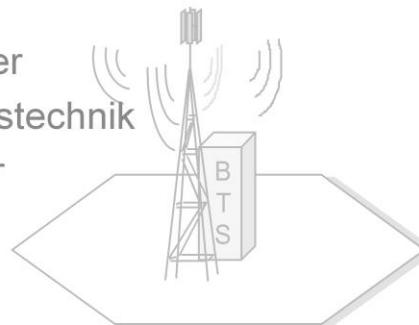


Evolution der öffentlichen Mobilfunknetze (3G/4G)

Chapter VIII: Evolution UMTS /LTE



Universität Hannover
Institut für Kommunikationstechnik
Dr.-Ing. Jan Steuer



Leibniz
Universität
Hannover

Literatur

1. Literatur: GSM (IANT Internet Server)
2. M. Mouly, M.-B. Pautet, *The GSM System for Mobile Communications*
3. J. Eberspächer, H.-J. Vögel, *GSM Global System for Mobile Communication*, Stuttgart:Teubner, 1997
4. B. Walke, M. P. Althoff, P. Seidenberg, *UMTS ein Kurs*, J. Schlembach Fachverlag
5. B. Walke, N. Fliege: „Mobilfunknetze und ihre Protokolle“ Teubner Stgt, ISBN 3- 519-06430-8 (1998)
6. V.K.G. Garg, K.F. Smolik, J.E. Wilkes, „Applications of CDMA in Wireless/Personal Communications“, Feher / Prentice Hall digital and wireless communications series (1997) ISBN 0-13-572157-1
7. A.J. Viterbi: „CDMA: Principles of Spread Spectrum for third Generation Mobile Communication“ (1995), ISBN 0-201-63374-4
8. T. Ojanperä, R. Prasad: „ Wideband CDMA for third Generation Mobile Communication“, (1998) ISBN 0-89006-735-X
9. H. Holma, A. Toskala, “WCDMA for UMTS”, John Wiley & Sons, Ltd. (2000); ISBN 0-471-72051-8
10. G. Calhoun, „Third Generation Wireless Communications: Post Shannon Architectures“, Artech House Publishers (03/2001) ISBN 1-58053-043-5
11. M. Sauter, *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme*, 4 Auflage, Vieweg+Teubner, ISBN 978-3-8348-1407-4

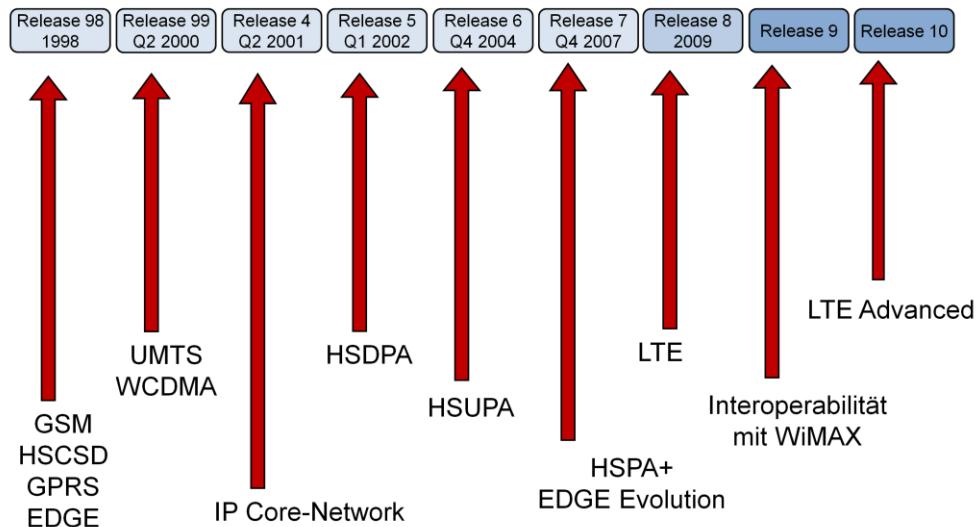


1. Introduction/Overview GSM/UMTS
2. Basics: Radio Transmission
3. Basics: Radio Network Planning
4. Physical Layer
5. Radio Interface Protocols
6. Architecture / Core Network
7. Security
- 8. UMTS Evolution / LTE**
9. Supplementary Services

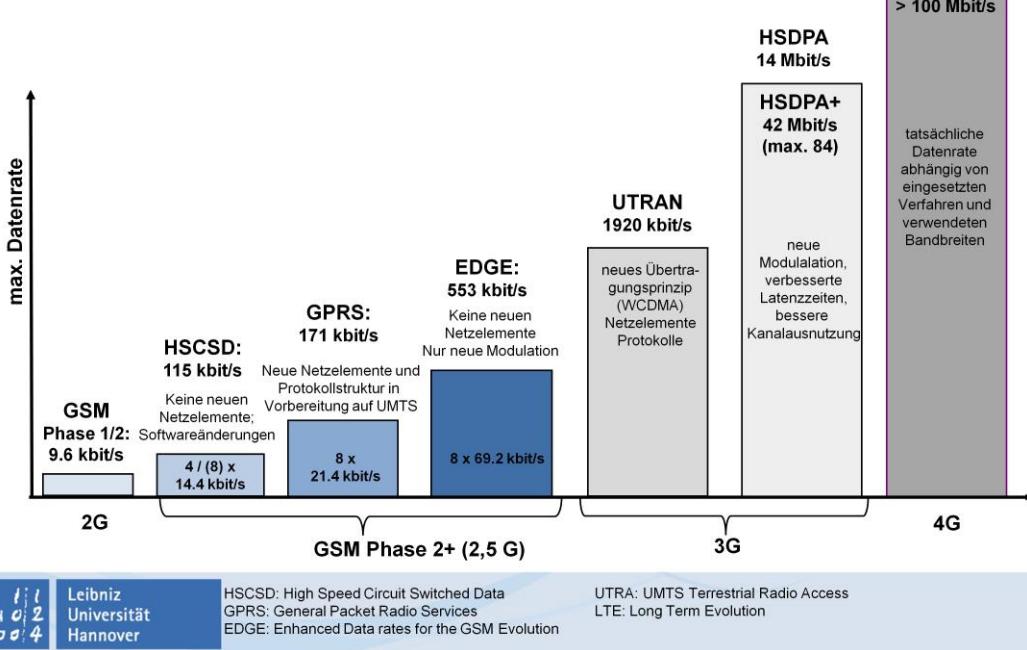
1 | 1
1 | 0 | 2
1 | 0 | 0 | 4

Leibniz
Universität
Hannover

3rd Generation Partnership Projekt (3GPP)



Evolution statt Revolution



Agenda



- EDGE+

- HSPA+

- LTE

Evolved EDGE



Release 98
1998

Release 99
Q2 2000

Release 4
Q2 2001

Release 5
Q1 2002

Release 6
Q4 2004

Release 7
Q4 2007

Release 8
2009

Release 9

Release 10



Leibniz
Universität
Hannover



EDGE

(Enhanced Data Rate for GSM Evolution)

- Verwendung eines höherwertigen Modulationsverfahrens
 - bisher: GMSK, 2-wertig, 1 Bit / Symbol
 - bei EDGE: 8-PSK, 8-wertig, 3 Bit / Symbol
 - also Erhöhung des Datendurchsatzes um Faktor 3
- Dienst war in Deutschland lange nicht verfügbar
 - Einführung seit 2002 in Italien, Österreich, Schweiz, Frankreich, Tschechien, der Slowakei, Polen, Litauen, Kroatien und der Türkei
 - Einführung in Deutschland durch T-Mobile im Frühjahr 2006



Modulations- & Coding Schema	Modulations-verfahren	Kodierungs-verhältnis	Datenrate pro Zeitschlitz
MCS-1	GMSK	0,53	8,8kbit/s
MCS-2	GMSK	0,66	11,2kbit/s
MCS-3	GMSK	0,80	14,8kbit/s
MCS-4	GMSK	1,00	17,6kbit/s
MCS-5	8-PSK	0,37	22,4kbit/s
MCS-6	8-PSK	0,49	29,6kbit/s
MCS-7	8-PSK	0,76	44,8kbit/s
MCS-8	8-PSK	0,92	54,4kbit/s
MCS-9	8-PSK	1,00	59,2kbit/s



- Peak-Datenraten von bis zu 1 MBit/s
- Verwendung von 32QAM und 16QAM statt 8-PSK
- Verwendung von zwei Trägerfrequenzen
- Verringerung der Latenzzeiten auf etwa die Hälfte, also etwa 350 ms

Evolved EDGE



Release 98
1998

Release 99
Q2 2000

Release 4
Q2 2001

Release 5
Q1 2002

Release 6
Q4 2004

Release 7
Q4 2007

Release 8
2009

Release 9

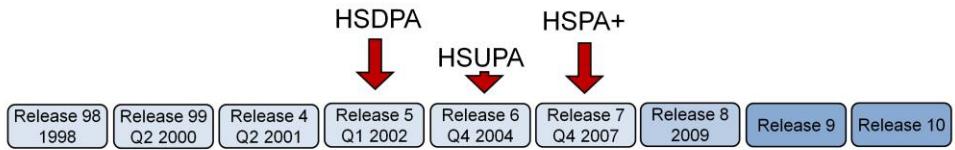
Release 10



Leibniz
Universität
Hannover



- EDGE
- HSPA+
- LTE



High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)



- Erster Schritt bei der Einführung von HSPA
- 3GPP Release 5
- Erweiterung des UMTS Standards
- Erhöhung der Datenrate im Downlink
 - Theoretisch von 2 auf 4 Mbit/s
 - In der Praxis wurden maximale Datenraten von etwa 3,8 Mbit/s und Durchschnittswerte von etwa 900 kbit/s erreicht.
- Im UTRAN Netz werden Paketdatendienste zumeist über einen fest zugewiesenen Kanal (DDCH) übertragen, die Zelle wird also nicht optimal ausgenutzt. Das Kanalzuweisungsverfahren von HSDPA wurde verbessert, Daten können häufiger über den „Shared“ Kanal (DSCH) übertragen werden, die zur Verfügung stehenden Kanäle werden also effektiver ausgenutzt.





- Der Mobilfunkkanal unterliegt starken Qualitätsschwankungen, diese muss das System ausgleichen, indem es das Übertragungsverfahren an die aktuellen Bedingungen anpasst.
- Bei schlechterer Verbindungsqualität steht weniger Datenrate zur Verfügung.
- Die Latenzzeit ist der Zeitraum, den das System benötigt, um auf Verbesserung der Kanaleigenschaften zu reagieren und die Datenrate anzupassen (hoch zu regeln).
- Erzielte Verbesserung:
 - Die Latenzzeit bei GPRS liegt bei etwa 700 ms
 - Die Latenzzeit bei UTRAN liegt bei etwa 300 ms
 - Die Latenzzeit bei HSDPA liegt bei etwa 100 ms
- Die maximal mögliche Übertragungsgeschwindigkeit wird also deutlich häufiger genutzt.





- Einführung weiterer Modulationsverfahren
 - QPSK und 16QAM im Downlink (HSDPA)
 - BPSK und QPSK im Uplink (HSUPA)
- Erhöhung der Datenrate auf theoretisch 14,4 MBit/s
 - Wechsel des Modulationsverfahrens von 4PSK auf 16QAM und Einbringen verschieden robuster Kanalkodierungsverfahren
 - In der Praxis werden seit 2006 Datenraten von 1,8 MBit/s und seit Mitte 2007 Datenraten von bis zu 7,2 MBit/s erreicht.



- Einführung weiterer Modulationsverfahren
 - 64QAM im Downlink
Erhöhung von 14 auf 21 MBit/s (peak)
 - 16QAM im Uplink
Erhöhung von 5,7 auf 11 MBit/s
- Einführung von MIMO
 - Nutzung von 2 parallelen Streams im Downlink mit QPSK oder 16QAM
 - Downlink peak Datenrate von 28 MBit/s





- Downlink
 - 2 Stream MIMO mit 64QAM
 - maximale peak Datenrate von 42 MBit/s
 - 10 MHz Bänder (Bündlung)
- Uplink 11,5 Mbit/s
- Bandbündelung
- Optimierung der Leistungsaufnahme (Packet Connectivity (CPC) = schneller Wechsel zwischen Ruhezuständen und Datenübertragung
- Größere Zellradien bis 180 km



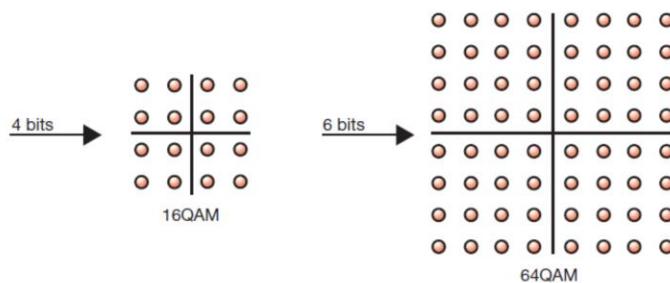
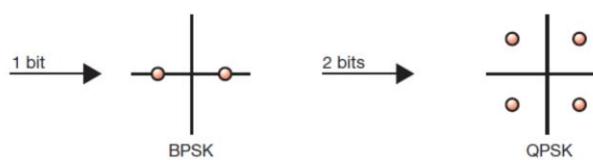


- Bandbündelung auch im Uplink
- Erweiterung auf
 - 84 Mbit/s Downlink (Dual Cell = Zwei Frequenzbänder + MIMO)
 - 20 Mbit/s Uplink
- Neuer Ciphering Algorithmus A5/4 (128 Bit Key-Länge)



