. Seit der Einführung von UMTS Release 99 wurde jedoch hauptsächlich an einer Geschwindigkeitssteigerung im Downlink gearbeitet. Somit sind bis einschließlich UMTS Release 5 nur Datenraten bis 128 kbit/s im Uplink möglich, in manchen Netzwerken auch bis zu 384 kbit/s.

*HSDPA+HSUPA =  
HSPA*

Mit Release 6 wurde dann ein neues Verfahren für eine Erhöhung der Uploadbandbreite ausgearbeitet, das High Speed Uplink Packet Access (HSUPA) genannt wird. Für die Kombination aus HSDPA und HSUPA wird auch die Abkürzung HSPA (High Speed Packet Access) verwendet. HSUPA erhöht die mögliche Uplink Datentransfergeschwindigkeit auf theoretische 5.8 MBit/s. Unter realistischen Umgebungsbedingungen, mehreren simultanen Nutzern, und unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit des Endgeräts können in der Praxis aber immer noch Geschwindigkeiten von 800 kbit/s und mehr erreicht werden.

Auch aus Netzwerksicht hat HSUPA eine Reihe von Vorteilen. Für HSDPA (vgl. Kapitel 3.9) wird für jedes aktive Endgerät ein Dedicated Channel (DCH) im Uplink benötigt, um TCP Acknowledgements und andere Nutzdaten zu übertragen. HSUPA führt dieses Konzept durch Weiterentwicklung des Dedicated Channel Konzepts im Uplink zum Enhanced Dedicated Channel (E-DCH) fort. Dieser enthält eine Reihe von Verbesserungen, um die Nachteile eines dedizierten Kanals, wie nachfolgend beschrieben, für burstartige Übertragungen zu reduzieren. Um die Geschwindigkeit sowohl im Uplink, als auch im Downlink zu erhöhen, werden HSUPA und HSDPA üblicherweise gemeinsam verwendet.

*Vergleich  
zwischen DCH  
und E-DCH*

Während ein Release 99 Dedicated Channel (DCH) eine konstante Bandbreite und konstante Verzögerungszeit für Datenpakete garantiert, tauscht der E-DCH diese Vorteile gegen höhere Datenraten ein. Für viele Anwendungen ist dies akzeptabel und erhöht die Anzahl an Nutzern, die gleichzeitig mit hohen Geschwindigkeiten Daten übertragen können. Dies ist möglich, da das Netzwerk das Rauschen in einer sehr viel effizienteren Weise durch dynamische Bandbreitenregelung individueller Teilnehmer kontrollieren kann, als dies bisher mit einem DCH und fester Bandbreitenzuweisung möglich war.

Das E-DCH Konzept stellt zudem sicher, dass nach wie vor auch nicht stationäre Teilnehmer mit hohen Datenraten kommunizieren können. Die neuen Algorithmen für die dynamische Bandbreitenregelung sind jedoch für stationäre oder sich nur langsam bewegendende Teilnehmer optimiert.

*Quality of Service*

Der neue E-DCH unterstützt die schon bekannten Traffic Klassen Streaming (z.B. Mobile TV), Interactive (z.B. Webbrowsing) und Background Service (z.B. FTP). Um auch Echtzeitanwendungen (Real Time) wie Voice- oder Video over IP mit IMS zu unterstützen, enthält das E-DCH Konzept eine Reihe von optionalen Erweiterungen. Mit diesen ist es möglich, eine minimale Bandbreite während der Übertragung zu garantieren. Da diese Erweiterungen optional sind, ist zu erwarten, dass erste E-DCH Implementierungen im Netzwerk ihren Focus zunächst auf die wichtigsten E-DCH Konzepte legen und weitere Funktionen erst mit zukünftigen Softwareupdates im Netzwerk und auch in den Endgeräten verfügbar werden. Trotzdem können auch heute schon IP basierte Sprach- und Videoübertragungen über nicht optimierte E-DCH Kanäle übertragen werden, solange genügend Bandbreite in einer Zelle vorhanden ist. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die zuvor genannten Traffic-Klassen zwar schon seit den Anfängen von UMTS spezifiziert sind, bisher aber so gut wie nicht genutzt werden. Einzig die Limitierung auf eine maximale Geschwindigkeit wird von manchen Netzbetreibern für die Preisgestaltung verwendet.

Da die Bandbreite in Uplinkrichtung steigt, reduziert der E-DCH auch zusätzlich die Round Trip Verzögerungszeit. Dies wirkt sich vor allem beim Websurfen und bei interaktiven Spielen positiv aus.

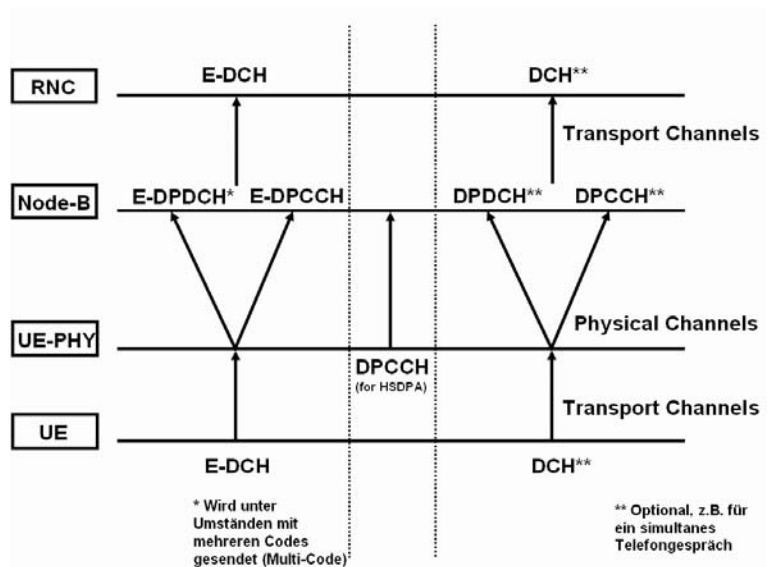
Wie andere Erweiterungen des Standards auch ist das E-DCH Konzept rückwärtskompatibel. Somit können in einer Zelle sowohl Release 99 Endgeräte kommunizieren, die nur DCH Kanäle unterstützen, HSDPA kompatible Geräte und eben auch Endgeräte, die sowohl HSDPA als auch HSUPA unterstützen.

