

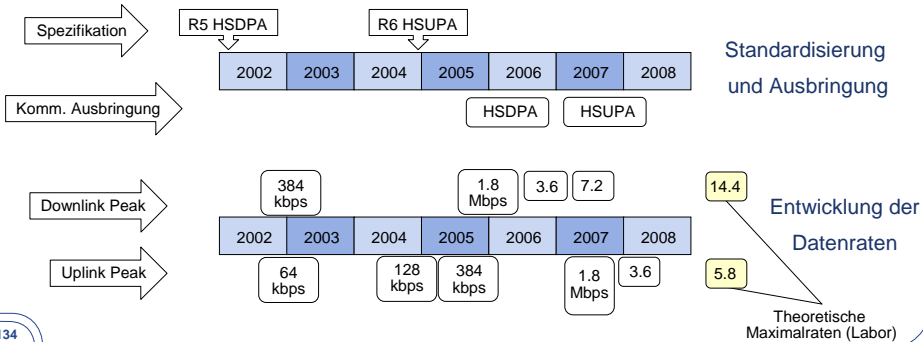
- **High Speed Packet Access**, bestehend aus

- **HSDownlinkPA**

- ▶ Standardisiert in 3GPP Release 5, 2002

- **HSUplinkPA**

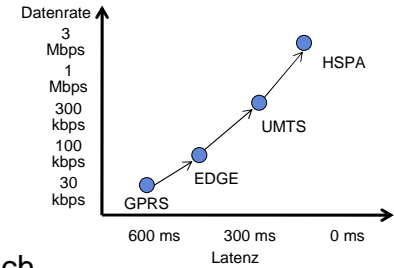
- ▶ Standardisiert in 3GPP Release 6, 2004



134

- Neben hohen Datenraten auch kleinere Latenzen möglich

UMTS mit HSPA	100 ms – 200 ms
UMTS	200 ms – 300 ms
EDGE (EGPRS)	400 ms – 500 ms
GPRS	600 ms und mehr



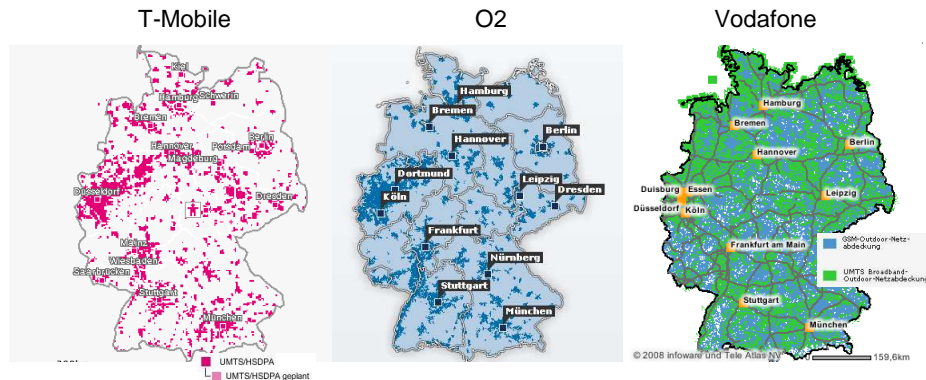
→ Anbieten neuer Dienste möglich

→ VOIP, Mobile TV,...

- Höhere erreichbare Kapazität pro Zelle

135

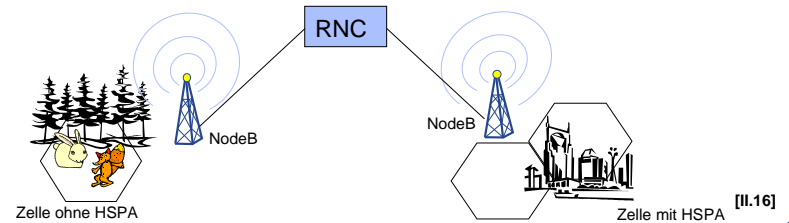
- Stand Mai 2010, große Anbieter Deutschlands



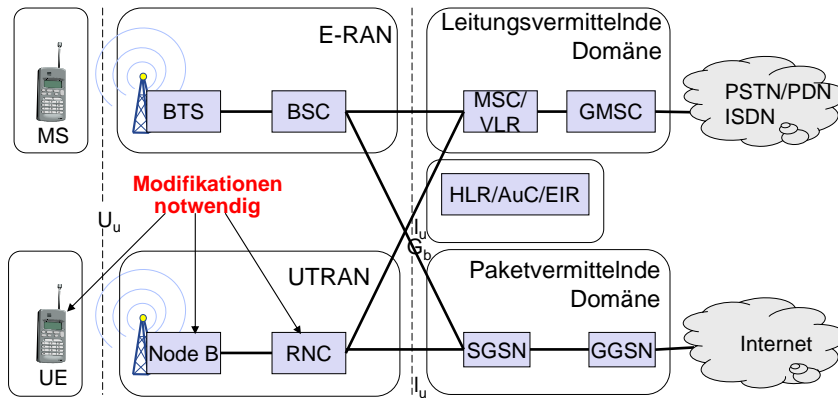
- Vodafone und T-Mobile kämpfen um beste Abdeckung
- O2 baut stark aus (seit Ende 2009 kein Roaming-Partner mehr von T-Mobile)