Leibniz
Universität
Hannover

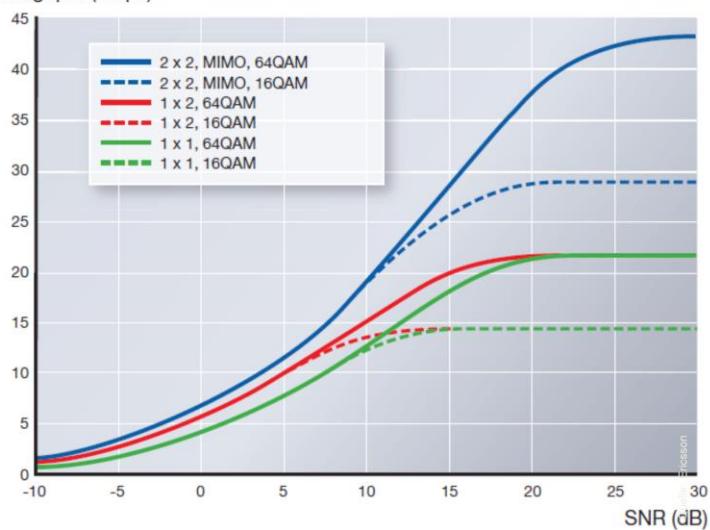
HSPA Modulationsverfahren



HSPA Datendurchsatz



Throughput (Mbps)



Agenda



- EDGE+



- HSPA+

- LTE

LTE

Release 98
1998

Release 99
Q2 2000

Release 4
Q2 2001

Release 5
Q1 2002

Release 6
Q4 2004

Release 7
Q4 2007

Release 8
2009

Release 9

Release 10



Leibniz
Universität
Hannover

Agenda



- Einleitung und Überblick
- Netzwerkarchitektur und Schnittstellen
- LTE-Luftschnittstelle und das Radionetzwerk
- Scheduling
- Grundsätzliche Prozeduren
- Zusammenspiel mit UMTS/ HSPA und GSM
- Self-Organizing Networks
- Frequenzspektrum
- Marktübersicht
- Hardware
- Versorgungsabdeckung



- HSPA als leistungsstarke Weiterentwicklung von UMTS
- Anforderungen der Applikationen bzgl. Datenrate und Echtzeitfähigkeit
- Mobilfunksysteme der 3. Generation gelangen wie GPRS/ EDGE ein Jahrzehnt früher an ihre Grenzen
- Entscheidung des 3G Partnership Project (3GPP) zur Neuentwicklung des Radionetzwerks sowie des Kernnetzwerks
- 4. Generation: Long Term Evolution (LTE)

Technologiedarstellung 4G: Long Term Evolution (LTE)



- LTE – Long Term Evolution
 - Mobilfunkstandard der (fast) 4. Generation (4G)
 - 1. weltweiter Mobilfunkstandard
 - Gemeinsame Standardisierung durch Systemhersteller UND Netzbetreiber
- Eigenschaften der 4. Generation:
 - 100 Mbit/s Datenrate im Download
 - 50 Mbit/s Datenrate im Upload
 - Latenzen von ≈ 10 ms
 - Bis zu 1 Gbit/s, wenn sich der Nutzer an einem fixen Standort zur nächsten Station befindet
 - Kompatibilität zu bereits vorhandenen Netzwerken (HSPA, UMTS, WiMAX, GSM, etc.)



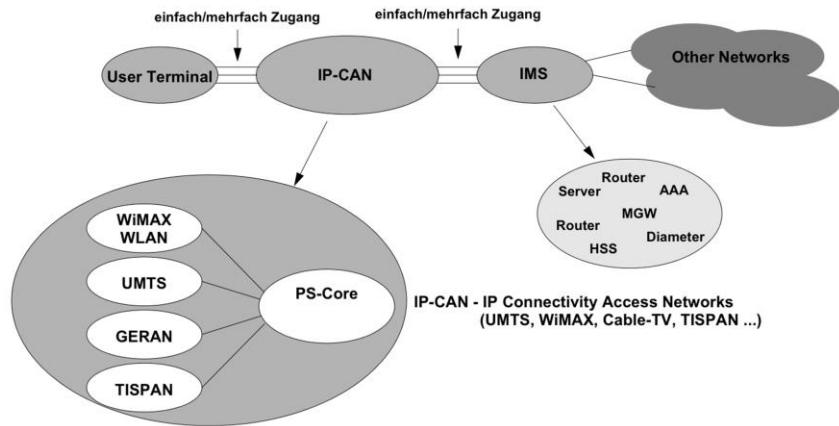
Technologiedarstellung 4G: Long Term Evolution (LTE)



- Eigenschaften der 4. Generation:
 - 20 MHz Frequenzbandbreite
 - Qualitativ hochwertige Dienstleistungen wie Echtzeit-Audio, Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung, HDTV-Videoinhalte, mobiles Fernsehen, etc.
 - Höhere Spektrumseffizienz (geringere Kosten pro Datenvolumen)



Einordnung mobiler Zugangsnetze in das IP Multimedia Subsystem (IMS)



LTE - Leistungsparameter



	HSPA	HSPA+	WiMAX	LTE
Datenrate (DL/UL)	14 / 5 Mbit/s	42 / 11 Mbit/s	80 / 16 Mbit/s	160 / 50 Mbit/s 50 / 10 Mbit/s
Verzögerung (Pingzeit)	50 ms	30 ms	30 ms	10 ms
Zellradius (Indoor/ Outdoor)	2,8 / 7,4 km	2,8 / 7,4 km	1 / 2 km	2,8 / 7,4 km 5 / 10 km





- Nutzung des Frequenzbereichs von 790 MHz bis 862 MHz
- Mobile Breitbandanwendungen
- (LTE 800): Vodafone, Telefonica O2, T-Mobile Erste Installation bereits in 2010
- Ausbauverpflichtung im „Ländlichen Raum“
 - Zieldatum: 2016
 - 3 Ausbaustufen
- Breitbandstrategie der Bundesregierung (2010 und 2014)





Maßgebliche Änderungen LTE gegenüber 3G-Systemen:

- Übertragungsverfahren:
Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
- Antennentechnik: *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*
- Übertragungsprotokoll: *Internet Protocol (IP)*
- Multimode-Endgeräte





Übertragungsverfahren:

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

- Ziel: Reduzierung des sogenannten „Multipath Fadings“ und Erhöhung der Datenrate
- Anstatt nur ein Signal über einen sehr breiten Übertragungskanal zu senden, verteilt OFDM einen schnellen Datenstrom auf viele langsamere Datenströme, die dann gleichzeitig übertragen werden.
- Die Datenratenerhöhung erfolgt durch eine lineare Erhöhung der Anzahl der langsameren Datenströme. Für möglichst viel Flexibilität sind für LTE Bandbreiten von 1.25 MHz bis 20 MHz definiert worden.
- Bei Verwendung von Kanalbandbreiten > 5 MHz führt dies zu einer Erhöhung der Datenrate. Bei Verwendung von 20 MHz Bandbreiten können unter idealen Bedingungen Datenraten von bis zu 100 Mbit/s (150 Mbit/s 2x2MIMO) erreicht werden.

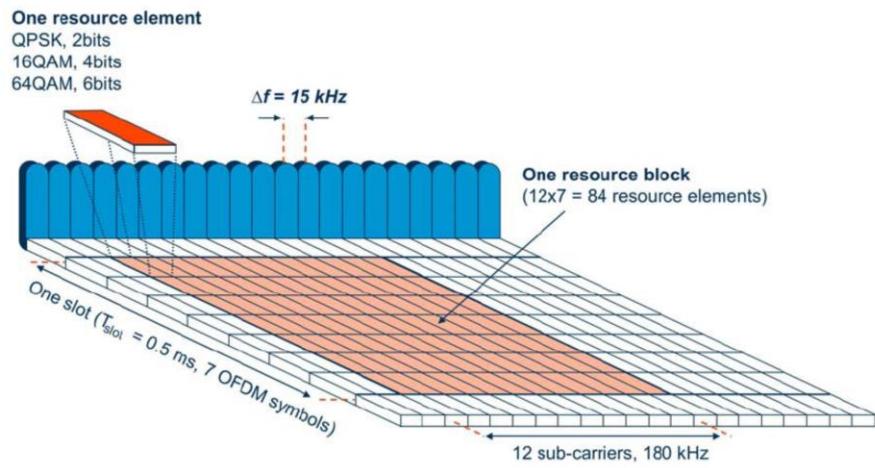


Leibniz
Universität
Hannover



- Trägerfrequenz wird in 15 kHz breite Subcarrier unterteilt (OFDM)
- 12 Subcarrier bilden einen Ressource Block mit einer Breite von 180 kHz
- 6 Ressource Blöcke passen in einen 1,4 MHz Träger

LTE Modulationsschema

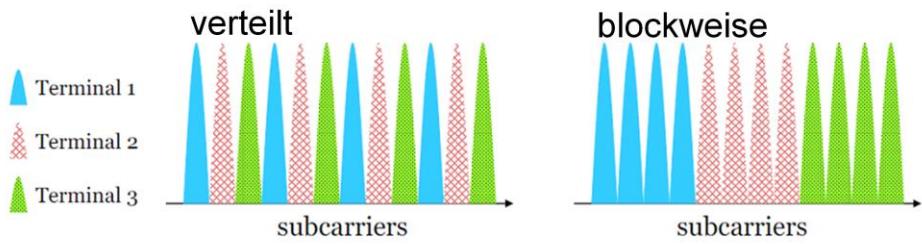


Quelle: Ericsson

LTE Modulationsschema



- Die Subcarrier können den einzelnen Nutzern/ Verbindungen unterschiedlich zugewiesen werden



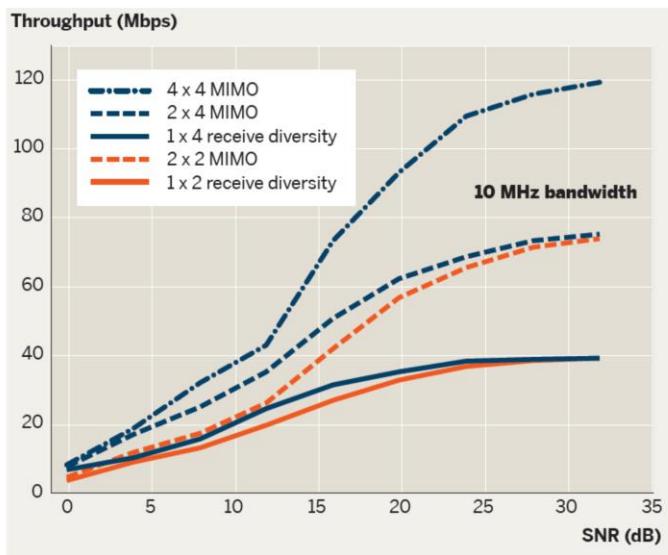
LTE Downlink Parameter



Transmission BW	1.25 MHz	2.5 MHz	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Sub-frame duration	0.5 ms					
Sub-carrier spacing	15 kHz					
Sampling frequency	1.92 MHz ($1/2 \times 3.84$ MHz)	3.84 MHz	7.68 MHz (2×3.84 MHz)	15.36 MHz (4×3.84 MHz)	23.04 MHz (6×3.84 MHz)	30.72 MHz (8×3.84 MHz)
FFT size	128	256	512	1024	1536	2048
Number of occupied sub-carriers†, ††	76	151	301	601	901	1201
Number of OFDM symbols per sub frame (Short/Long CP)	7/6					
CP length (μs/samples)	Short	(4.69/9) × 6, (5.21/10) × 1*	(4.69/18) × 6, (5.21/20) × 1	(4.69/36) × 6, (5.21/40) × 1	(4.69/72) × 6, (5.21/80) × 1	(4.69/108) × 6, (5.21/120) × 1
	Long	(16.67/32)	(16.67/64)	(16.67/128)	(16.67/256)	(16.67/384)
						(16.67/512)



LTE - theoretischer Datendurchsatz





Antennentechnik: Multiple Input Multiple Output (MIMO)

- Durch den Einsatz der MIMO-Antennentechnik können gleichzeitig mehrere unterschiedliche Datenströme über einen gemeinsamen Kanal übertragen werden

Übertragungsprotokoll: Internet Protocol (IP) (1)

- UMTS/ HSPA nutzen ein leitungsvermitteltes Kernnetz für Sprache, SMS und andere Dienste.
- LTE verwendet das paketvermittelte Internet Protocol (IP). Einzige Ausnahme bildet der SMS-Dienst.
- Die Implementierung von IP führt zu einer architektonischen Vereinfachung von Radio- und Kernnetz.
- Herausforderungen entstehen im Handover zu leitungsvermittelten GSM-Netzen.





Übertragungsprotokoll: Internet Protocol (IP) (2)

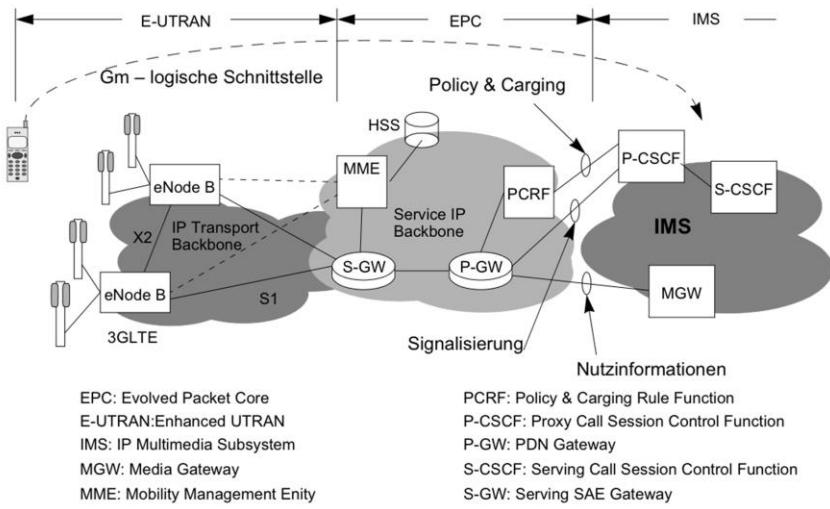
- Homogenisierung der Schnittstellen
- Reduzierung der Netzwerkkomponenten
- Reduzierung der Round Trip Time auf 25 - 30 Millisekunden
- Die Zeit, die ein Gerät zur Verbindungsaufnahme benötigt, wurde auf wenige 100 Millisekunden reduziert.