*Standarddokumente*

Da E-DCH eine Weiterentwicklung des existierenden Standards ist, wurden eine Anzahl neuer Standarddokumente erstellt und mehrere bereits existierende Dokumente erweitert. In der 3GPP Technical Recommendation (TR) 25.896 wurden zunächst unterschiedliche Optionen für HSUPA diskutiert. Nachdem sich die Mitglieder im Standardgremium geeinigt hatten, welche der Optionen in den Standard einfließen sollten, wurde zunächst die 3GPP Technical Specification (TS) 25.309 erstellt, die einen Überblick über das neue E-DCH Konzept gibt. Unter den Standarddokumenten, die für E-DCH erweitert wurden, sind die Beschreibung der physikalischen Kanäle in TS 25.211, und die Beschreibung von Spreading und Modulation für E-DCH in TS 25.231.

### 3.10.1 E-DCH Kanalstruktur

Für das E-DCH Konzept wurden eine Reihe neuer Kanäle im Uplink und Downlink definiert, die in den Abbildungen 3.44 und 3.45 gezeigt werden. Zusätzlich werden für eine E-DCH Verbindung auch Release 99 und HSDPA Kanäle benötigt, die in Kapitel 3.4.3 und 3.9.1 bereits beschrieben wurden. Diese Kanäle sind ebenfalls in den Abbildungen gezeigt.



**Abb. 3.44:** Transportkanäle und physikalische Kanäle, die im HSUPA Betrieb verwendet werden.

Wie auf der linken Seite in Abbildung 3.44 gezeigt, führt HSUPA einen neuen Transportkanal ein, den Enhanced-DCH (E-DCH). Wie der Name des Kanals andeutet, verwendet HSUPA im Unterschied zu HSDPA keinen Shared Channel, der von mehreren Teilnehmern verwendet werden kann, sondern verwendet wie bisher auch einen dedizierten Kanal pro Endgerät. Trotzdem werden eine Reihe von Funktionalitäten, die bereits mit HSDPA eingeführt wurden, auch für den E-DCH verwendet. Da diese bereits in Kapitel 3.9 beschrieben sind, folgt an dieser Stelle nur eine kurze Auflistung:

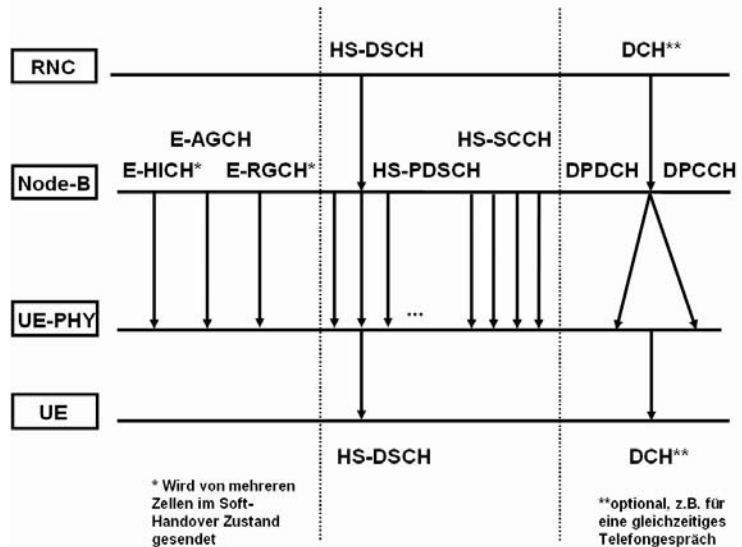
- Node-B Scheduling: Während bisherige dedizierte Kanäle vom RNC kontrolliert wurden, ist der Node-B für E-DCH Kanäle zuständig. Dies ermöglicht eine schnellere Reaktion beim auftreten von Übertragungsfehlern. Außerdem kann der Node-B schneller auf sich verändernde Signalpegel reagieren, sowie auf die sehr variable Nutzung des Übertragungskanals durch die Teilnehmer. Zusammen bedeutet dies, dass die vorhandene Bandbreite auf der Luftschnittstelle effizienter genutzt wird.
- HARQ: Auch der E-DCH verwendet nun das Hybrid Automatic Retransmission Request (HARQ) Verfahren für die Fehlerkorrektur, statt wie bisher nur die RLC Schicht für diese Aufgabe zu nutzen. Auf diese Weise können Übertragungsfehler von Node-B schon im MAC-Layer erkannt werden. Für weitere Details hierzu siehe Kapitel 3.9.2.
- Chase Combining und Incremental Redundancy werden in ähnlicher Weise für den E-DCH verwendet wie in Kapitel 3.9.2 für HSDPA gezeigt, um die vom HARQ Mechanismus als fehlerhaft erkannten MAC-Frames erneut zu übertragen.