136

- Nur kleine Anpassungen der Architektur notwendig
  - RNC, SGSN, GGSN und Antennen können prinzipiell weiter verwendet werden
  - Vor allem Softwareupdates nötig
  - Potenziell kleinere Hardwareänderungen in NodeB, RNC und Endgeräten für höhere Datenraten
- Koexistenz mit Release 99
  - Provider kann Zellen mit und ohne HSPA betreiben



137



- Flexible Kanalzuteilung
  - HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) anstatt DCH (Dedicated Channel)
- Adaptive Modulation und Kodierung (AMC)
  - QPSK: bei minderer Kanalqualität (Datenrate wie UMTS)
  - 16QAM: bei sehr guter Kanalqualität (doppelte UMTS-Datenrate)
  - Adaptive Kodierung (Forward Error Correction)
- Aufwertung des NodeB durch MAC-hs
  - Paketwiederholungen nicht mehr zwischen RNC und UE sondern zwischen NodeB und UE



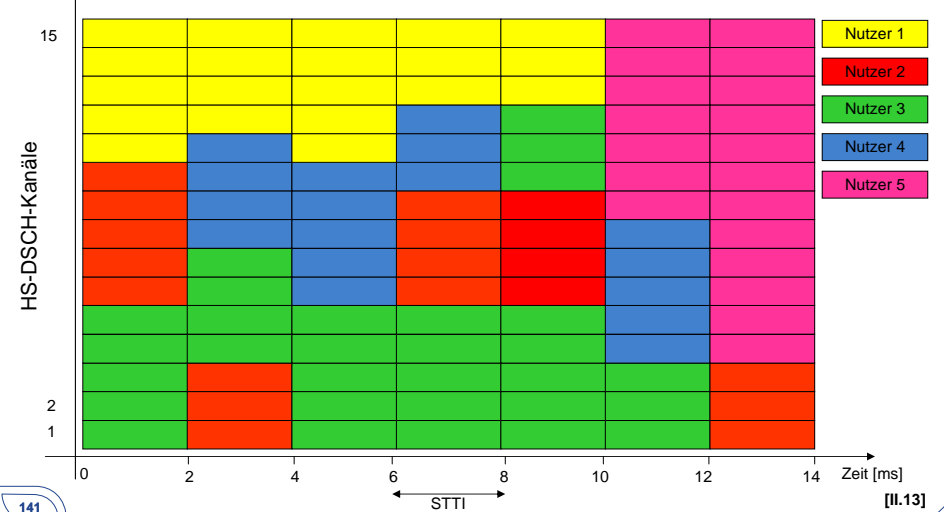
## High Speed - Downlink Shared Channel (HS-DSCH)

- Kombination aus Zeit- und Codemultiplex (TDMA, CDMA)
  - Zeitmultiplex mit 2 ms Zeitscheiben (Short Transmission Time Interval)
  - 15 Codemultiplexing-Kanäle mit Spreizfaktor 16
- Aufteilbar auf maximal 4 Endgeräte pro Zeitschlitz
- Je besser die Verbindungsqualität, desto mehr Kanäle werden einem Teilnehmer zugeteilt
  - Vermeidet aufwendige Fehlerkorrekturen
  - Mindestdatenrate wird aber garantiert

140



- Beispiel mit 5 Teilnehmern

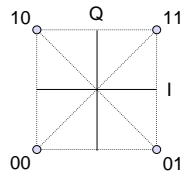


141



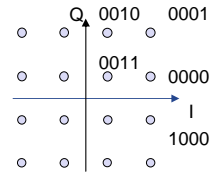
Zur Erinnerung: Modulationsverfahren (siehe auch Kapitel 1)

- QPSK:



- 2 Bit pro Symbol
- robust auch bei schwankender Kanalqualität
- Wird bei UMTS verwendet

- 16QAM



- 4 Bit pro Symbol
- Empfindlich, Amplitudenschwankung führt zu Bitfehler

- HSDPA kann flexibel zwischen diesen Verfahren wechseln

→ kombiniert die Vorteile

142



- Adaption sehr dynamisch möglich durch 2-ms-Granularität in HS-DSCH

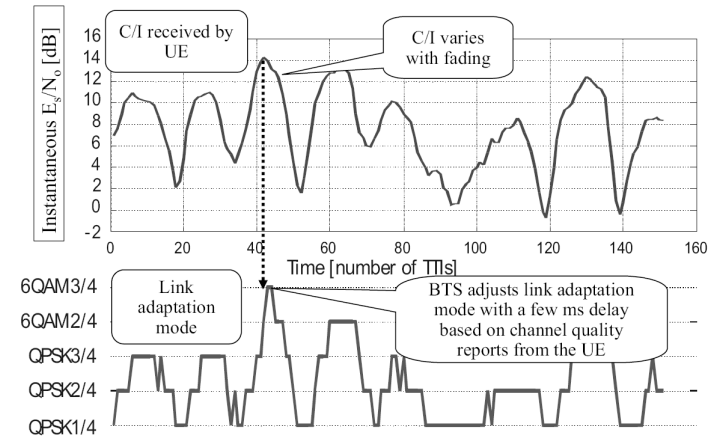


Figure 4.18 Link adaptation.