Multimode-Endgeräte

- Während der Migrationsphase ist ein langer Parallelbetrieb von GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA und LTE zu erwarten.
- Universeller Einsatz der Netze soll durch die Endgeräte unterstützt werden.

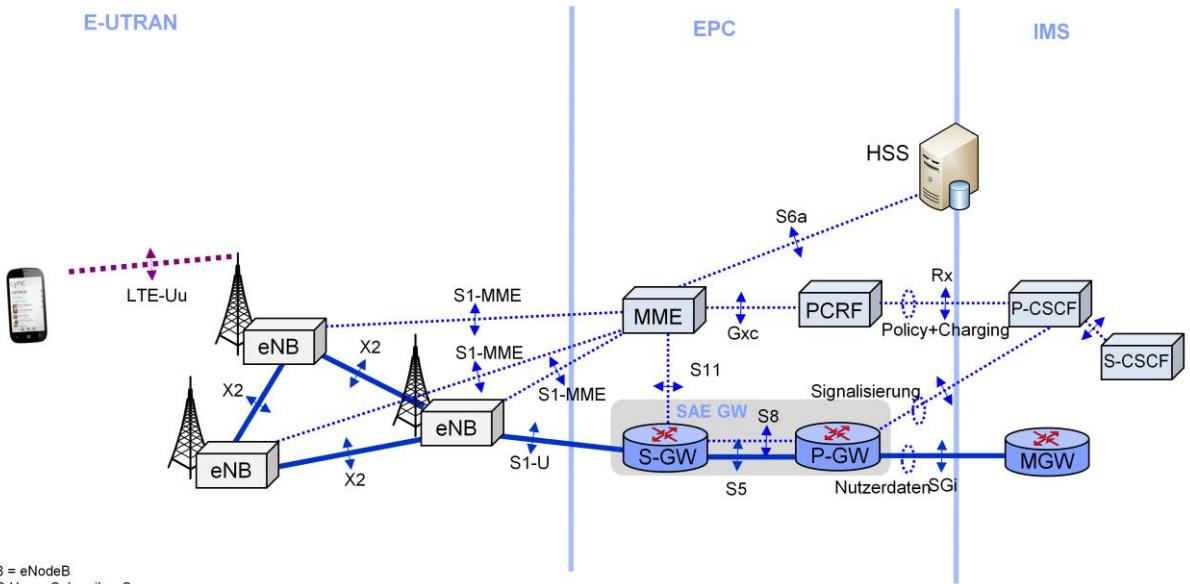


LTE - Netzarchitektur



Wichtig: All-IP und Call Control im IMS

LTE und EPC Systemübersicht



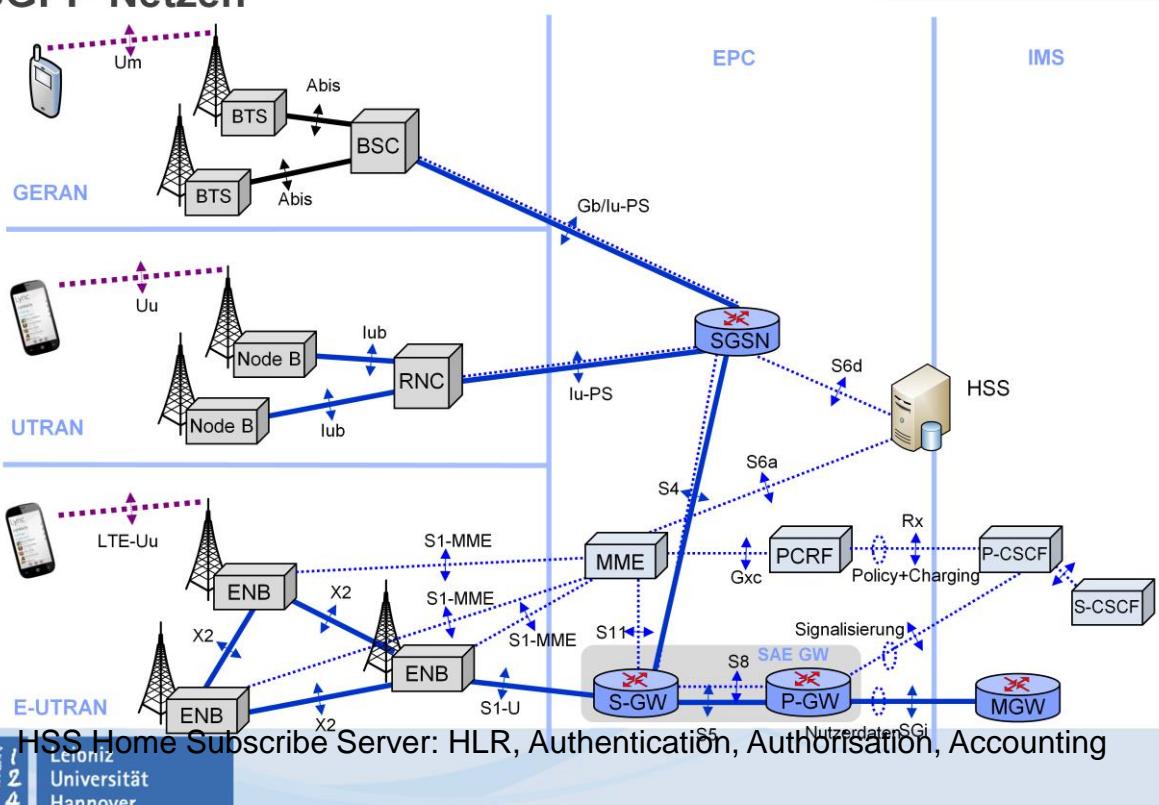
eNB = eNodeB
 HSS Home Subscriber Server
 MME = Mobility Management Entity
 PCRF = Policy and Charging Rule Function

S-GW Serving Gateway

HSS Home Subscribe Server: HLR, Authentication, Authorisation, Accounting



Systemarchitektur mit verschiedenen 3GPP-Netzen



HSS Home Subscribe Server: HLR, Authentication, Authorisation, Accounting



Zusammenfassung

Netzarchitektur ist sehr ähnlich zu 2G- und 3G-Systemen:

- Funknetzwerk
- Kernnetzwerk

Reduzierung der logischen Komponenten gegenüber 3G mit dem Ziel der

- Kostenreduktion
- Effizienzsteigerung (z.B. Erhöhung Datendurchsatz)
- Latenzreduktion (Reduzierung von Verzögerungszeiten)



Auktionsergebnis Frequenzversteigerung LTE

Institut für
Kommunikations-
Technik



20. Mai 2010

Ende der Auktion

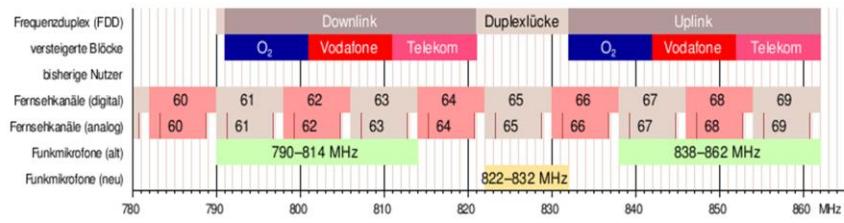
Frequenzbereich	Block	Ausstattung	Höchst- bieter	Höchstgebot (€ in Tsd)	Frequenzbereich	Block	Ausstattung	Höchst- bieter	Höchstgebot (€ in Tsd)
0,8 GHz (gepaart)	0,8 GHz A	2x5 MHz konkret	To2 GER	616.595	2,6 GHz (gepaart)	2,6 GHz A	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	19.096
	0,8 GHz B	2x5 MHz abstrakt	To2 GER	595.760		2,6 GHz B	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	19.025
	0,8 GHz C	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	570.848		2,6 GHz C	2x5 MHz abstrakt	To2 GER	17.364
	0,8 GHz D	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	582.949		2,6 GHz D	2x5 MHz abstrakt	To2 GER	17.364
	0,8 GHz E	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	583.005		2,6 GHz E	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	18.948
	0,8 GHz F	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	627.317		2,6 GHz F	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	19.025
1,8 GHz (gepaart)	1,8 GHz A	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	20.700		2,6 GHz G	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	19.069
	1,8 GHz B	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	20.700		2,6 GHz H	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	19.038
	1,8 GHz C	2x5 MHz abstrakt	Telekom D	19.869		2,6 GHz I	2x5 MHz abstrakt	To2 GER	18.948
	1,8 GHz D	2x5 MHz konkret	E-Plus Grp	21.556		2,6 GHz J	2x5 MHz abstrakt	E-Plus Grp	18.931
	1,8 GHz E	2x5 MHz konkret	E-Plus Grp	21.536		2,6 GHz K	2x5 MHz abstrakt	E-Plus Grp	17.739
	1,8 GHz F	2x5 MHz konkret	E-Plus Grp	21.536		2,6 GHz L	2x5 MHz abstrakt	To2 GER	17.739
2,0 GHz (gepaart)	2,0 GHz A	2x4,95 MHz konkret	Vodafone	93.757		2,6 GHz M	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	17.739
	2,0 GHz B	2x4,95 MHz konkret	E-Plus Grp	103.223		2,6 GHz N	2x5 MHz abstrakt	Vodafone	17.739
	2,0 GHz C	2x4,95 MHz konkret	E-Plus Grp	84.064					
	2,0 GHz D	2x4,95 MHz konkret	To2 GER	69.931					
	2,0 GHz E	1x5 MHz konkret	To2 GER	5.731					
	2,0 GHz F	1x4,2 MHz konkret	To2 GER	5.715					
Ausgeschiedene Bieter:									
									Summe aller gehaltene Höchstgebote (€ in Tsd)
									4.384.646
									Zahlungsverpflichtung aufgrund zurück- genommener Höchstgebote (€ in Tsd)
									0
									Summe
									4.384.646

Quelle: <http://www.zfse.de>



Leibniz
Universität
Hannover

Frequenzspektrum (Deutschland)





- BNetzA fordert die Anbindung von 90 % aller derzeit mit Breitbanddiensten unversorgten Orte in Deutschland bis 2016 (nicht nur über LTE)

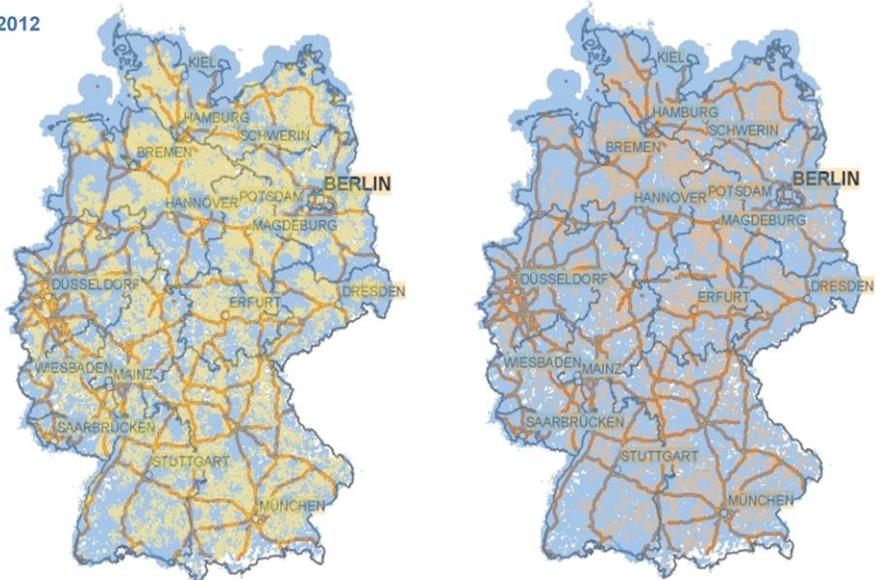


Leibniz
Universität
Hannover

LTE Flächenversorgung in Deutschland



Mai 2012



Quelle: Vodafone



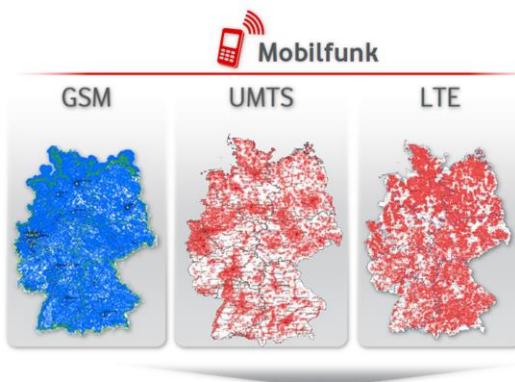
Leibniz
Universität
Hannover

LTE Outdoor-Versorgung in hellgrün

LTE Indoor-Versorgung in hellrot

090305_FOL_Vorlage_Entwurf_5.pot

LTE Flächenversorgung in Deutschland



Beispiel Vodafone
Q4 2013

Sprache Faktor 4 in 10
Jahren -> Sättigung
Daten Faktor 4 in 4
Jahren

- 23.000 Basisstationen, davon über 6700 LTE Stationen
- 99,9% GSM Bevölkerungsabdeckung
- 91% UMTS Bevölkerungsabdeckung
- 65% LTE Bevölkerungsabdeckung, alle Städte >100.000 Einwohner

Quelle: Vodafone



LTE– 3GPP RELEASE 8 FF

1 | 1
1 | 0 | 2
1 | 0 | 0 | 4

Leibniz
Universität
Hannover



Zusammenfassung I

- Datenraten bis 326,4 MBit/s
 - 326,4 MBit/s mit MIMO 4x4 und 20 MHz Kanalbandbreite
 - 172,8 MBit/s mit MIMO 2x2 und 20 MHz Kanalbandbreite
- Latenzzeiten unter 5 ms für kleine IP-Pakete
- Arbeitsfähig in verschiedenen Frequenzbereichen
- Bandbreiten von 1,25 bis 20 MHz
- OFDM mit 15 kHz Sub-Carriern
- MIMO
- FDD und TDD für gepaarte und ungepaarte Frequenzbänder
- E-UTRAN Air Interface (Evolved UTRAN)
- LTE wird in der 3GPP Release 8 aufgenommen