Auf der physikalischen Schicht ist der E-DCH in zwei Kanäle geteilt. Der Enhanced Dedicated Physical Data Channel (E-DPDCH) ist der Haupttransportkanal und wird für Nutzdaten (IP Pakete über RLC/MAC Frames) und Schicht 3 RRC Signalisierung zwischen Endgerät und RNC verwendet. Wie weiter unten noch genauer gezeigt, ist der Spreizfaktor für diesen Kanal variabel und kann dynamisch von 64 bis 2 geregelt werden, je nach aktuellen Übertragungsbedingungen und der gerade vom Endgerät benötigten Bandbreite. Um die Übertragungsgeschwindigkeit zu steigern, werden mehrere Channelisation Codes gleichzeitig verwendet. Dieses Konzept wird Multi-Code Kanal genannt und ist vergleichbar mit dem HSDPA Konzept, mehrere Downlink Shared Kanäle einem einzelnen Endgerät zuzuordnen. Die Anzahl an gleichzeitigen Kanälen pro Endgerät wurde auf maximal vier begrenzt, von denen jeweils zwei mit SF=2 und die anderen zwei mit SF=4 betrieben werden. E-DPDCH Frames können eine Länge von 2 oder 10 Millisekunden haben. 10 ms Frames müssen von allen Endgeräten unterstützt werden, 2 ms Frames sind hingegen optional.

Der Enhanced Dedicated Physical Control Channel (E-DPCCH) wird für Physical Layer Steuerungsinformationen verwendet. Für jeden Frame, der auf dem E-DPDCH zum Node-B übertragen wird, gibt es einen Kontrollframe auf dem E-DPDCCH. Wichtigster Parameter ist die 7 Bit lange Traffic Format Combination ID (TFCD). Nur nach Dekodierung dieses Parameters ist der Node-B in der Lage, den MAC Frame im E-DPDCH zu dekodieren, da das Endgerät selbständig einen Spreizfaktor und eine geeignete Kodierung aus einem vom Node-B vorgegebenen Set auswählen kann. Welcher Spreizfaktor und welche Kodierung gewählt werden, hängt von der aktuellen Signalqualität ab und der Menge an Daten, die sich momentan im Sendepuffer des Endgeräts befinden. Ein E-DPCCH Frame enthält auch eine 2 Bit lange Retransmission Sequence Nummer (RSN) für die Steuerung der HARQ Prozesse (vgl. Kapitel 3.9.2). Schließlich enthält der Frame noch ein so genanntes „Happy“ Bit. Mit diesem kann dem Netzwerk mitgeteilt werden, ob die aktuelle maximale Datenrate ausreichend ist, um den Sendepuffer nicht überlaufen zu lassen. Während der Spreizfaktor für die Nutzdaten variabel ist, verwendet der E-DPCCH immer einen Spreizfaktor von 256.

Abbildung 3.44 zeigt in der Mitte und rechts eine Reihe von UMTS Release 99 und Release 5 bekannten Kanälen, die zusammen mit einem E-DCH verwendet werden. Normalerweise wird ein E-DCH zusammen mit High Speed Downlink Shared Kanälen verwendet, die einen separaten Dedicated Physical Control Channel (DPCCH) benötigen, um Kontrollinformationen für Downlink HARQ Prozesse zu übertragen. Für Applikationen wie leitungsvermittelte Sprach- oder Videoübertragungen während einer E-DCH Sitzung müssen zusätzlich auch Release 99 Dedicated Data- und Control Kanäle im Uplink übertragen werden. Dies ist notwendig, da diese Anwendungen einen eigenen Kanal mit einer Bandbreite von 12.2 oder 64 kbit/s benötigen. Insgesamt muss ein E-DCH fähiges Endgerät somit mindestens fünf simultane Uplink Kanäle unterstützen. Werden während einer E-DCH Übertragung mehrere Kanäle verwendet (Multi-Code) müssen sogar bis zu 8 Code Kanäle in Uplinkrichtung gleichzeitig gesendet werden.

In Downlinkrichtung führt HSUPA drei neue zusätzliche Kanäle ein, von denen einer optional ist. Abbildung 3.45 zeigt alle Kanäle, die ein Endgerät in Downlink Richtung zu dekodieren hat, während ein E-DCH verwendet wird.



**Abb. 3.45:** Kanäle, die im Downlink während einer HSDPA / HSUPA Sitzung dekodiert werden müssen.

Auch wenn HSUPA nur Daten im Uplink transportiert, sind trotzdem eine Anzahl Kontrollkanäle im Downlink notwendig. Für die Bestätigung von Datenpaketen die im Uplink vom Endgerät zum Netzwerk übertragen werden, gibt es den Enhanced HARQ Information Channel (E-HICH). Der E-HICH ist ein dedizierter Kanal, d.h. das Netzwerk verwaltet pro aktivem Endgerät einen E-HICH.

Für eine schnelle und dynamische Geschwindigkeitsregelung jedes aktiven Endgerätes gibt es den Enhanced Access Grant Channel (E-AGCH), der von allen aktiven E-DCH Endgeräten einer Zelle überwacht werden muss. Dieser hat einen festen Spreizfaktor von 256. Mehr zum Thema Bandbreitenmanagement in Kapitel 3.10.3.