Quelle: [11.17]

143



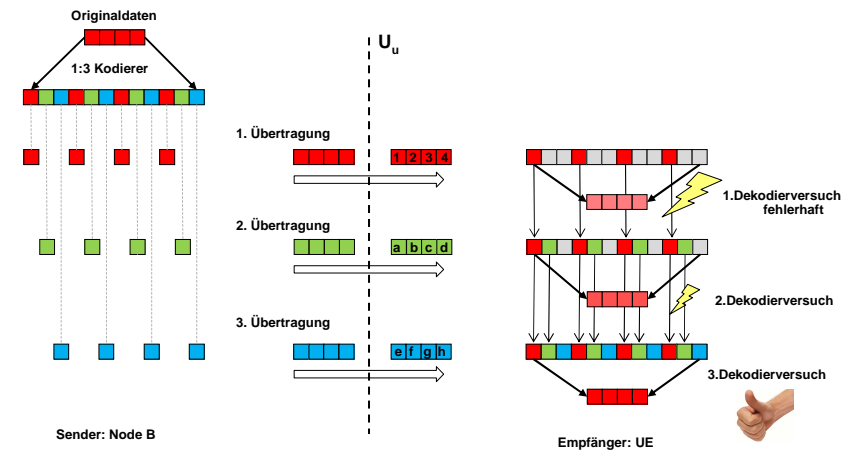
### Forward Error Correction:

- Vermeidung von Paketwiederholungen durch redundante Kodierung
- Redundante Bits erlauben Wiederherstellung von Nutzdatenbits bei Übertragungsfehlern
- Verhältnis von Nutz- und Korrekturdaten wird als Quotient angegeben: Nutzdaten/Korrekturdaten
- Abhängig von Verbindungsqualität kann das Verhältnis von Nutzdaten/Korrekturdaten angepasst werden:
  - ▶ Gute Verbindung -> weniger Redundanz -> mehr Nutzdaten
  - ▶ Schlechte Verbindung -> mehr Redundanz -> weniger Nutzdaten
- 2 Modi
  - ▶ Identische Sendewiederholung
  - ▶ Nicht-Identische Sendewiederholung

144



### Nicht-identische Sendewiederholung, Beispiel



145

- Einfluss von AMC und Kanalzuteilung auf Datenraten:

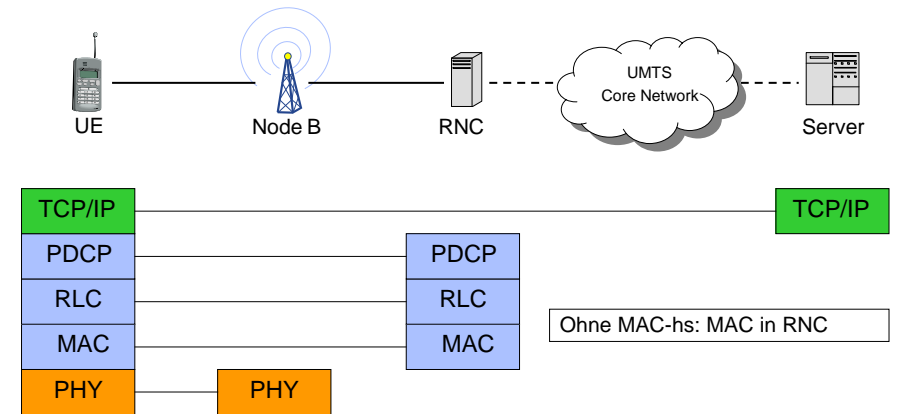
Modulation	FEC-Rate	5 Kanäle	10 Kanäle	15 Kanäle
QPSK	1/4	0,6 MBit/s	1,2 MBit/s	1,8 MBit/s
	2/4	1,2 MBit/s	2,4 MBit/s	3,6 MBit/s
	3/4	1,8 MBit/s	3,6 MBit/s	5,4 MBit/s
16 QAM	2/4	2,4 MBit/s	4,8 MBit/s	7,2 MBit/s
	3/4	3,6 MBit/s	7,2 MBit/s	10,8 MBit/s
	4/4	4,8 MBit/s	9,6 MBit/s	14,4 MBit/s

FEC-Rate n/m: für n Netto-Bits müssen m Brutto-Bits gesendet werden

Anmerkung: Theoretische Werte. Interferenzen und Übertragungsfehler reduzieren die Datenrate

146

- Vereinfachte Übersicht über Protokolle im UTRAN:



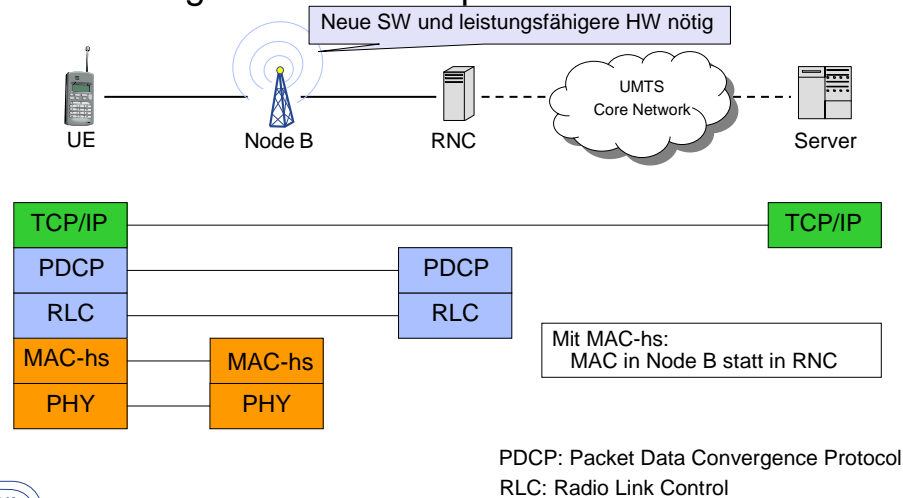
PDCP: Packet Data Convergence Protocol

RLC: Radio Link Control

147



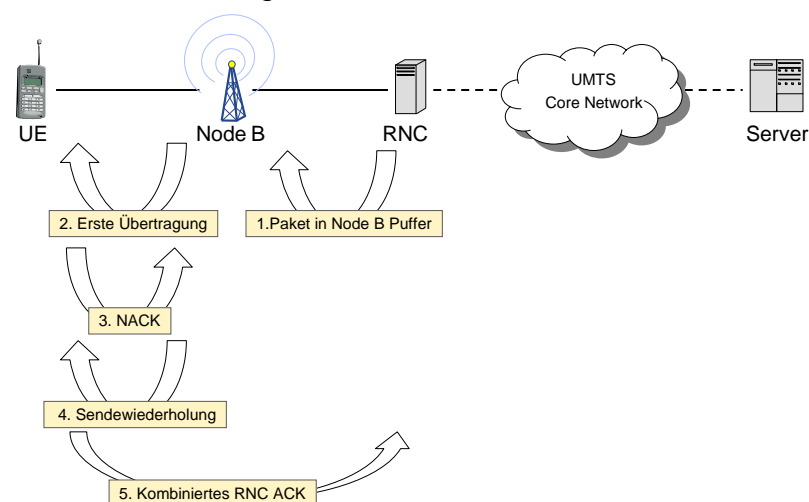
### • Neuerung im Protokollstapel durch MAC-hs:



148



### • Sendewiederholungen im Node B statt im RNC



149





- Entlastung des RNC:
  - Beispielrechnung ohne MAC-hs:  
1 RNC ~ 200 Node B ~ 600 Zellen ~ 3000 Verbindungen  
Für etwaige Wiederholungen müssen die Pakete von 3000 Verbindungen gepuffert werden.
- Kürzere Reaktionszeit bei Sendewiederholung:
  - Ohne MAC-hs langes Transmission Time Interval (TTI) von 10 - 80 ms nötig, damit RNC alles abarbeiten kann
  - Mit MAC-hs kürzere TTI (**Short TTI**, STTI) von 2ms möglich
- Kurzer Regelkreis für Modulation und Kodierung (AMC)
  - Durch STTI kann schnell auf schwankende Kanalqualität reagiert werden

- Wichtige Merkmale von DCH (Release99) und HS-DSCH (HSDPA):

Merkmal	DCH	HS-DSCH
Variabler Spreizfaktor	Ja	Nein
Adaptive Modulation und Kodierung	Nein	Ja
Paketwiederholung auf phys. Schicht	Nein	Ja
Scheduling und Link-Adaption durch Node B	Nein	Ja

- Motivation
  - Nachdem Downlink-Kapazitäten durch HSDPA stark gestiegen waren, sah man auch Notwendigkeit für Verbesserung des Uplinks
- Realisierung
  - Eher als Erweiterung zu sehen
  - Architektur bleibt unangetastet mit Ausnahme
    - ▶ der Endgeräte (UE)
    - ▶ des Node B
- Alle Änderungen erweitern Release 99
  - Bestehende Infrastruktur kann weitergenutzt werden

- Kern: Einführung eines weiteren Kanals:
  - E-DCH (Enhanced Dedicated Channel)
- Erweitert Kommunikation um ähnliche neue Funktionen wie HS-DSCH bei HSDPA
  - Schnellere Bestätigung von Paketen
  - Kanalzuteilung (Scheduling) im Node B
  - Keine adaptive Modulation aber variabler Spreizfaktor
  - Aber keine so flexible Kanalzuteilung wie in HSDPA weil jetzt ein viele-zu-1 Kommunikationsmuster vorliegt
- Aber: HSUPA ist kein geteilter Kanal, sondern dedizierter (jede UE hat eigenen E-DCH zu Node B)

Merkmal	DCH	HSDPA (HS- DSCH)	HSUPA (E-DCH)
Variabler Spreizfaktor	Ja	Nein	Ja
Adaptive Modulation	Nein	Ja	Nein
Soft Handover	Ja	Nein	Ja
TTI-Länge	80, 40, 20, 10	2 ms	10 oder 2 ms