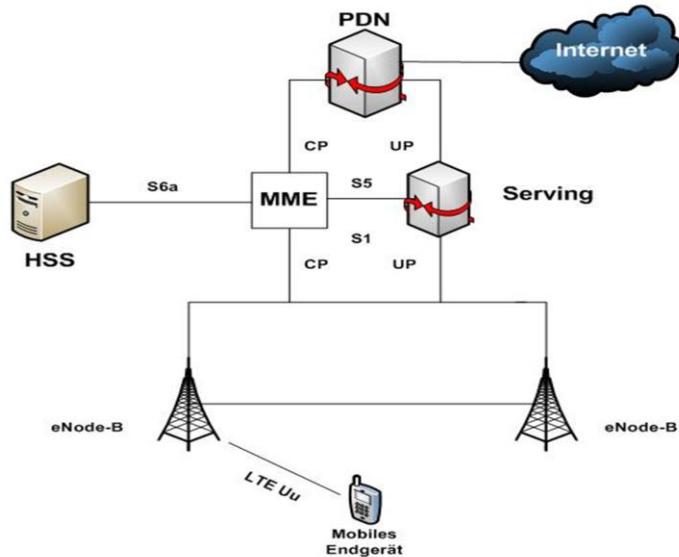
LTE-Endgeräte und die LTE Uu-Schnittstelle

- ENodeB und die S1- und die X2-Schnittstellen
- Mobility Management Entity (MME)
- Serving-Gateway
- PDN-Gateway
- HSS

1 | 1
1 | 0 | 2
1 | 0 | 2 | 4

Leibniz
Universität
Hannover

Netzwerkarchitektur und Schnittstellen





- LTE-Endgeräte werden als User Equipment (UE) bezeichnet und nach 3GPP - Release 8 in 5 Kategorien aufgeteilt (s. nächste Folien).
- LTE-Endgeräte unterstützen 64-QAM (Quadratur Amplituden Modulation) in Downlink-Richtung und 16-QAM in Uplink-Richtung (Kat. 5 sogar 64-QAM).
- LTE-Endgeräte unterstützen Mehrantennentechnik in Downlink-Richtung.
- Bis auf Geräte der einfachsten Kategorie unterstützen die Endgeräte MIMO-Übertragungen (aktuell meist 2x2 MIMO, zukünftig 4x4 MIMO).
- Komplexität des Antennendesigns steigt, da zusätzlich auch 2G und 3G-Endgeräte unterstützt werden.
- LTE ist in vielen Frequenzbändern spezifiziert (s. nächste Folien).



LTE-Endgeräte-Kategorien



Kategorie	1	2	3	4	5
Max. Downlink-Geschwindigkeit (20 MHz)	10	50	100	150	300
Max. Uplink-Geschwindigkeit	5	25	50	50	75
Anzahl der Empfangsantennen	2	2	2	2	4
Anzahl der MIMO Downlink Streams	1	2	2	2	4
64-QAM Support im Uplink	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja



LTE-Bänder in Europa



Band	Downlink (MHz)	Uplink (MHz)	UL / DL Duplex Abstand
7	2620 - 2690	2500 - 2570	50 MHz
3	1805 - 1880	1710 - 1785	20 MHz
1	2110 - 2170	1920 - 1980	130 MHz
20	791 - 821	832 - 862	10 MHz



ENodeB und S1-/ X2-Schnittstellen



Die LTE-Basisstation wird als „evolved“ NodeB bezeichnet (eNodeB).

Die eNodeB setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Antennen (sichtbarste Teil eines Mobilfunknetzwerks)
- Radiomodul, welches die Modulation/ Demodulation sowie die Signalverstärkung abbildet
- Digitalmodul, welches die eigentliche Signalverarbeitung und die Schnittstelle zum Kernnetzwerk darstellt



Im Gegensatz zu 2G und 3G bildet bei LTE die Basisstation eine vollständig autonome Einheit.

Die meisten Funktionen, die in bisherigen Systemen im Radio Network Controller (RNC) angesiedelt waren, sind jetzt in der eNodeB abgebildet:

- User Management
- Ressourcenverteilung
- Quality of Service-Management
- Mobilitätsmanagement
- Interferenzmanagement



Die eNodeB übernimmt die Handover-Steuerung, völlig unabhängig von anderen Netzwerkkomponenten.

Die Luftschnittstelle wird bei LTE als Uu-Interface bezeichnet und bildet die einzige drahtlose Schnittstelle im Netzwerk.

Die Schnittstelle zwischen eNodeB und Kernnetz wird als S1-Interface bezeichnet. Dieser sog. Backhaul kann optisch, via Kupferader oder durch eine Richtfunkanbindung abgebildet werden.

S1-Interface hat zwei logische Hälften:

- S1 Control Plane
- S1 User Plane

S1 User Plane

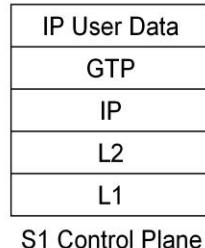


Nutzerdaten werden über die **S1 User Plane** übertragen

IP-Datenpakete eines Endgeräts werden nutzerspezifisch getunnelt

- hierzu verwendet man das GPRS Tunneling Protocol (GTP)

Protokolle der Schichten 1 und 2 (L1 und L2) sind nicht weiter spezifiziert



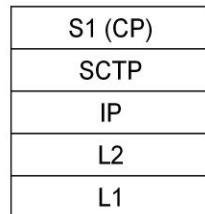
S1 Control Plane

S1 Control Plane



Übertragung von benutzerspezifischen Signalisierungsinformationen und Kommunikation mit dem Kernnetz

Grundlage ist das Internet Protocol (IP) unter Verwendung des **Stream Control Transmission Protocol** (SCTP)



S1 Control Plane

Die X2-Schnittstelle



Die leistungsstarke eNodeB macht den Radio Network Controller (RNC) überflüssig.

Diese fehlende Kontrollinstanz wird dadurch kompensiert, dass die Basisstationen untereinander direkt kommunizieren können.

Diese Aufgabe übernimmt die X2-Schnittstelle.

Im Detail sind dies folgende Aufgaben:

- direkte Handover-Steuerung
- Automatic Neighbour Relation (ANR)
- Interferenz-Minimierung mit Nachbarzellen

ANR Automatic Neighboor Relation können vorkonfiguriert oder automatisch vom Netz ermittelt werden (über die Endgeräte)

Die Mobility Management Entity (MME)



Die leistungsstarke eNodeB macht den Radio Network Controller (RNC) überflüssig.

Die Benutzerverwaltung erfolgt aber immer noch im Kernnetzwerk.

Diese Aufgabe übernimmt die Mobility Management Entity (MME):

- Fester Router im Mobilfunknetzwerk
- Nutzerdatenbank (Profile und Authentifizierung)
- Aufbau von Bearern
- NAS Mobility Management
- Handover-Unterstützung
- Interworking mit anderen Radionetzwerken

Die MME ist mit der SGSN in UMTS/ GPRS vergleichbar (ohne Routing von Nutzdaten).



Im Kernnetz muss es zumindest einen festen Router zwischen dem Funknetz und dem Internet geben.

Die MME speichert die notwendigen Funktionen für die Mobilitätsunterstützung

Die Mobility Management Entity (MME)



Funktionen Mobility Management Entity (MME):

- Authentisierung beim ersten Einbuchen mit Datenabfrage beim HSS
- Aufbau von Bearern (IP Tunneln) zwischen eNodeB und einem Gateway
- NAS Mobility Management
 - Ist ein Endgerät länger inaktiv, wird die Verbindung über die Luftschnittstelle abgebaut
 - Zellwechsel durch das UE innerhalb einer Tracking Area
 - Aktivierung über eine Paging-Nachricht
- Hilfe beim Handover, wenn keine X2-Schnittstelle vorhanden ist



Im Kernnetz muss es zumindest einen festen Router zwischen dem Funknetz und dem Internet geben.

Die MME speichert die notwendigen Funktionen für die Mobilitätsunterstützung

Das Serving-Gateway S-GW



- Das **Serving-Gateway S-GW** ist für die Weiterleitung von Nutzerdaten via IP-Tunnel zwischen eNodeB und PDN-Gateway zuständig.
- Auf der Radionetzwerkseite terminiert das S-GW die GTP-Tunnel der S1 User Plane.
- Auf der Kernnetzseite terminiert das S-GW die GTP-Tunnel der S5 User Plane.
- Das Erstellen von neuen Tunneln und deren Modifikation wird von der MME kontrolliert und die Kommandos über die S11-Schnittstelle zum S-GW übertragen.
- Beide Tunnel sind unabhängig, so dass während eines Handovers der Endpunkt des S1 Tunnels sich nur ändert



Ändert sich auch das S-GW oder die MME, muss auch der S5 Tunnel angepasst werden

Das PDN-Gateway



- Packet Data Network Gateway
- Bestandteil des Kernnetzwerks
- Bildet den Übergang zum Internet oder Firmennetzwerk
- Terminierung über die S5-Schnittstelle

1 | 1
1 | 0 | 2
1 | 0 | 2 | 4

Leibniz
Universität
Hannover

Der Home Subscriber Server – HSS



- zentrale Teilnehmerdatenbank
- gemeinsam mit UMTS und GSM
- nahtloser Übergang zwischen Radionetzen
- entspricht dem Home Location Register – HLR
- HSS – GSM: Mobile Application Part (MAP)-Protokoll
- HSS- LTE :
 - IP basierte **DIAMETER**-Protokoll (RFC 3588)
 - Schnittstelle S6a



LTE LUFTSCHNITTSTELLE



Leibniz
Universität
Hannover



- OFDMA für die Datenübertragung im Downlink
- SC-FDMA für die Datenübertragung im Uplink
- Symbole, Slots, Radio Blocks und Frames
- Referenz- und Synchronisations-Signale
- LTE-Kanal-Modell in Downlink-Richtung
- Downlink Management-Kanäle
- System Information Messages
- LTE-Kanal-Modell in Uplink-Richtung
- MIMO-Übertragungen



OFDMA für Datenübertragung im Downlink



Übertragungsverfahren:

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

- Ziel: Reduzierung des sogenannten „Multipath Fadings“ und Erhöhung der Datenrate
- Anstatt nur ein Signal über einen sehr breiten Übertragungskanal zu senden, verteilt OFDM einen schnellen Datenstrom auf viele langsamere Datenströme, die dann gleichzeitig übertragen werden.
- Die Datenratenerhöhung erfolgt durch eine lineare Erhöhung der Anzahl der langsameren Datenströme. Für möglichst viel Flexibilität sind für LTE Bandbreiten von 1.25 MHz bis 20 MHz definiert worden. Bei Verwendung von Kanalbandbreiten > 5 MHz führt dies zu einer Erhöhung der Datenrate. Bei Verwendung von 20 MHz Bandbreiten können unter idealen Bedingungen Datenraten von bis zu 100 Mbit/s erreicht werden.





definierte Bandbreiten in LTE:

Bandbreite	Anzahl der Subcarrier	FFT Größe
1.25 MHz	76	128
2.5 MHz	150	256
5 MHz	300	512
10 MHz	600	1024
15 MHz	900	1536
20 MHz	1200	2048



Leibniz
Universität
Hannover



Orthogonalität:

- Bandbreite sparen
- Subcarrier sind so angeordnet, dass die Seitenausläufer des Signals beim Scheitelpunkt des benachbarten Trägers null sind
- Inverse Fast Fourier Transformation (I-FFT)

Physikalische Parameter Subcarrier:

- Subcarrier-Abstand: 15 kHz (vgl. GSM: 200 kHz)
- OFDM-Symbollänge: 66.667 Mikrosekunden
- Cyclic-Prefix: 4,7 Mikrosekunden



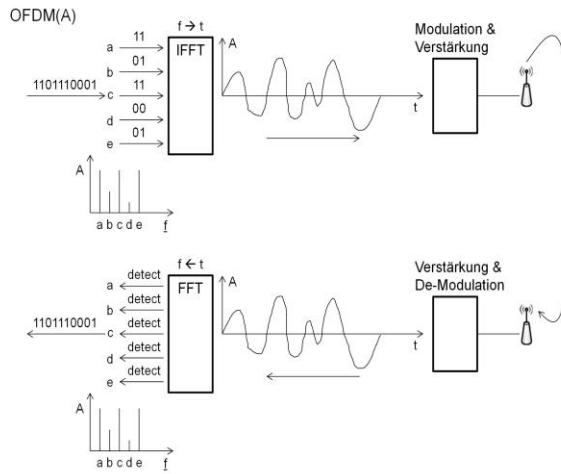
Zur Decodierung der Daten wird eine Inverse Fast Fourier Transformation verwendet.

Cyclic Prefix dient dazu, die Intersymbolinterferenz zu minimieren.