Zusätzlich kann das Netzwerk die maximale Geschwindigkeit jedes Endgerätes, die ursprünglich auf dem E-AGCH zugeteilt wurde, über den Enhanced Relative Grant Channel (E-RGCH) vergrößern oder verkleinern. Der E-RGCH ist ein dedizierter Kanal, jedem aktiven E-DCH Endgerät wird also ein eigener E-RGCH zugeteilt. Der E-RGCH ist jedoch optional und muss somit nicht zwingend von allen Netzwerkherstellern verwendet werden.

An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass die meisten hier vorgestellten Kanäle zwar als „Enhanced“ (verbessert) bezeichnet werden, jedoch keine Release 99 Vorgänger haben. Einzige Ausnahme ist der E-DCH.

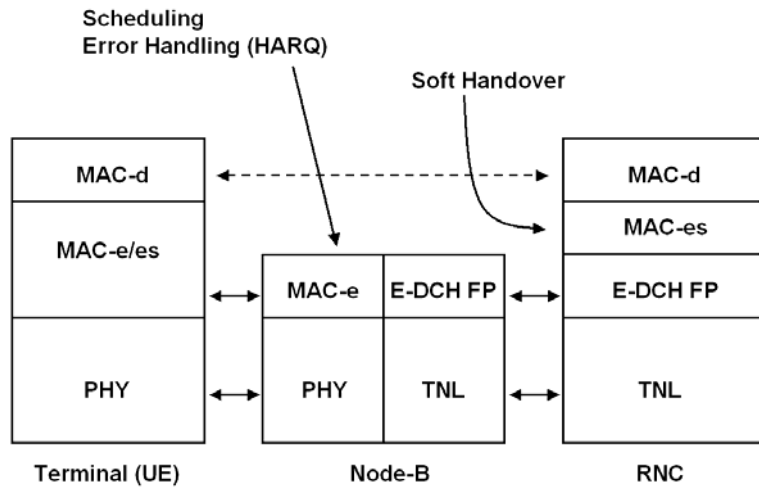
Zusätzlich zu diesen drei Kontrollkanälen muss ein E-DCH Endgerät noch eine Anzahl weiterer Downlink Kanäle dekodieren. Da HSUPA normalerweise zusammen mit HSDPA verwendet wird, sind zusätzlich alle zugeteilten High Speed Downlink Shared Kanäle (HS-DSCH) zu dekodieren, sowie die High Speed Shared Control Channels (HS-SCCH). Ist noch zusätzlich ein Sprach- oder Videoanruf aufgebaut, öffnet das Netzwerk noch zwei weitere Kanäle im Downlink wie in Abbildung 3.45 auf der rechten Seite gezeigt. Insgesamt muss ein E-DCH Endgerät somit 10 bis 15 Downlink Kanäle gleichzeitig dekodieren können. Falls das Endgerät zusätzlich im Soft Handover State ist (vgl. Kapitel 3.7.1) steigt die Anzahl der Kanäle noch weiter, da manche Kanäle dann von mehreren Zellen ausgestrahlt werden.

### 3.10.2 Der E-DCH Protokoll Stack

Um die Komplexität für höhere Schichten zu verringern und die neu hinzugekommenen Aufgaben zwischen Node-B und RNC verteilen zu können, führt das E-DCH Konzept zwei neue Protokollschichten ein, die MAC-e und MAC-es genannt werden. Beide Schichten befinden sich unterhalb der MAC-d Schicht, die auch für Release 99 Kanäle verwendet wird. Höhere Protokollschichten mussten somit für E-DCH nicht modifiziert werden.

Während in Engeräten die MAC-e und MAC-es Schichten kombiniert wurden, sind deren Funktionalitäten auf der Netzwerkeite zwischen Node-B und RNC verteilt. Die Funktionalitäten der unteren MAC-e Schicht sind im Node-B implementiert, da dieser für das Scheduling der Datenpakete und die HARQ Fehlerkorrektur verantwortlich ist. Details hierzu werden weiter unten beschrieben. Die MAC-es Schicht ist im RNC angesiedelt und übernimmt die Kombination von Frames, die von unterschiedlichen Node-Bs empfangen werden, während eine E-DCH Verbindung im Soft-Handover Zustand ist.





**Abb. 3.46:** Der E-DCH Protokoll Stack

Des Weiteren ist der RNC für den Aufbau einer E-DCH Verbindung mit dem Endgerät zuständig. Dies ist nicht Teil der MAC-es Schicht, sondern des Radio Resource Control (RRC) Algorithmus, der für HSUPA erweitert wurde. Da der RRC Algorithmus im RNC einen E-DCH Kanal wie einen normalen dedizierten Kanal behandelt, ist ein Endgerät während einer HSUPA Verbindung im Cell-DCH Zustand. Die generelle Administration der E-DCH Kanäle verbleibt also beim RNC, während das Scheduling der Nutzerdaten nun Aufgabe des Node-Bs ist. Der RNC kann deshalb weiterhin als übergeordnete Instanz entscheiden, wann ein Endgerät bei Inaktivität den E-DCH Kanal abgeben muss und in den Cell-FACH Zustand zurückfällt. Somit wird eine HSUPA Verbindung Teil des Cell-DCH Zustands und Teil des allgemeinen Radio Resource Management, das in Kapitel 3.5.4 beschrieben wurde.