- 3GPP R7, R8: Weiterentwicklung von HSPA, kommerzieller Einsatz ab 2009 (R7) / 2010 (R8)
- **Long-Term Evolution** (LTE, auch E-UTRAN):
  - Machbarkeitsstudie des 3GPP zur Weiterentwicklung des UTRAN
  - Zielvorgaben:
    - ▶ Latenz: unter 5 ms im 5 MHz Spektrum und höher unter 10 ms in Spektren unter 5 MHz
    - ▶ Datenraten: Downlink bis 100 MBit/s  
Uplink bis 50 MBit/s  
Bessere Datenrate für Endnutzer an Zellrand
    - ▶ Kapazität: 2-3 mal soviel wie in Release 6 Szenarien
    - ▶ Nur noch die PS-Domäne wird unterstützt

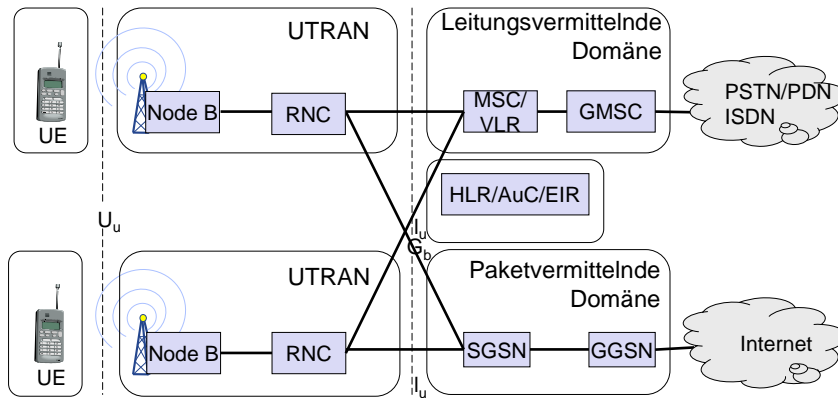


- Neues Funkzugangsnetzwerk: **Evolved-UTRAN (E-UTRAN)**
  - Mediennutzung basiert auf Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
  - Flexible Bandbreite der Trägerfrequenzen (1,4 - 20 MHz)
  - Kein Anschluss mehr an die Leitungsvermittelnde Domäne (CSD) wie bei UTRAN
- Neues Kernnetz: **Evolved Packet Core (EPC)**
  - IP-basiertes Kernnetz, auf das über verschiedene Zugangsnetze zugegriffen werden kann (LTE, 3G, 2G, WLAN, WiMAX, HRPD)
  - Alle Dienste (auch Sprache!) paketbasiert
  - Sprachdienste nutzen IMS (IP Multimedia Subsystem)

- Höhere Spektraleffizienz (mehr Bit / Herz)
- Geringere Betriebskosten
- Neue Verdienstmöglichkeiten durch mehr Bandbreite und geringere Latenz (ermöglicht anspruchsvolle Angebote)
- Ermöglicht Weiterverwendung bisheriger Spektren und Verwendung neuer Frequenzbänder
- Schrittweiser Ausbau bisheriger 3G Netze möglich
- Globale Abdeckung und globales Roaming in Aussicht