OFDMA für Datenübertragung im Downlink



Prinzip der OFDM-Übertragung in Downlink-Richtung:



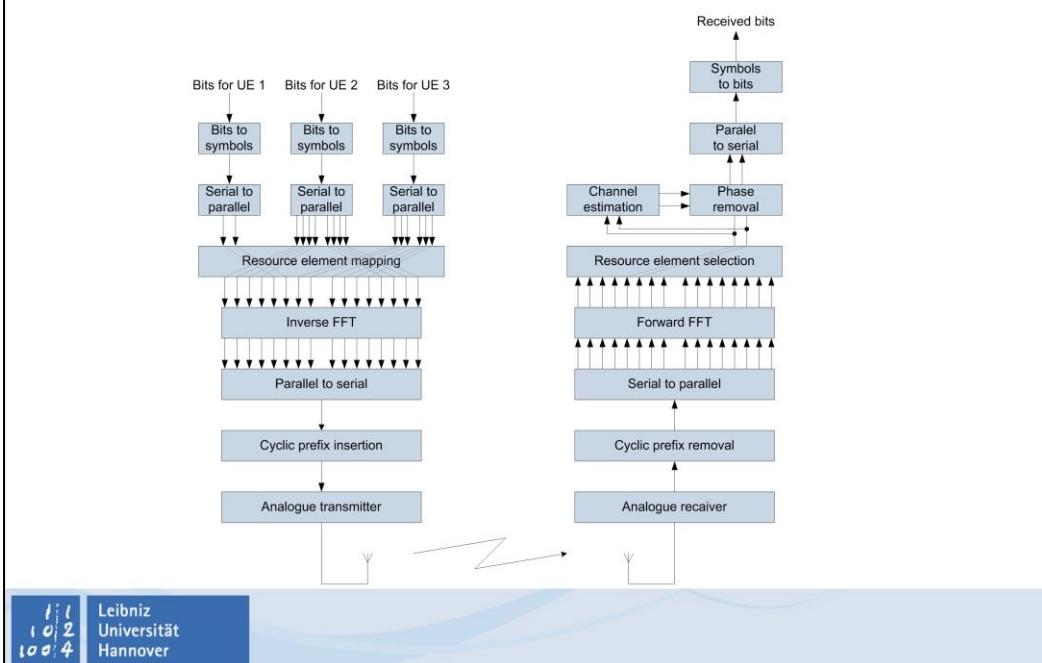
- a) Paralleler Datenstrom wird aufgeteilt
- b) Zuordnung zu Subcarriern
- c) IFFT macht Zeitsignal aus den Daten, die gesendet werden
- d) Nach Demodulation wird eine FFT ausgeführt (Zeitsignal -> Frequenzsignal)

Blockdiagramm OFDMA Sender/Empfänger



eNB transmitter

UE 1 receiver

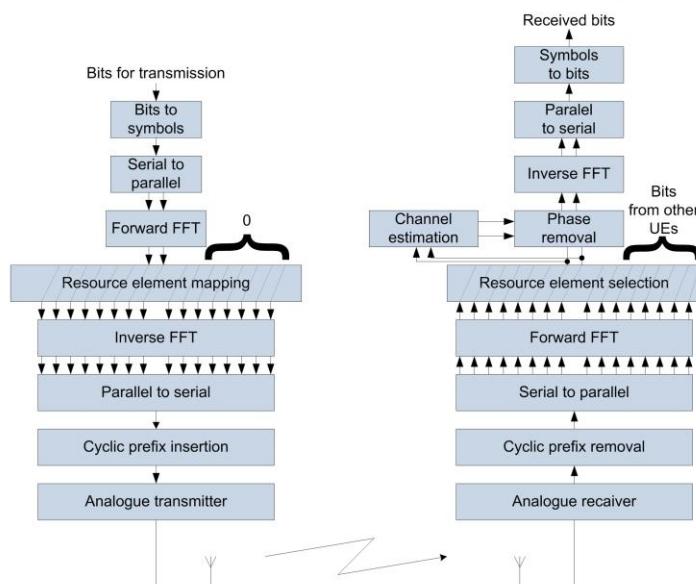


Blockdiagramm SC-FDMA Sender/Empfänger



UE transmitter

eNB receiver





OFDMA eignet sich aufgrund sehr großer Peak to Average Power Ratio (PAPR) nicht ideal für Uplink-Übertragungen (hoher Energieverbrauch)

- Ziel: energieeffiziente Endgeräte
- Konzept: Single Carrier - FDMA (SC-FDMA)
- ähnlich wie OFDMA:
Übertragungsstrecke hat jedoch zwei zusätzliche Funktionsblöcke
(s. folgende Abbildung):
- FFT: hier wird jedes Bit über alle Subcarrier verteilt (frequenzbasiert)
- I-FFT: Erzeugung eines zeitbasierten Signals wie bei OFDM
- der zusätzliche FFT-Block reduziert die PAPR deutlich



PAPR – Verstärker müssen auf die maximale Leistung dimensioniert werden. Das legt den durchschnittlichen Leistungsverbrauch fest.

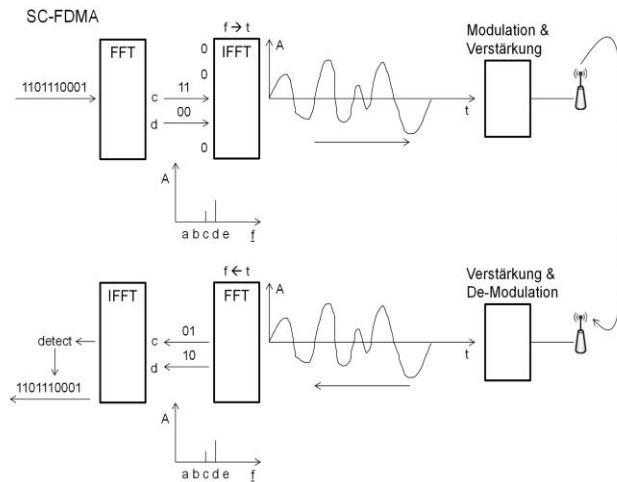
Bei OFDM wird die maximale Leistung selten benötigt.

Für das UE ist OFDM daher ungünstig, da über Batterien getriebene Endgeräte so effizient wie möglich arbeiten sollten.

SC-FDMA für die Datenübertragung im Uplink



SC-FDMA-Datenübertragung in Uplink-Richtung:



1 | 1
1 | 0 | 2
1 | 0 | 2 | 4

Leibniz
Universität
Hannover

FFT -> Verteilung jedes Bits auf alle Sub-Carrier

Die Anzahl der Subcarrier richtet sich nach den Übertragungsbedingungen, der maximalen Sendeleistung und der Anzahl der gleichzeitigen Nutzer.

Nicht verwendete Sub-Carrier werden auf 0 gesetzt. Der entstandene Frequenzvektor wird dann an die IFFT übergeben.



Symbol oder Übertragungsschritt oder Resource Element:

- kleinste Übertragungseinheit mit einer Länge von 66.667 Mikrosekunden
- Bit/Symbol in Abhängigkeit des Modulationsverfahrens (QPSK 64-QAM (6 Bits je Symbol))

Resource Blocks:

- Um Overhead zu reduzieren, werden einzelne Symbole in sogenannten Resource Blocks zusammengefasst (s. folgende Abbildung).
- Ein Resource Block belegt einen SLOT mit einer Dauer von 0.5 ms.





Subframes:

- 2 Slots bilden einen Subframe mit einer Länge von 1 ms
- Somit entscheidet eine eNodeB jede Millisekunde, welche Endgeräte in einem Slot Daten senden bzw. empfangen.
- Die Anzahl paralleler Resource Blocks hängt von der Bandbreite des Kanals ab.
- Beispiel: 10 kHz Kanalbandbreite entspricht 600 Subcarriern.

Ein Resource Block bündelt 12 Subcarrier.

⇒ Somit können bei 10 kHz Kanalbandbreite 50 Resource Blocks zugewiesen werden.



Leibniz
Universität
Hannover



Frames:

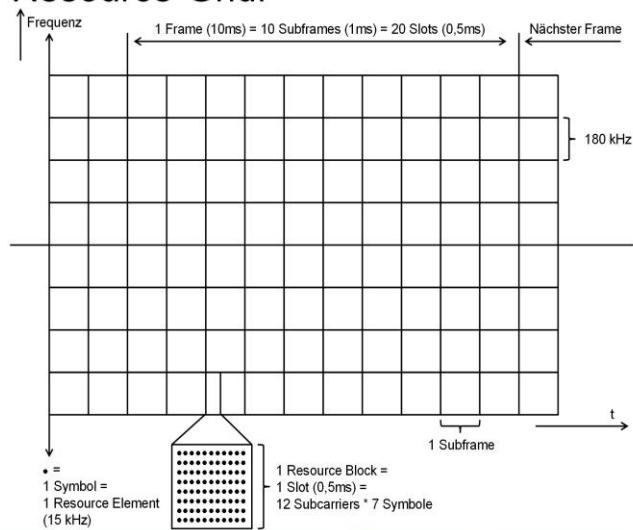
- Je 10 Subframes werden zu einem LTE Radio Frame mit einer Länge von 10 ms zusammengefasst.

1 | 1
1 | 0 | 2
1 | 0 | 0 | 4

Leibniz
Universität
Hannover



Das LTE-Resource-Grid:



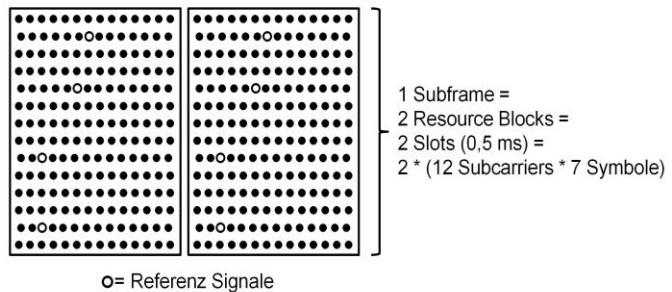


- Jede Millisekunde teilt das Netzwerk den Nutzern eine bestimmte Anzahl von Subframes zu.
- Nicht alle in einem Subframe zusammengefassten Symbole werden für die Nutzdatenübertragung verwendet:
 - Referenzsignale
 - Synchronisationssignale
- Welche Symbole für andere Aufgaben verwendet werden, hängt vom Ort eines Resource Blocks im Resource Grid ab (s. folgende Abbildung).





Referenzsignale in Resource Blocks:





Referenzsignale:

- dienen der LTE-Signal-Findung bei der Netzwerksuche
- dienen der Einschätzung der Signalqualität (Anpassung Modulation etc.)
- Referenzsignale werden in jedem 7. Symbol auf der Zeitachse und jedem 6. Subcarrier auf der Frequenzachse übertragen.
- In 3GPP TS 36.211 sind 504 unterschiedliche Referenzsignal-Sequenzen definiert, **Physical Cell ID (PCI)** genannt



Leibniz
Universität
Hannover



Synchronisationssignale:

- Es gibt sog. Primary- und Secondary Synchronization Signals.
- Sie werden in jedem 1. und 6. Subframe auf den inneren 72 Subcarriern eines Kanals übertragen.
- Die Übertragung erfolgt alle 5 ms.



Leibniz
Universität
Hannover

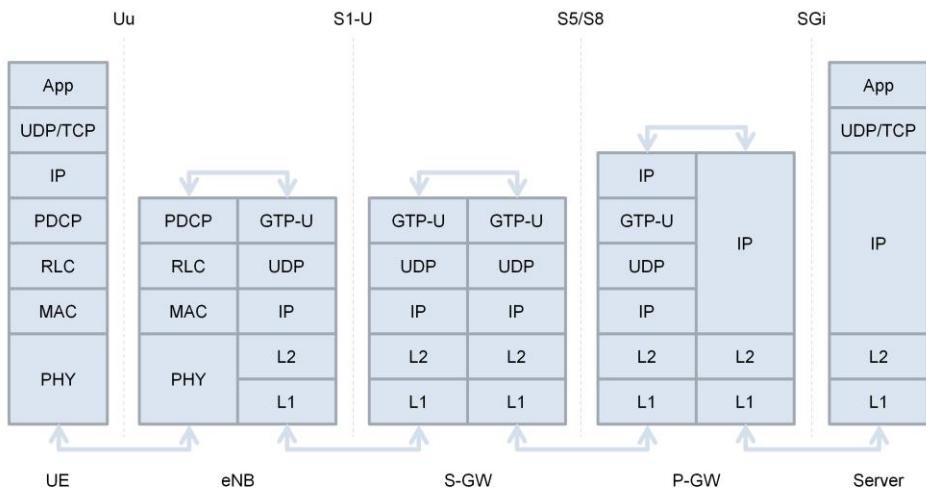


LTE PROTOKOLLE UND KANÄLE

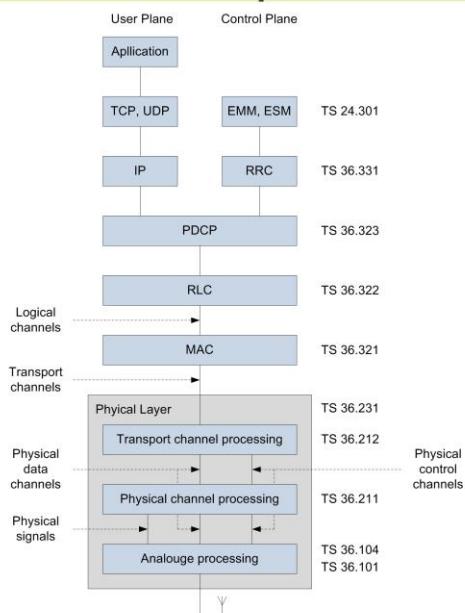
1 | 1
1 | 0 | 2
1 | 0 | 0 | 4

Leibniz
Universität
Hannover

Protokollstapel



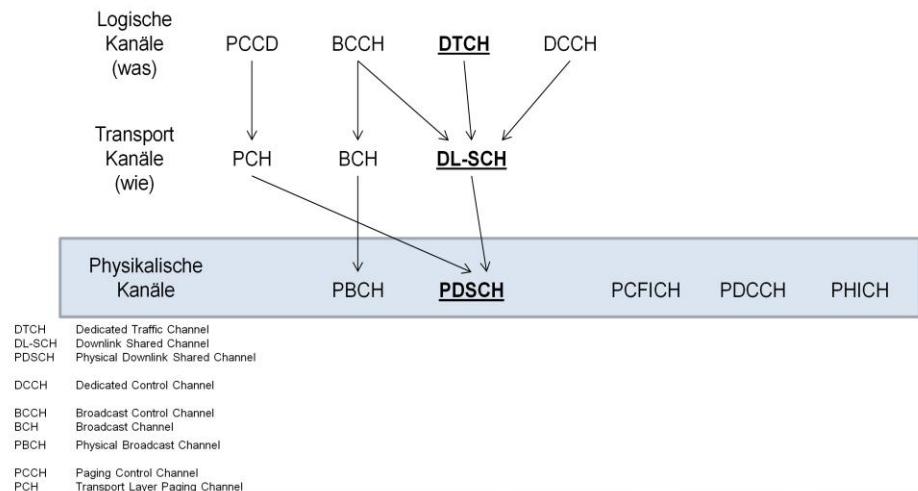
Luftschnittstellen Protokollstapel



Das LTE-Kanal-Modell in Downlink-Richtung



Downlink Kanäle



DTCH Dedicated Traffic Channel

DL-SCH Downlink Shared Channel

PDSCH Physical Downlink Shared Channel

DCCH Dedicated Control Channel

BCCH Broadcast Control Channel

BCH Broadcast Channel

PBCH Physical Broadcast Channel

PCCH Paging Control Channel

PCH Transport Layer Paging Channel



Physical Downlink Control Channel (PDCCH):

- Hier werden die Informationen übertragen, die es einem Endgerät ermöglichen zu prüfen, wo und welche Daten auf einen Shared Channel übertragen werden, und welche Resource Blocks in Uplink-Richtung verwendet werden dürfen.

Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH):

- Hier wird informiert, auf welchem der ersten 4 Symbole eines jeden Subframes die Downlink-Control-Informationen übertragen werden.



Leibniz
Universität
Hannover



Control Channel Elements:

- Downlink-Control-Nachrichten werden in Control Channel Elements übertragen (CCE).

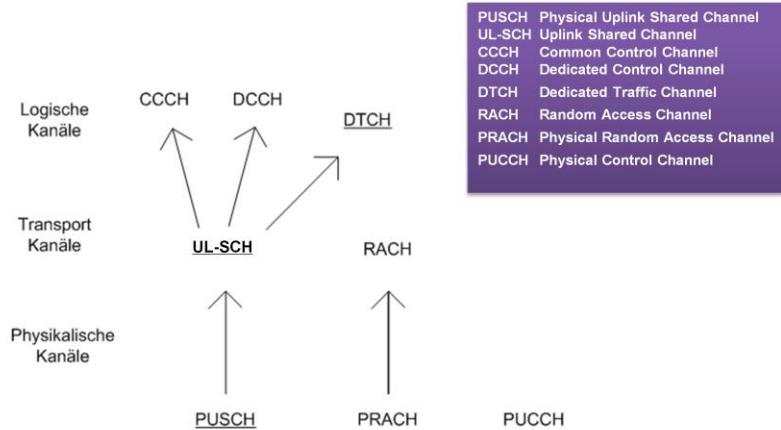
HARQ Indicator Channel:

- Kanal zur Übertragung von Bestätigungsinformationen zur korrekten Übertragung



Leibniz
Universität
Hannover

Das LTE-Kanal-Modell in Uplink-Richtung



PUSCH Physical Uplink Shared Channel

UL-SCH Uplink Shared Channel

CCCH Common Control Channel

DCCH Dedicated Control Channel

DTCH Dedicated Traffic Channel

RACH Random Access Channel

PRACH Physical Random Access Channel

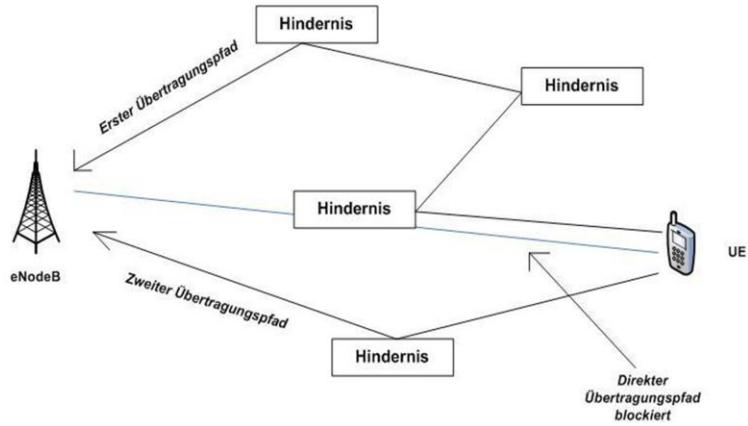
PUCCH Physical Control Channel



- 3GPP Release 8 spezifiziert die Verwendung von Mehrantennentechnik für MIMO-Übertragungen.
- 3GPP spezifiziert 2 oder 4 gleichzeitige Übertragungen (2x2 oder 4x4).
- Konzept: Daten werden gleichzeitig in mehreren unabhängigen Datenströmen über den gleichen Kanal übertragen.
- Praktisch finden derzeit hauptsächlich 2x2-Übertragungen im Shared Channel Anwendung.



MIMO-Übertragungen





- Praktische Voraussetzungen:
 - 2 bzw. 4 unabhängige Sende- und Empfangsmodule
 - eine eigene Antenne für jeden Datenstrom
 - Datenströme müssen möglichst unabhängige Übertragungswege beschreiben
(s. Abbildung)
- Theoretisch kann durch dieses Konzept der Datendurchsatz verdoppelt bzw. vervierfacht werden.
- MIMO-Übertragungen sind aufgrund des erhöhten Energiebedarfs derzeit nur für Downlink-Übertragungen spezifiziert.





- Das Kernnetz kontrolliert in LTE die Datenübertragung im Uplink bzw. Downlink, vergleichbar zu UMTS oder GSM.
- Anders als bei UMTS oder GSM erfolgt das Scheduling nicht Kernnetzseitig in einem RNC, sondern direkt im Radionetzwerk, in der eNodeB.
- Vorteile:
 - Schnelle Reaktionsmöglichkeiten des Netzwerks auf veränderte Übertragungsbedingungen (Durchsatzoptimierung)
 - Netzwerk kann die QoS-Anforderungen eines Nutzers besser überwachen und steuern
 - Möglichkeit, Überlastsituationen zu kontrollieren





Downlink-Scheduling:

- Scheduler ist dafür verantwortlich, alle Daten, die vom Netzwerk für einen Benutzer der Zelle angeliefert werden, über die Luftschnittstelle weiterzugeben.
- Die Verteilungslogik des Schedulers hängt dabei von vielen unterschiedlichen Faktoren ab: Timing, Priorität, Bandbreite, Ausbreitungsbedingungen etc.





- Downlink-Assignment-Nachrichten für ein Endgerät enthalten folgende Informationen:
 - Typ der Resource-Allocation
 - Power Control Information
 - HARQ-Informationen
 - Modulations- und Codierungsschema
 - Anzahl der MIMO-Datenströme
 - Precoding-Information



- Downlink Control Channel – Nachrichten (DCI-Formate):

Nachrichten-Typ (DCI-Format)	Inhalt
0	Uplink Scheduling Grants für den PUSCH
1	PDSCH Assignments mit einem Single Codeword
1a	PDSCH Compact Downlink Assignment
1b	PDSCH Compact Downlink Assignment mit Precoding Vektor
1c	PDSCH Assignments im 'Very Compact' Format
1d	PDSCH Assignments für Multi-User MIMO
2	PDSCH Assignments für Closed-Loop MIMO
2a	PDSCH Assignments für Open-Loop MIMO
3	Uplink Sendeleistungskontrolle mit 2-bit Power Adjustments
3a	Uplink Sendeleistungskontrolle mit 1-bit Power Adjustments





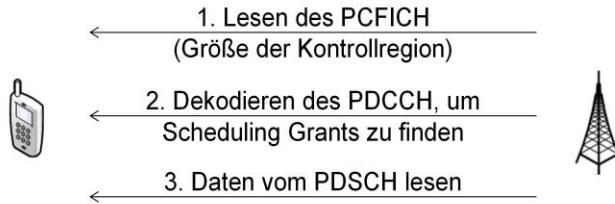
Zuteilung von Resource Blocks:

- Type 0: Resource-Zuteilungen enthalten eine Bitmap über zugeteilte Resource Block Gruppen
- Type 1: Resource-Zuteilungen enthalten eine Bitmap über einen zugeteilten Resource Block pro Gruppe
- Type 2: Resource-Zuteilungen enthalten einen Startpunkt auf der Frequenzachse und die Anzahl der zugeteilten Resource Blocks





Scheduling aus Sicht eines Endgerätes:



- Zu Beginn eines Sub-Frames lesen des PCFICH -> Anzahl Symbole auf der Zeitachse für die Control Region (PDCCH)
- Lesen der PDCCH Information für das UE -> finden der allokierten Ressourcen auf dem PDSCH
- Discontinuous Reception (DRX)-Zeiten = kein Abhören für ein Intervall, um Energie zu sparen



Uplink-Scheduling:

- **Versand von Daten im UPLINK**

Um Daten in Uplink-Richtung auf dem Physical Uplink Shared Channel übertragen zu können, muss das Endgerät einen sogenannten Scheduling Request auf die eNodeB senden.

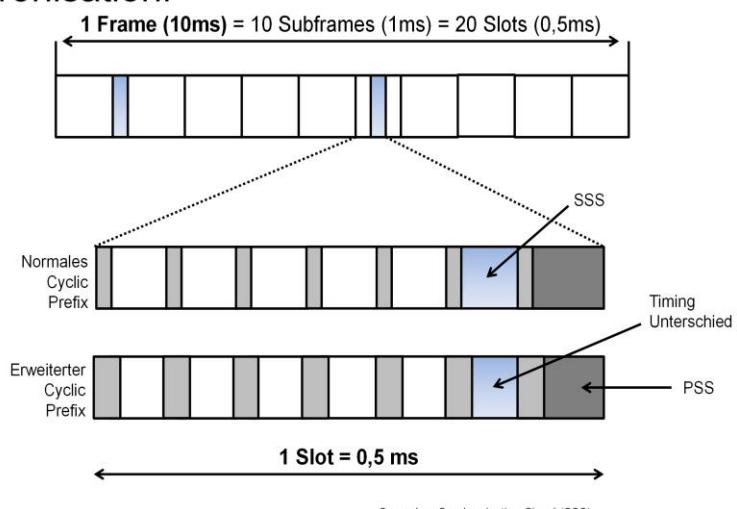
- **Keine physikalische Verbindung:**

- Sofern noch keine aktuelle physikalische Verbindung besteht, ist vorab noch eine RRC Connection Request-Nachricht auf dem Random Access Channel (RACH) erforderlich.
- Das Netzwerk baut anschließend die Verbindung auf und vergibt über den Physical Downlink Control Channel Ressourcen auf dem Uplink Shared Channel.
- Für optimale Ressourcennutzung werden Power Headroom Maps versendet, die Informationen darüber geben, wie viel Reserveleistung vorhanden ist





Synchronisation:





Einschalten des Geräts

- Netzwerksuche
- Suche nach einem Primary Synchronisation Signal (PSS) (Konstant)
- Suche nach einem Secondary Synchronisation Signal (SSS) – dient der Bestimmung des Rahmenbeginns
- Übertragung nur auf den inneren 1,25 MHz jedes Kanals unabhängig von der Kanalbandbreite
- PCI (Physical Cell ID) dient zur Unterscheidung von Zellen auf der gleichen Frequenz
- Lesen des Master Information Blocks (MIB) (alle 40ms über den PCCH); dieser enthält die wichtigsten Informationen über die Konfiguration des Kanals, über den HARQ Indicator Channel (PHICH) und die Systemframe Number (SFN) für die Verschlüsselung und Paging Intervalle





...Einschalten des Geräts

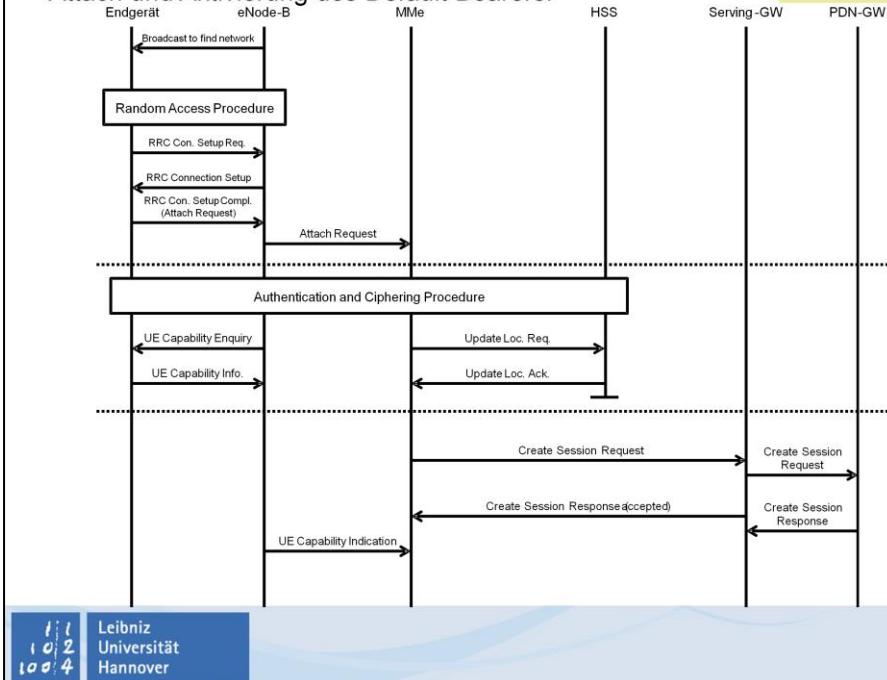
- Mit der MIB kann der System Information Block 1 gesucht werden
- Übertragung alle 80 ms auf dem Downlink Shared Channel
- Informationen
 - Mobile Country (MCC) und Mobile Network Code (MNC)
 - NAS Cell ID vergl. bar zur Cell-ID GSM/UMTS
 - Tracking Area Code (TAC) entspricht Location Area GSM
 - Minimale Empfangsfeldstärke, mit der die Zelle empfangen werden muss, damit eine Verbindung aufgebaut werden darf
 - Cell Barring Status (Einbuchung erlaubt?)
 - Liste + Periodizität anderer System Information Blocks
- Nächster Schritt Decodierung SIB 2
 - Konfiguration der Kanäle
 - Sounding Referenz (soll Messsignal geschickt werden) + Leistungsregelungsparameter