Da HSUPA im Uplink einen Dedicated Channel verwendet, kann für Zellwechsel oder bei schlechter Signalstärke ein Soft-Handover mit mehreren Zellen aktiviert werden. Dies ist mit Shared Channels, wie sie bei HSDPA verwendet werden, nicht möglich, da die Zellen synchronisiert sein müssten, um ein Datenpaket an einen Teilnehmer genau zur gleichen Zeit über Shared Channels zu übertragen. In der Praxis würde dies einen sehr hohen Signalisierungsaufwand im Netzwerk bedeuten. Durch die Verwendung von Dedicated Channels ist außerdem ein unter-

schiedliches Timing verschiedener Endgeräte nicht kritisch, da diese zur selben Zeit aber mit unterschiedlichen Scrambling Codes senden können, ohne miteinander synchronisiert zu sein. Der einzige daraus entstehende Nachteil ist ein erhöhtes Rauschen (Noise) in der Zelle. Dies kann jedoch von Nachbarzellen reguliert werden, indem sie Endgeräte im Soft-Handover Zustand über den Relative Grant Channel (E-RGCH) auffordern können, ihre Sendeleistung zu reduzieren. In der Praxis ist der Soft-Handover für Uplink Übertragungen sehr hilfreich, da Endgeräte im Vergleich zu einer Basisstation nur eine sehr begrenzte Sendeleistung haben. Außerdem erhöht der Soft-Handover die Chance, dass das Netzwerk ein Datenpaket korrekt empfängt. Das Endgerät muss somit ein Datenpaket nur dann erneut übertragen, wenn alle Zellen des Active Sets ein negatives Acknowledgement (NAK) für ein Paket zurücksenden. Dies wiederum bedeutet, dass ein Endgerät seine Sendeleistung reduzieren kann, was sich wiederum positiv auf die zur Verfügung stehende Gesamtbandbreite im Netzwerk auswirkt. Die Nutzung des Soft-Handovers für E-DCH wurde im Standard jedoch als optional deklariert. Deshalb ist anzunehmen, dass erste E-DCH Implementierungen noch keinen Gebrauch davon machen werden.

Ein weiterer Vorteil eines dedizierten Kanals ist, dass Endgeräte in einer Zelle nicht untereinander synchronisiert sein müssen und somit keine Wartezeit anfällt, bis ein Datenpaket gesendet werden kann. Alle Endgeräte senden wie bei Release 99 Verbindungen zu jeder Zeit, was sich positiv auf Round Trip Verzögerungszeiten auswirkt.

### 3.10.3

#### **E-DCH Scheduling**

Möchte der RNC ein Endgerät z.B. auf Grund eines Verbindungsaufbaus oder erneuter Aktivität in den Cell-DCH Zustand setzen, kann ein E-DCH Kanal an Stelle eines DCH gewählt werden, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- Das Endgerät unterstützt E-DCH.
- Die aktuelle Zelle unterstützt E-DCH.
- Die Quality of Service (QoS) Anforderungen der Verbindung (des PDP Kontexts) erlauben die Verwendung eines E-DCH. Manche E-DCH Implementierungen können z.B. vorschreiben, dass ein DCH statt eines E-DCH verwendet wird, wenn die Verbindung ursprünglich für

Echtzeitanwendungen wie VoIP oder Videoübertragungen aufgebaut wurde. Fortgeschrittene E-DCH Implementierungen hingegen können auch diese Dienste unterstützen, da es durchaus möglich ist, auch über einen E-DCH eine minimale Bandbreite und eine konstante Verzögerungszeit zu gewährleisten. Dies kann z.B. durch Non-Scheduled Grants geschehen, die nachfolgend beschrieben werden.

*Steuerung der Datenrate*

Der Aufbau einer E-DCH Verbindung ist dem einer DCH Verbindung sehr ähnlich. Wie auch für einen DCH teilt der RNC dem Endgerät während dieser Prozedur mit, welches Transport Format Combination Set (TFCS) für den E-DCH Kanal verwendet werden kann. Ein TFCS ist eine Liste (ein Set) von verschiedenen Kombinationen aus Codierschema, Spreizfaktoren und Punktierungsverfahren, die unterschiedliche Übertragungsgeschwindigkeiten ermöglichen. Somit kann das Endgerät später eine geeignete Transport Format Combination (TFC) für jeden Frame in Abhängigkeit der aktuellen Signalstärke und Füllstand des Sendepuffers wählen. Über die TFCS Liste hat der RNC somit die Möglichkeit, die Geschwindigkeit eines Endgeräts zu limitieren. Während des E-DCH Verbindungsaufbaus erfährt das Endgerät auch, welche Zelle des Active Sets die Serving E-DCH Zelle wird. Über die Serving Cell kontrolliert das Netzwerk dann die Bandbreitenteilungen.

In der Praxis werden mindestens zwei Kanäle über einen gemeinsamen physikalischen E-DPDCH Kanal übertragen. Dies sind ein Dedicated Transport Channel (DTCH) für Nutzdaten und ein Dedicated Control Channel (DCCH) für RRC Nachrichten. Die Übertragung beider Kanäle erfolgt in gleicher Weise wie bei einem normalen DCH.

Nach erfolgreichem Aufsetzen eines E-DCH sendet das Endgerät eine Bandbreitenanforderung an den Node-B. Dies geschieht mit einer Nachricht die über den E-DCH gesendet wird, obwohl zu diesem Zeitpunkt noch keine Bandbreite für diesen Kanal zugeteilt wurde. Die Bandbreitenanforderung enthält folgende Informationen für den Node-B:

- Eine Schätzung des Endgeräts über die zur Verfügung stehende Sendeleistung nach Abzug der Leistung, die für

andere schon aktive Kanäle wie den DPCCH verwendet wird.