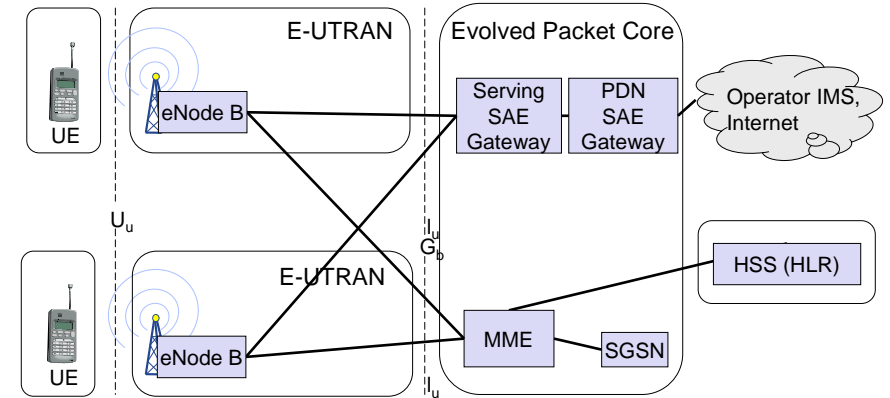


## • UMTS Architektur

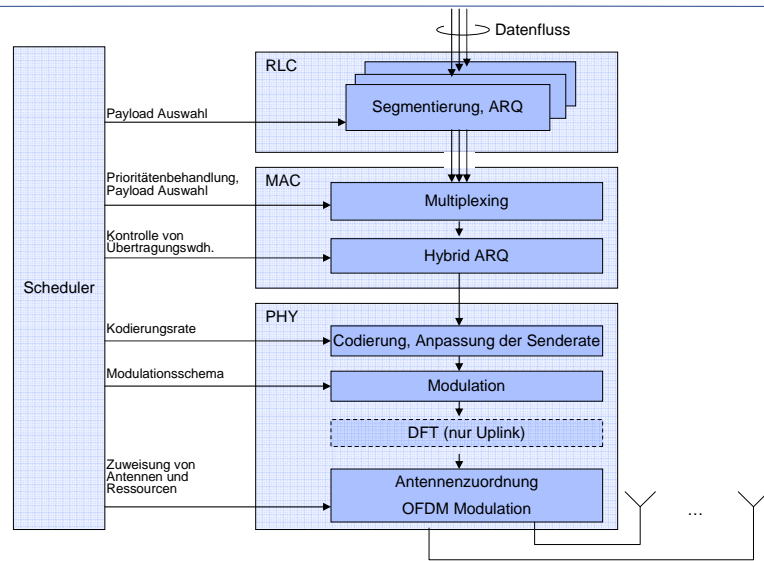


158

## • LTE Architektur



159

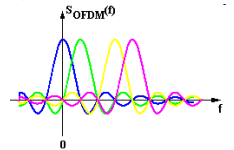


Vereinfachte Darstellung nach [11.19]

160

- Downlink:

- OFDM: Verfahren robust gegen Auswirkungen von Mehrwegeausbreitung
- Ermöglicht einfache, günstige Empfänger
- Details im Grundlagenkapitel Folie 72ff



- Uplink:

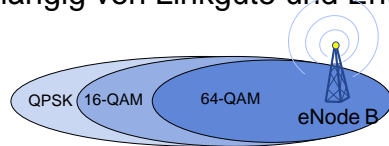
- Single-carrier FDMA (SC-FDMA) ähnlich zu OFDM
  - ▶ erlaubt sehr energie-effiziente Übertragungen (wichtig für Mobilgeräte)
- Energie-effiziente Übertragung erlaubt günstige Mobilgeräte und vergrößert die Fläche, die abgedeckt werden kann

- Einsatz von MIMO-Antennentechnologie

161



- Daten werden codiert und mit einem der Verfahren moduliert (Details siehe
  - QPSK
  - 16-QAM
  - 64-QAM
- Verfahren abhängig von Linkgüte und Entfernung zu eNodeB



- Auf dem Uplink ist ein DFT (Discrete Fourier Transformation) Precoder zwischengeschaltet
- Anschließend erfolgt eine Modulation mit OFDM



162



- Problem: Fading (= Qualität des Funkkanals schwankt je nach Zeit, Ort und Frequenz)
- LTE nutzt dieses Verhalten aus
  - Zu jedem Zeitpunkt sollen die Frequenzen mit der besten Qualität Verwendung finden
  - Einmal pro ms ermittelt Scheduler in der Basisstation für Up- und Downlink wie sich die Kanalqualität verändert hat
  - Dementsprechend werden Frequenzen an die Endgeräte zugeteilt
  - Rückkopplung: Endgeräte melden Kanalqualität an die Basisstation zurück

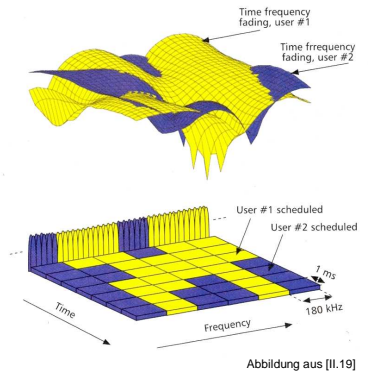
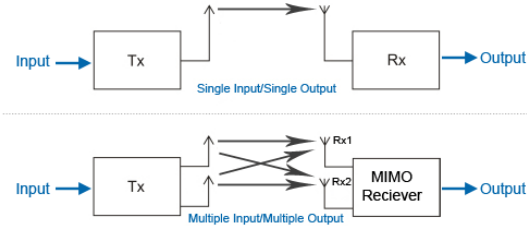


Abbildung aus [11, 19]

163



- MIMO-Antennen (Multiple Input / Multiple Output)
  - Höhere erreichbare Datenraten durch spektrale Effizienz
  - Zeitgleiches Übertragen mehrerer Datenströme auf einer Frequenz
  - Auch genutzt in WiMAX und WLAN

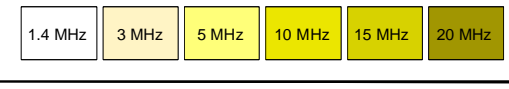


- Verschiedene Konstellationen bei LTE vorgesehen
  - 4x4 MIMO (Komplexeste Variante, LTE Release 8)
  - 2x2 MIMO
  - 2 RX Diversity (Einfachste Variante, zwei Antennen / Empfänger)

164

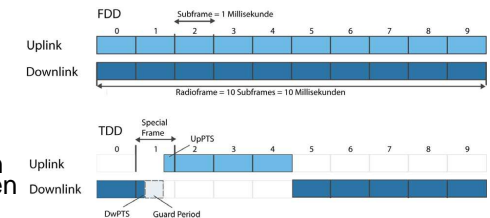


- Flexible Nutzung von Frequenzbereichen durch variable Bandbreite



- Flexibilität im eingesetzten Spektrum
- Durch OFDM Skalierbarkeit der Bandbreite
- Unterschiedliche Nutzung der Spektren möglich
  - TDD oder FDD Verfahren