Grundsätzliche Prozeduren



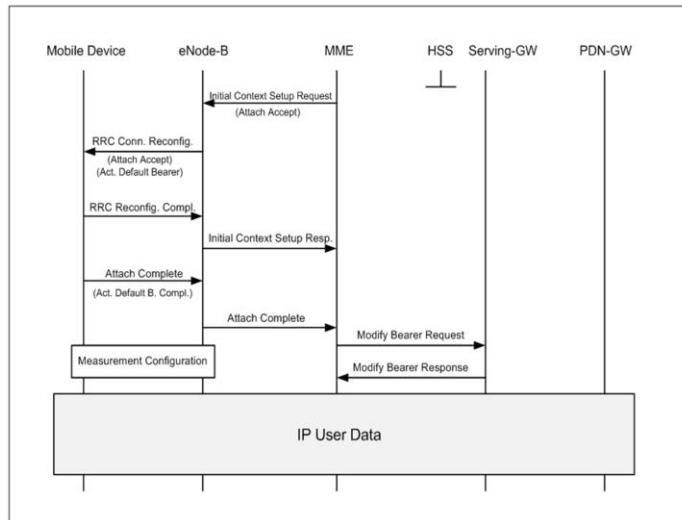
Attach und Aktivierung des Default Bearers:



Siehe auch TS 23.401

- 1) UE fordert Ressourcen auf dem Uplink Shared Channel an, nach Abschluss der Procedure ist das Endgerät dem eNodeB bekannt und dem Endgerät würde eine Cell Radio Network Temporary ID zugewiesen (C-RTNI). Diese MAC-Layer ID wird für die Ressourcenzuteilung u.a. auf dem PDCCH verwendet.
- 2) Im zweiten Schritt wird eine Radio Ressource Control (RRC) Verbindung hergestellt, damit Signalisierungsnachrichten mit dem eNodeB und dem Kernnetz ausgetauscht werden können. Hierzu wird eine RRC Connection Setup Nachricht (Parameter Grund für die Verbindungsaufnahme, temp. NAS Identität des UE (s-TMSI = Service Architecture Temporary Mobile Subscriber Identity, entspricht der TMSI/p-TMSI von GSM/UMTS),
- 3) eNodeB beantwortet mit einer RRC Connection Setup Nachricht, die alle Parameter enthält, um einen Dedicated Radio Signaling Bearer (SRB-1) aufzubauen, über den alle weiteren Nachrichten ausgetauscht werden u.a. auch mit der MME (Mobility Management Entity).
- 4) mit der RRC Con. Setup Complete Nachricht teilt das UE mit, mit welcher MME das Endgerät zuletzt verbunden war. Fehlt diese Information, wählt das Endgerät selbst eine passende MME. Eingebettet wird auch die Attach Request Nachricht übertragen, die der eNodeB transparent an die MME weiter verschickt. Teil dieser Nachricht ist die GUTI (Global Unique Temporary ID)
- 5) Wenn die GUTI nicht vorhanden ist oder die bisherige MME nicht kontaktiert werden kann, erfolgt ein Update Location Request zum HSS.
- 6) Mit der UE Capability Inquiry Nachricht werden die Funktionen des UE abgefragt (z.B. Bänder, Radio Technologien...).
- 7) Der Aufbau der Datenverbindung erfolgt dann über die Nachricht Create Session Request. Mit dieser wird ein Tunnel zwischen Serving Gateway und

Attach und Default Bearer Activation



Detach/Attach



Weitere Schritte

- An der S1 Schnittstelle zwischen MME und eNodeB wird über die Initial Context Setup Request Nachricht der Nutzdatentunnel aufgebaut
 - Eingebettet ist die Attach Accept Nachricht
 - und die TID (Tunnel Endpoint ID, die das Serving Gateway für die Verbindung benutzt)
- Für den Aufbau des Nutzkanals auf der Funkschnittstelle wird nun die RRC Connection Reconfiguration Nachricht verwendet
 - Aufbau eines Signaling Radio Bearers für niedrig priorisierte Nachrichten
 - Aufbau eines Data Radio Bearer (DRB) für die Übertragung der IP Pakete des Nutzers
 - Inkludiert zwei weitere NAS Nachrichten (Attach Accept, Activate Default Bearer Context Request – Konfiguration der höheren Protokollsichten u.a. mit IP Adresse)
- Diese Nachrichten werden bestätigt und final sendet der eNodeB ein Attach Complete an die MME, welche eine Modify Bearer Request Nachricht an das Serving Gateway schickt.



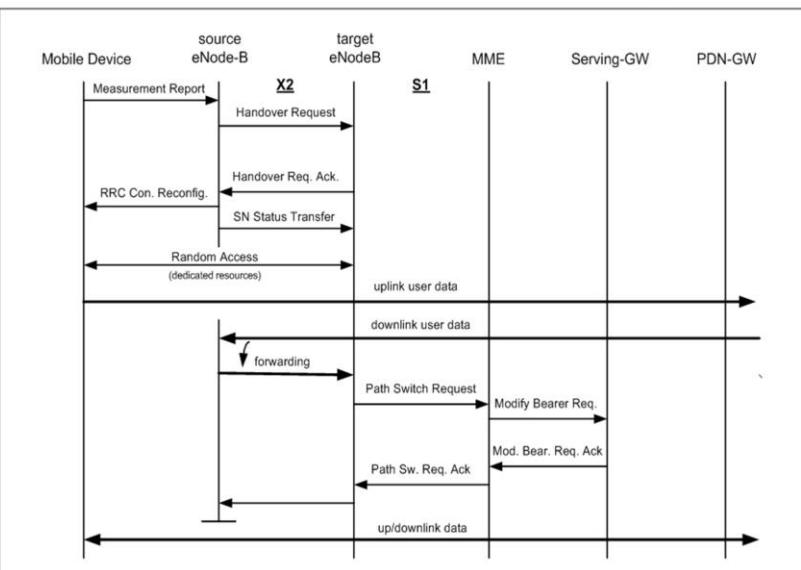
Attach und Aktivierung des Default Bearers:

- erste Kontaktaufnahme
- Erzeugen einer Session
- Context Establishment im Radionetzwerk

Handover-Szenarien:

- X2-Handover
- MME und Serving-Gateway-Änderungen

X2 Handover





Ablauf

- Abhängig von den Mess- und Reportkonfigurationen wird ab einer bestimmten Signalstärke nach Nachbarzellen gesucht
- Die Messdaten werden an den eNodeB geschickt, der eNodeB fragt bei Bedarf einen geeigneten eNodeB über eine Handover Request Nachricht an
- Wenn dieser noch Ressourcen und Rechenleistung frei hat, reserviert dieser Uplink-Kapazität und eine neue **Cell Radio Temporary Network ID (C-RNTI)**
- Ziel ist es, dass das UE eine Non-Contention Based Random Access-Prozedur durchführen kann (Synchronisation mit neuer Zelle)
- Bestätigung mit Handover request Ack. inkl. Mitteilung aller wichtigen Informationen für das UE und Weitergabe vom Source eNodeB an das UE
- Uplink/Downlink-Übertragung in der alten Zelle wird eingestellt, Downlinkdaten werden ggf. über das X2-interface weitergeleitet



...X2 Handover



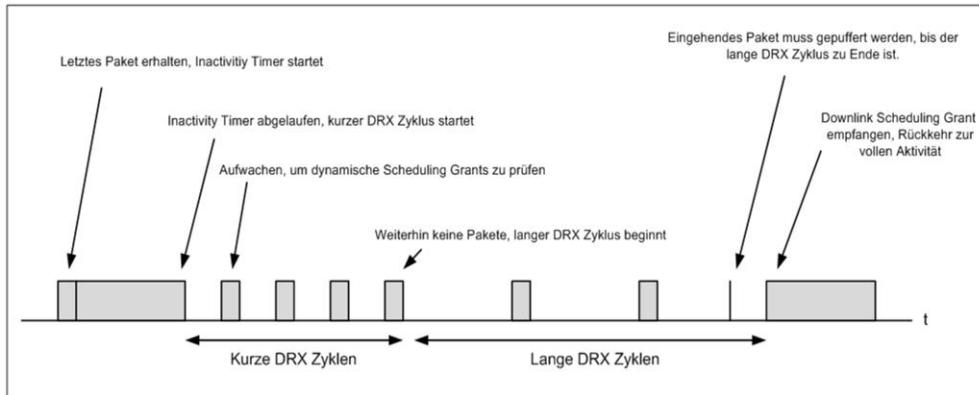
...Ablauf

- Source eNodeB sendet eine SN Status Transfer Nachricht an den neuen eNodeB, die eine Sequenznummer enthält, um eventuell fehlende Nachrichten im Uplink identifizieren zu können
- Final wird eine RRC Connection Reconfiguration Nachricht an das UE geschickt
- Eine Random Access Preamble wird vom UE an den neuen eNodeB auf dem PRACH geschickt
- mit der Random Access Response Nachricht wird der Vorgang aus Sicht des UE abgeschlossen und im Uplink werden Daten über den neuen eNodeB verschickt
- Über eine Path Switch Request Nachricht an die MME bzw. eine Modify Bearer Request Nachricht wird der S1 Tunnel vom alten eNodeB zum neuen übertragen



- Bei LTE gibt es nur zwei Zustände der Radio Ressouce Control:
 - Idle
 - Connected
- Mobilitätsmanagement im Connected-State
 - Messdaten werden periodisch über die vorhandenen Wege übertragen
 - Das Suchen nach Scheduling Grants in jedem Subrahmen jede Millisekunde ist Energieaufwändig und sollte vermieden werden
 - Deswegen wird über DRX (Discontinuous Reception) die Häufigkeit reduziert

Lange und kurze DRX-Zyklen



Über einen Countdown Wert wird ein Timer nach Senden des Datenblocks gestartet (nach jedem Datenblock neu).

Läuft der Timer ohne neues Datenpaket ab, startet der DRX Zyklus (optional kurzer Zyklus mit eigenem Timer mit Übergang in den langen Zyklus).

Kommen Daten im Downlink werden diese gepuffert, bis der DRX-Zyklus abgelaufen ist und ein Downlink Scheduling Grant wird zugewiesen.

Dieses spart Energie – erhöht jedoch die Accesszeit.



Mobilitätsmanagement im IDLE-State

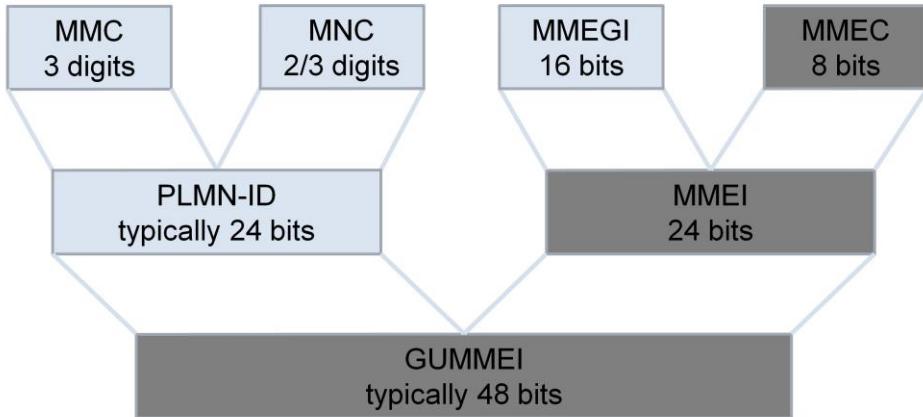
- Kein Nutzdatentunnel
- Kontakt zum Netzwerk nur, wenn Tracking Area verlassen wird
- MME kennt nur die TA
- Der Tunnel zwischen dem Serving GW und dem PDN-Gateway bleibt erhalten sowie alle logischen Verbindungen inkl. der IP Adresse
- Bei Aktivität wird die Funkverbindung und der Tunnel durchs Radio Netzwerk wieder aufgebaut
- Über Paging Nachrichten wird das UE aufgefordert, eine neue Verbindung über die Random Access Prozedur anzufragen



Die Mobility Management Entity (MME)



Adressierung



PLMN-ID: public land mobile network identity

MMC: mobile country code

MNC: mobile network code

MMEI: MME identifier (eindeutig innerhalb der PLMN-ID), MME Mobility Management Entity

MMEGI: MME group identifier

MMEC: MME code (eindeutig innerhalb der MME Pool Area)

GUMMEI: globally unique MME identifier (global eindeutig)

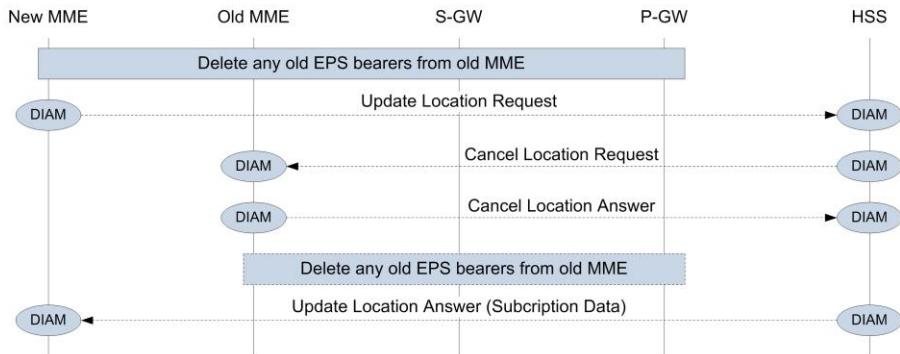
Jede MME hat drei Hauptidentitäten (main identities) hier grau hinterlegt.