- Priorität des wichtigsten Kanals der übertragen werden soll.
- Sendepufferstatus des Kanals mit der höchsten Priorität
- Zusammenfassung des Status aller anderen Sendepuffer

Nachdem der Node-B die Bandbreitenanforderung erhalten hat, erteilt er eine absolute Bandbreitenzuweisung (Absolute Grant) unter Berücksichtigung des aktuellen Rauschlevels, des Bandbreitenbedarfs anderer Endgeräte und der Verbindungspriorität, die dem Node-B vom RNC während des Aufbaus der E-DCH Verbindung mitgeteilt wurde. Der Absolute Grant, auch Scheduling Grant genannt, enthält dann Informationen über das höchste Sendeleistungsverhältnis, das ein Endgerät zwischen E-DPDCH und E-DPCCH verwenden darf. Da dem Endgerät bekannt ist, mit welcher Sendeleistung der E-DPCCH gesendet werden muss, um vom Node-B noch korrekt empfangen werden zu können, wird über dieses Verhältnis auch implizit die Sendeleistung begrenzt, die für die Nutzdatenübertragung über den E-DPDCH verwendet werden darf. Dies limitiert die Anzahl an möglichen Transport Format Combinations (TFCs), die das Endgerät aus der ursprünglich zugewiesenen TFCs Liste auswählen kann, da schnellere TFCs unter Umständen mit mehr Leistung gesendet werden müssten, als vom Netzwerk zu einem Zeitpunkt zugeteilt ist.

Ein Absolute Grant kann an ein einzelnes Endgerät oder auch an mehrere Endgeräte gleichzeitig adressiert sein. Wenn das Netzwerk mehrere Endgeräte gleichzeitig erreichen will, erteilt es die gleiche Enhanced Radio Network Temporary ID (E-RNTI) an alle Endgeräte, die zu einer Gruppe zusammengefasst werden sollen. Auf diese Weise kann der Signalisierungsaufwand reduziert werden.

Eine andere Möglichkeit eine Bandbreitenzuweisung (Grant) für ein einzelnes Endgerät oder ein Gruppe zu erhöhen bzw. zu verringern ist ein relativer Grant, der über den optionalen Relative Grant Channel (E-RGCH) erteilt wird. Mit relativen Zuweisungen wird die Sendeleistung Schritt für Schritt in einem Intervall von einem Transmit Time Intervall (TTI) geändert. Auf diese Weise kann das Netzwerk somit ebenfalls recht schnell (alle 2 oder 10 Millisekunden) die Sendeleistung ändern, was sich im-

plizit wieder auf die maximal zur Verfügung stehende Bandbreite auswirkt. Relative Grants können von allen Zellen im Active Set eines Endgerätes gesendet werden. Auf diese Weise können Zellen das Rauschen von E-DCH Verbindungen steuern, die aktuell von anderen Zellen kontrolliert werden. Dies ist unter Umständen nötig, um sich selber vor einem zu hohen Rauschlevel zu schützen. In der Praxis muss also ein Endgerät in der Lage sein, von jeder Zelle des Active Sets den E-RGCH separat zu dekodieren.

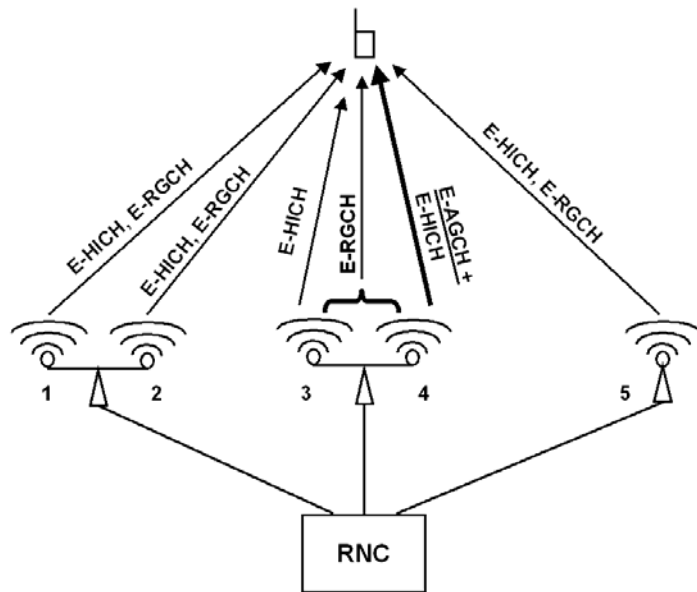
Wie in Abbildung 3.47 gezeigt kann jede Zelle des Active Sets einer Verbindung eine von drei Rollen übernehmen:

- Eine der Zellen im Active Set ist die Serving E-DCH Zelle. Über diese erhält das Endgerät über den E-AGCH Anweisungen, seine Sendeleistung zu erhöhen, zu verringern oder zu halten. Außerdem kann die Serving E-DCH Zelle die Sendeleistung des Endgeräts auch über den E-RGCH Kanal anpassen.
- Die Serving E-DCH Zelle und alle anderen Zellen dieses Node-Bs, die Teil des Active Sets einer Verbindung sind (Zelle 3 und 4 in Abbildung 3.47), sind Teil des Serving Radio Link Set. Die Kommandos, die über den E-RGCH dieser Zellen gesendet werden sind identisch und das Endgerät kann somit diese Kanäle für die Dekodierung bündeln.
- Alle anderen Zellen im Active Set gehören zum Non-Serving Radio Link Set (Zellen 1,2 und 5 in Abbildung 3.47). Endgeräte müssen die E-RGCHs dieser Zellen jeweils einzeln dekodieren. Zellen im Non-Serving RLS können nur Hold oder Down Anweisungen schicken.