- FDD LTE:
  - Getrennte Frequenzen für Up- und Downlink
- TDD LTE:
  - Einsatz in einer Frequenz
  - Uplink und Downlink werden zeitweise getrennt übertragen



165



- Derzeit wird um die nutzbaren Frequenzen in Deutschland gesteigert
- Vor allem Gebote um die ehemaligen TV-Frequenzen
  - 791-862 MHz („Digitale Dividende“)
- Versteigerung läuft noch schleppend
  - Knapp 200 Mio geboten (stand 14.Mai 2010)
- Bundesnetzagentur rechnet mit einstelligem Milliardenausgang
- LTE-Feldtests laufen / sind abgeschlossen
  - Erstes kommerzielles System in Oslo nutzbar



166

- Verschiedene Klassen von Endgeräten klassifizierbar
  - Komplexe Techniken oft teuer oder technisch nicht möglich
    - ▶ Beispiel MIMO in Handys

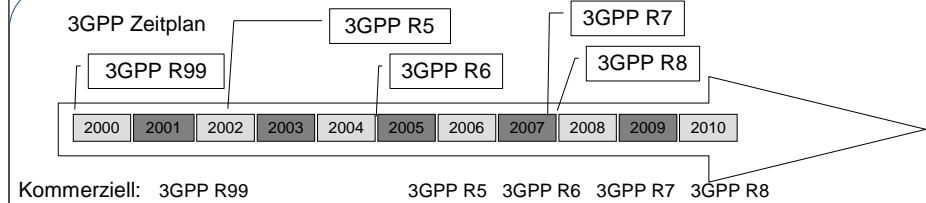
Category		1	2	3	4	5
Peak rate Mbps	DL	10	50	100	150	300
	UL	5	25	50	50	75
Capability for physical functionalities						
RF bandwidth		20MHz				
Modulation	DL	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	UL	QPSK, 16QAM				QPSK, 16QAM, 64QAM
Multi-antenna						
2 Rx diversity		Assumed in performance requirements.				
2x2 MIMO		Not supported	Mandatory			
4x4 MIMO		Not supported				Mandatory

Quelle: <http://www.3gpp.org/article/te>

167

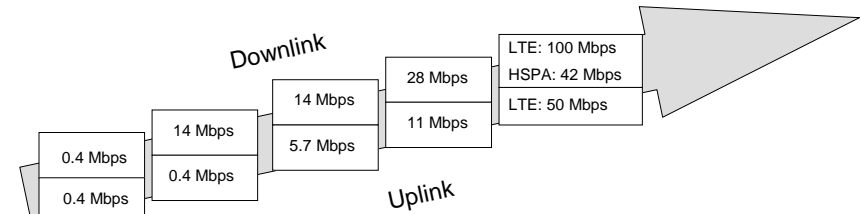
## • Zweistufiges Sendewiederholungskonzept:

- Schnelles Hybrid-ARQ Protokoll
  - ▶ Stop and Wait HARQ
  - ▶ 1-Bit Rückmeldung mit festem zeitlichen Bezug zum gesendeten Datenpaket dient als ACK
  - ▶  $10^{-3} - 10^{-4}$  Wahrscheinlichkeit, dass ACK falsch ankommt
  - ▶ Fängt die meisten Übertragungsfehler ab, geringer Aufwand
- Zuverlässiges ARQ Protokoll in der RLC Schicht
  - ▶ Sliding window ARQ
  - ▶ Muss nur wenige Fehler behandeln, aufwendiger
  - ▶ Wird aktiv, wenn Lücke in der Sequenz der PDUs erkannt wird
- Vorteil des zweistufigen Konzeptes: geringe Latenz, geringer Overhead, trotzdem zuverlässig
- Enge Kopplung der beiden Systeme möglich, da beide in der Basestation terminieren.