Wird ein „Up“ Kommando vom Serving RLS empfangen, darf das Endgerät seine Sendeleistung erhöhen, wenn nicht zur gleichen Zeit auch ein „Down“ Kommando von einer oder mehreren Zellen des Non-Serving RLS empfangen wird. Das „Down“ Kommando einer einzigen Zelle überstimmt somit alle „Up“ oder „Hold“ Kommandos aus anderen Zellen. Bei Erhalt eines „Down“ Kommandos muss das Endgerät dann sofort seine Sendeleistung reduzieren.

In der Praxis ist es unwahrscheinlich, dass fünf Zellen gleichzeitig Teil des Active Sets einer Verbindung sind, wie dies in Abbildung 3.47 gezeigt wird. Der Vorteil des Soft-Handover Mecha-

nismus für die Kapazität auf der Luftschnittstelle würde bei einer solch hohen Anzahl an Zellen zunichte gemacht werden. Unter realen Bedingungen wird normalerweise durch gutes Radio Engineering beim Netzaufbau gewährleistet, dass maximal zwei oder drei Zellen während eines Soft Handovers eine gute Verbindung gewährleisten können.



**Abb. 3.47:** Die Serving E-DCH Zelle, das Serving RLS und das Non-Serving RLS

Wie in diesem Kapitel gezeigt, hat der Node-B eine große Anzahl an Parametern um entscheiden zu können, welche maximale Sendeleistung welches Endgerät zu welcher Zeit verwenden darf. Der Standard legt jedoch nicht fest, welche Parameter für diese Scheduling Entscheidungen verwendet werden müssen. NetzwerkhHersteller können somit ihre eigenen Algorithmen implementieren.

Um einen E-DCH auch für Echtzeitanwendungen wie Voice oder Video over IP verwenden zu können, sieht der Standard Non-Scheduled Grants vor. Entscheidet der RNC, dass eine konstante Bandbreite und eine konstante Verzögerungszeit für eine Verbindung notwendig sind, kann es den Node-B anweisen, die dafür notwendige Sendeleistung zu garantieren. Das Endgerät kann dann seine Daten ohne vorherige Bandbreitenanforderung

an den Node-B schicken. Wird dieser Mechanismus verwendet, muss der Node-B sicherstellen, dass auch in Spitzenzeiten für Übertragungen mit Non-Scheduled Grants genügend freie Bandbreite zur Verfügung steht.

#### 3.10.4 E-DCH Mobility

Die höchsten Datenraten können mit einem E-DCH erreicht werden, wenn das Endgerät stationär betrieben wird, oder sich der Nutzer nur langsam bewegt. In diesen Fällen können kleine Spreizfaktoren verwendet werden und die Anzahl der Redundanzbits auf ein Minimum reduziert werden. HSUPA wurde jedoch so spezifiziert, dass auch sich schnell bewegende Teilnehmer mit höheren Datenraten im Vergleich zu Release 99 Kanälen rechnen können.

Erste E-DCH Implementierungen verwenden unter Umständen nur eine einzige Serving Cell, d.h. es gibt keine Macro Diversity (Soft-Handover). Für die Mobilität bedeutet dies, dass die erreichbaren Datenraten zwischen zwei Zellen nicht ideal sind, da das Endgerät nicht genug Sendeleistung hat, um einen niedrigen Spreizfaktor und gute Kodierraten wählen zu können. Entschieden sich der RNC aufgrund von Signalstärkemessungen des Node-B und des Endgerätes, eine andere Zelle für die E-DCH Verbindung zu wählen, gibt es eine kurze Unterbrechung, da das Endgerät nach dem Handover zunächst den E-DCH in der neuen Zelle wiederherstellen muss.

Bessere Implementierungen werden, wie in Abbildung 3.47 gezeigt, die Soft-Handover Funktionalität verwenden. Im Uplink wird dann der Datenstrom eines Endgerätes von mehreren Zellen empfangen, die ihre Kopie des Datenstroms an den RNC weiterleiten. Jede Zelle teilt außerdem dem Endgerät mit, ob sie ein Paket korrekt empfangen hat. Hat zumindest eine Zelle im Active Set ein Datenpaket korrekt empfangen, muss das Datenpaket nicht erneut gesendet werden. Dies ist vor allem bei mobilen Datenübertragungen von Vorteil, da sich hier wie in Abbildung 3.30 gezeigt, die Empfangsbedingungen bedingt durch auftauchende Hindernisse im Übertragungspfad und Fadingeffekte sehr schnell ändern. Außerdem ermöglicht ein Soft-Handover im Uplink eine unterbrechungsfreie Übertragung, während sich der Anwender mit seinem Endgerät durch das Netzwerk bewegt.