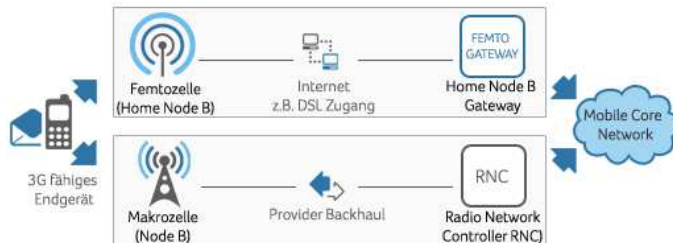


## ▪ Entwicklung der maximalen Datenrate:

3GPP R99 3GPP R5 3GPP R6 3GPP R7 3GPP R8



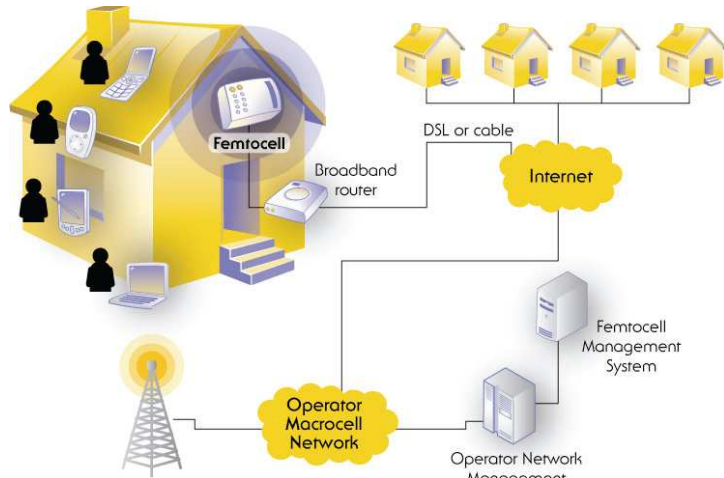
- Femto-Zellen als neues Versorgungskonzept
  - Mobilfunkzellen für „zu Hause“
  - Idee: Erhöhung der Versorgungsdichte
    - bspw. Ländliche Gebiete
- Im privaten Bereich neu, in Unternehmen schon länger etabliert („Picozellen“)



170

- Femto-Zelle als integrierter Bestandteil Teil des WLAN- oder DSL-Routers
- Daten werden aus der Zelle über den lokalen Internetanschluss weitergeleitet
  - Damit gibt Bottleneck (Internet/Zellulär) den erreichbaren Durchsatz vor
- Vorteil gegenüber Makro-Zelle: Exklusiver Zugriff
- Bei Anschluss Authentifizierung beim Provider
  - z.B. via SIM-Karte
- Probleme
  - Geschäftsmodell: Auslagerung von Last zwischen Internet- und Mobilfunkprovider → wie abrechnen?
  - Wie vermeidet man Interferenzen zwischen Femto- und Makrozellen?

171



- II.1 Welche 3 Dienstbereiche umfasst GSM? Nennen Sie Beispiele!
- II.2 Geben Sie einen groben Überblick über die GSM-Systemarchitektur!
- II.3 Welche Funktionen hat das Mobile Switching Center (MSC)?
- II.4 Wie geschieht die Lokalisierung eines Teilnehmers in GSM?
- II.5 Welche Multiplexverfahren finden bei GSM Einsatz?
- II.6 Welche Kennungen werden in GSM für eine Mobilstation verwendet?
- II.7 Welche Multiplexverfahren finden bei UMTS Einsatz?
- II.8 Erläutern Sie die Evolution von GSM zu UMTS!
- II.9 Welche Vermittlungstechniken werden bei GSM und UMTS eingesetzt?
- II.10 Geben Sie einen groben Überblick über die (initiale) UMTS-Systemarchitektur!
- II.11 Was sind die Vorteile von UMTS gegenüber von GSM?
- II.12 Welche Handover-Verfahren gibt es bei UMTS?
- II.13 Was ist Micro-, was Macro-Diversität?
- II.14 Wovon hängt die Zellgröße bei UTRAN ab?
- II.15 Weshalb spielt Leistungsregelung bei UMTS eine so große Rolle?
- II.16 Was sind die wichtigsten Neuerungen von HSPA in technischer Hinsicht?

- [II.1] H. Kaaranen, A. Ahtiainen, et. al., UMTS Networks – Architecture, Mobility and Services, Wiley Verlag, 2001
- [II.2] B. Walke, Mobilfunknetze und ihre Protokolle, 3. Auflage, Teubner Verlag, 2001
  - Viele Details; teilweise als Grundlage zur Folienherstellung herangezogen
- [II.3] J. Eberspächer, et. al., GSM Global System for Mobile Communication, 3. Auflage, Teubner Verlag, 2001
  - Gute und verständliche Darstellung von GSM
- [II.4] Pierre Lescuyer, UMTS – Grundlagen, Architektur und Standard, dpunkt.verlag, 2002
  - Recht detaillierte Darstellung von UMTS
- [II.5] M. Sauer; Mobile Kommunikationssysteme; Vieweg 2004
  - Gut lesbarer Überblick über GSM, GPRS und UMTS
- [II.6] J. Schiller; Mobilkommunikation; Addison-Wesley, 2003
  - Recht kompakte Darstellung von GSM – gut für den Überblick – gut lesbar
- [II.7] [www.gsmworld.com](http://www.gsmworld.com)
- [II.8] [www.nobbi.com](http://www.nobbi.com)

- [II.9] [www.rschlichte.de](http://www.rschlichte.de)
- [II.10] <http://www.extratainment.com>
- [II.11] <http://www.logicacmg.com/pdf/telecom/Mmsguide.pdf>
- [II.12] <http://www.3gpp.org>
- [II.13] <http://umtslink.at/cgi/bin/reframer.cgi?../UMTS/zellatmung.htm>
- [II.14] <http://de.wikipedia.org>
- [II.15] <http://www.bitcom.org>
- [II.16] <http://www.elektronik-kompodium.de>
- [II.17] H. Holma, A. Toskala (Eds.), HSDPA/HSUPA For UMTS – High Speed Radio Access for Mobile Communications, Wiley Verlag, 2006
- [II.18] H. Holma, A. Toskala (Eds.), WCDMA For UMTS – HSPA Evolution and LTE, Wiley Verlag, 4. Auflage 2007
- [II.19] D. Astély et al., LTE the Evolution of Mobile Broadband, IEEE Communications Magazine, April 2009