Inter-frequency und Inter-RAT (Radio Access Technology) Handover Prozesse wurden ebenfalls für HSUPA erweitert, um die

Verbindung zwischen Endgerät und Netzwerk auch in folgenden Fällen zu gewährleisten:

- Der Nutzer bewegt sich mit seinem Endgerät in eine Zelle die nur Release 99 DCH Kanäle unterstützt. In diesem Fall instruiert das Netzwerk das Endgerät einen Handover in die neue Zelle durchzuführen und dort einen DCH statt eines E-DCH aufzubauen.
- Aus Kapazitätsgründen kann ein Netzbetreiber mehrere 5 MHz Carrier in einer Zelle verwenden. Ein Carrier wird dann z.B. für Telefongespräche und Release 99 Dedicated Channels verwendet, während der zweite Carrier für HSDPA und HSUPA Verbindungen reserviert ist. Muss dann das Endgerät in eine Zelle wechseln, in der nur ein Carrier verwendet wird, bekommt es vom Netzwerk einen Befehl, den Carrier zu wechseln. Dieser Vorgang wird auch als Inter-Frequency Hard Handover bezeichnet.
- Im ungünstigsten Fall verlässt ein Anwender die UMTS Abdeckung. Falls jedoch noch ein GSM Netzwerk vorhanden ist, kann eine aktive Verbindung auch dorthin übergeben werden. Dies wird als Inter-RAT Handover bezeichnet.

### 3.10.5 E-DCH Endgeräte

Neue E-DCH Endgeräte müssen eine höhere Verarbeitungsgeschwindigkeit und Speicher aufweisen als Release 99 DCH oder HSDPA Geräte, um hohe Datenraten sowohl im Downlink (HSDPA) als auch im Uplink (HSUPA) verarbeiten zu können. Um von der ständigen Weiterentwicklung der Endgerätehardware zu profitieren, definiert der Standard sechs Terminalkategorien. Diese Kategorien unterscheiden sich durch die Anzahl an gleichzeitig unterstützten E-DCH Spreading Codes, deren maximale Code Länge und durch die Unterstützung von Paketlängen von 2 oder 10 ms. Je mehr und je kleinere Spreading Codes unterstützt werden, desto schneller die Datenübertragung. Die nachfolgende Tabelle zeigt die definierten E-DCH Terminalkategorien und die dazugehörige maximale Datenrate unter idealen Übertragungsbedingungen. Für die beste Endgeräteklasse sind vier simultane Codes definiert, zwei mit einem Spreizfaktor von zwei und zwei mit einem Spreizfaktor von vier. Die maximale Datenrate auf Anwendungsebene ist etwas geringer als für



Schicht zwei in der nachfolgenden Tabelle angegeben, da der Overhead der Protokollschichten darunter noch abzuziehen ist.

<b>Kategorie</b>	<b>Spreizfaktor und Anzahl gleichzeitiger Codes</b>	<b>Größte Transportblockgröße für ein 10 ms / 2 ms TTI</b>	<b>Maximale Übertragungsgeschwindigkeit für ein 10 ms / 2ms</b>
1	1x SF-4	7.296 bits	729 kbit/s
2	2x SF-4	14.592 bits / 2.919 bits	1.4592 MBit/s / 1.4595 MBit/s
3	2x SF-4	14.592	1.4592 Mbit/s
4	2x SF-2	20.000 bits / 5.837 bits	2.000 MBit/s / 2.9185 Mbit/s
5	2x SF-2	20.000 bits	2.000 MBit/s
6	2x SF-2 + 2x SF4	20.000 bits / 11.520 bits	2.000 MBit/s 5.76 Mbit/s

Wie in der Tabelle gezeigt, können Geschwindigkeiten über 2 MBit/s nur mit 2 Millisekunden Frames erreicht werden. Dies wurde so festgelegt, da bei höheren Geschwindigkeiten die Verwendung von 10 ms Frames aufgrund der daraus resultierenden Blockgrößen nicht mehr sinnvoll ist. Bei 2 MBit/s beispielsweise passen in einen 10 Millisekunden Block schon etwa 2500 Bytes.

Unter weniger optimalen Bedingungen hat das Endgerät oft nicht genügend Sendeleistung, um die maximale Anzahl an Codes für eine Übertragung verwenden zu können. Außerdem ist es in vielen Fällen nötig, auch die Anzahl der Fehlerkorrekturbits zu erhöhen, d.h. die Anzahl der pro Transportblock übertragenen Nutzdatenbits sinkt. Außerdem kann auch der Node-B die Sendeleistung des Endgeräts begrenzen, um die vorhandene Kapazität der Luftschnittstelle unter allen aktiven Endgeräten der Zelle aufzuteilen.

### 3.11 Fragen und Aufgaben

1. Welche wesentlichen Unterschiede gibt es zwischen dem GSM und dem UMTS Radionetzwerk?
2. Welche Vorteile bietet das UMTS Radionetzwerk gegenüber bisherigen Technologien für Benutzer und Netzbetreiber?
3. Welche Datenraten sind mit einem Release 99 UMTS Netzwerk möglich?
4. Was bedeutet der Begriff OVSF?
5. Warum wird zusätzlich zum Spreading Code noch ein Scrambling Code verwendet?
6. Was bedeutet der Begriff Cell Breathing?
7. Welche Unterschiede gibt es zwischen dem Cell-DCH und dem Cell-FACH RRC Zustand?
8. In welchen RRC Zuständen kann sich ein Endgerät im PMM Connected Zustand befinden?
9. Wie funktioniert das UMTS Soft Handover Verfahren und welche Vor- und Nachteile hat es?
10. Was ist ein SRNS Relocation?
11. Wie funktioniert das Mobility Management im Cell-FACH Zustand?
12. Wofür wird der Compressed Mode benötigt?

Lösungen sind auf der Website zum Buch unter <http://www.cm-networks.de> zu finden.