Zusammenspiel mit UMTS/ HSPA und GSM

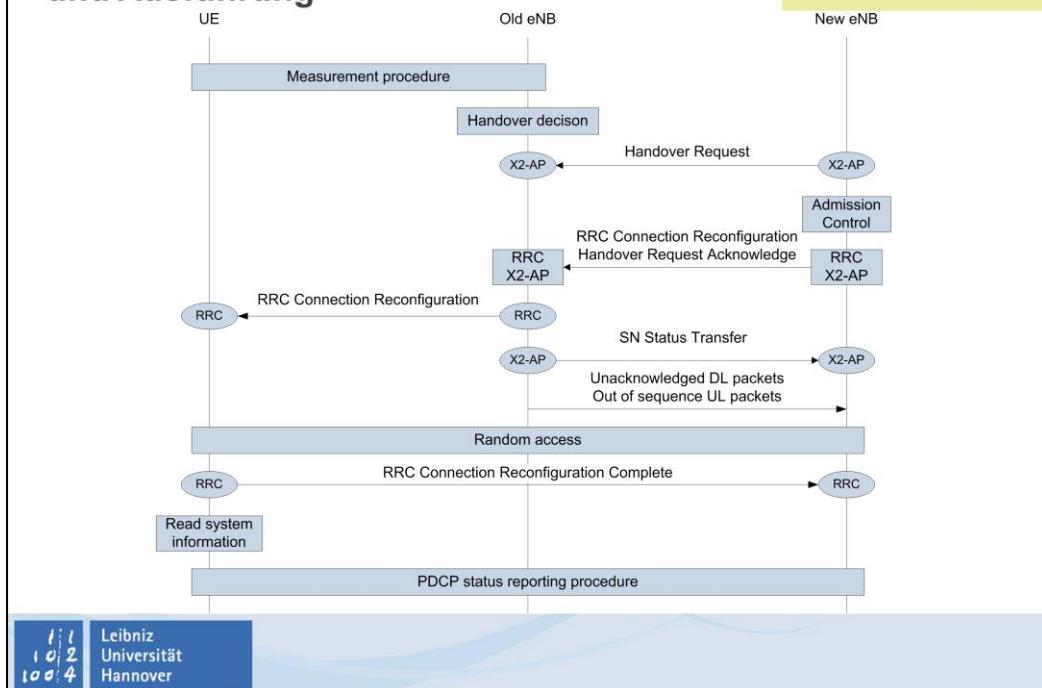


- Location Update innerhalb LTE
- X2 Handover innerhalb LTE
- Cell Reselection zwischen LTE und GSM/UMTS
- Cell Change Order zwischen LTE und GSM/UMTS
- Handover zwischen LTE und GSM/UMTS

Location Update



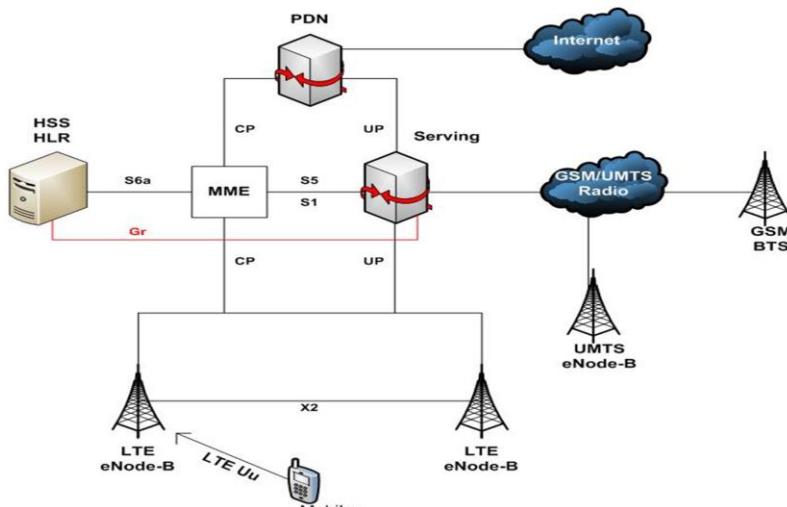
Handover Entscheidung, Vorbereitung und Ausführung



Zusammenspiel mit UMTS/ HSPA und GSM



Zusammenschaltung der LTE und GSM/UMTS-Kernnetzwerk:





Cell Reselection zwischen LTE und GSM/UMTS:

- einfacher Fall
- Sinkt die LTE-Signalstärke unter einen vordefinierten Mindestwert, beginnt das Endgerät mit der Suche nach Nicht-LTE-Zellen und wechselt selbstständig dorthin, wenn die LTE-Empfangsfeldstärke einen kritischen Wert unterschreitet.
- Nach dem Wechsel in eine GSM- oder UMTS-Zelle startet das Endgerät ein Location Area Update sowie ein Routing Area Update.
- Der umgekehrte Fall, die Rückkehr in ein LTE-Netz, erfolgt ebenfalls auf Basis der Empfangsfeldstärken.



Zusammenspiel mit UMTS/HSPA und GSM



Cell Change Order zwischen LTE und GSM/UMTS:

- ENodeB initiiert den Zellwechsel
- Cell Change Order (CCO) bei Unterschreiten eines Empfangspegels
- Nach dem Wechsel in eine GSM- oder UMTS-Zelle startet das Endgerät ein Location Area Update sowie ein Routing Area Update.
- Die netzinitiierte Rückkehr in ein LTE-Netz, also der umgekehrte Fall, erfolgt ebenfalls auf Basis der Empfangsfeldstärken über den Radio Network Controller (RNC).

Zusammenspiel mit UMTS/ HSPA und GSM



Handover zwischen LTE und GSM/ UMTS:

- Inter-RAT-Handover
- Verbindungsunterbrechung nur wenige hundert Millisekunden
- vergleichbar zu Handover zwischen zwei LTE-Zellen



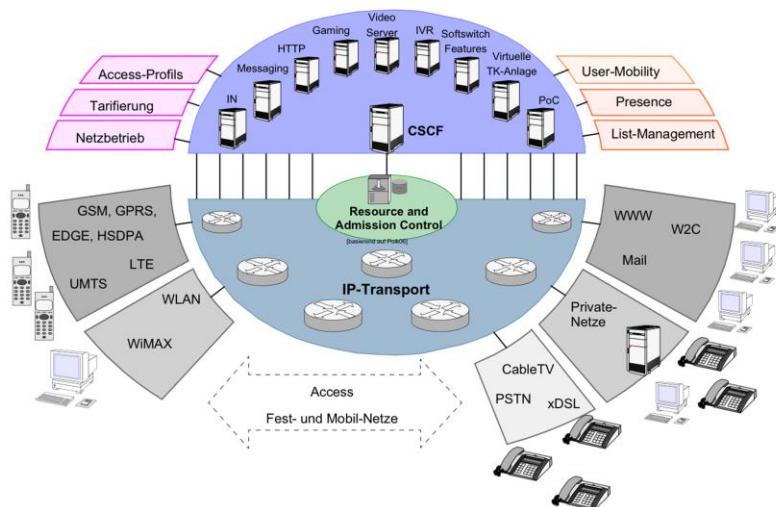
- zusätzlich sind folgende Schritte notwendig:
 - ENodeB muss in Sende- und Empfangspausen Messungen auf anderen Frequenzen ermöglichen
 - Das Handover-Kommando der RRC Reconfiguration Nachricht enthält die neue Frequenz, die Art des Radionetzwerks und weitere wichtige Systemparameter.
 - Routing Area Update nach dem Zellwechsel
 - Location Area Update für Sprach- und SMS-Dienste



- Self-Configuration
- Automatic Neighbour Relation (ANR)
- Netzabdeckungs- und Kapazitätsoptimierung
- Energieeinsparungen
- Automatische Konfiguration der Physical Cell-ID
- Handover-Optimierung
- Lastoptimierung
- Optimierung des Random Access Channels (RACH)



Einordnung mobiler Zugangsnetze in das IP Multimedia Subsystem (IMS)



LTE - Leistungsparameter



	HSPA	HSPA+	WiMAX	LTE
Datenrate (DL/UL)	14 / 5 Mbit/s	42 / 11 Mbit/s	80 / 16 Mbit/s	160 / 50 Mbit/s 50 / 10 Mbit/s
Verzögerung (Pingzeit)	50 ms	30 ms	30 ms	10 ms
Zellradius (Indoor/Outdoor)	2,8 / 7,4 km	2,8 / 7,4 km	1 / 2 km	2,8 / 7,4 km 5 / 10 km





LTE Verfügbarkeit testen:

- Infos und Übersicht zu LTE-Standorten in Deutschland samt Test für die Anbieter
- Link: <http://www.lte-anbieter.info/verfuegbarkeit/lte-verfuegbarkeit-testen.php>

Ausbaukarte:

- LTE Netzausbau und Netzabdeckung inkl. Ausbaukarte
- Link: <http://www.lte-anbieter.info/verfuegbarkeit/netzausbau-abdeckung-lte.php>





Neue Feature

- Deutliche Erhöhung der Datenraten (max. 3 Gbit/s im Downlink, 1,5 Gbit/s im Uplink)
- 8x8 MIMO
- 100 MHz Downlink Bandbreite
- 40 MHz Uplink Bandbreite
- Carrier Aggregation (auch asymmetrisch)
 - verschiedene Bänder können zu einer Funkzelle aggregiert werden



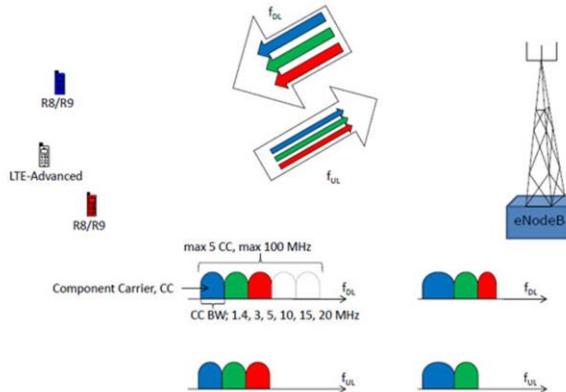
LTE Advanced (ab Release 10)



	LTE (Rel. 8-9)			LTE Advanced (ab Rel .10)		
LTE Geräte-Kategorie	3	4	5	6	7	8
Downlink (in MBit/s)	100	150	300	300	300	1200
Uplink (in MBit/s)	50	50	75	50	150	600
MIMO Antennentechnik	2 x 2 MIMO		4 x 4 MIMO	2x2 MIMO	diverse*	min. 8x8
Frequenz-Bandbreite	bis 20 MHz			20 bis 100 MHz auch per CA		
Carrier Aggregation (CA)	nein			ja		
Modulation Downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM			64QAM		
Modulation Uplink	QPSK, 16QAM		QPSK,16QAM, 64QAM	16QAM	64QAM	64QAM



LTE Advanced (ab Release 10)



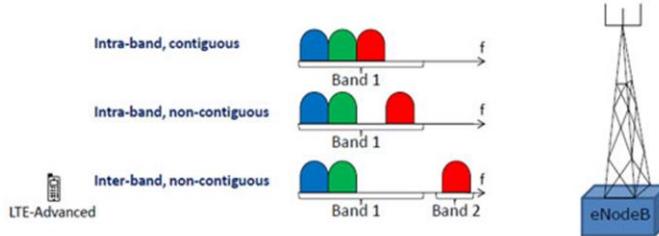
- Im FDD-Modus können R10 UE bis zu 5 Teilbänder zusammenfassen
- R8/R9 UE werden zu einer der Resoucen zugeordnet

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-Lte-advanced>

The most straightforward way to increase capacity is to add more bandwidth. Since it is important to keep backward compatibility with R8 and R9 mobiles the increase in bandwidth in LTE-Advanced is provided through aggregation of R8/R9 carriers. Carrier aggregation can be used for both FDD and TDD.

Each aggregated carrier is referred to as a component carrier. The component carrier can have a bandwidth of 1.4, 3, 5, 10, 15 or 20 MHz and a maximum of five component carriers can be aggregated. Hence the maximum bandwidth is 100 MHz. The number of aggregated carriers can be different in DL and UL, however the number of UL component carriers is never larger than the number of DL component carriers. The individual component carriers can also be of different bandwidths.

Carrier Aggregation – FDD
The R10 UE can be allocated resources DL and UL on up to five Component Carriers (CC). The R8/R9 UEs can be allocated resources on any ONE of the CCs. The CCs can be of different bandwidths.



Carrier Aggregation – verschiedene Alternativen

Quelle 3GPP

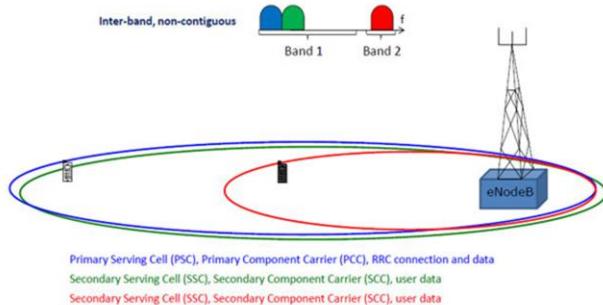
For practical reasons different carrier aggregation configurations – specified by e.g. combinations of E-UTRA operating band and the number of component carriers - are introduced in steps. In R10 there are two component carriers in the DL and only one in the UL (hence no carrier aggregation in the UL), in R11 there are two component carriers DL and one or two component carriers in the UL when carrier aggregation is used.

The easiest way to arrange aggregation is to use contiguous component carriers within the same operating frequency band (as defined for LTE), so called intra-band contiguous. This might not always be possible, due to frequency allocation scenarios. For non-contiguous allocation it could either be intra-band, i.e. the component carriers belong to the same operating frequency band, but are separated by a frequency gap, or it could be inter-band, in which case the component carriers belong to different operating frequency bands, see figure 2.

When carrier aggregation is used there is a number of serving cells, one for each component carrier. The coverage of the serving cells may differ – due to e.g. component carrier frequencies. The RRC connection is handled by one cell, the Primary serving cell, served by the Primary component carrier (DL and UL PCC). The other component carriers are all referred to as Secondary component carrier (DL and possibly UL SCC), serving the Secondary serving cells.

In the inter-band CA carrier aggregation on all three component carriers is only possible for the black UE, the white UE is not within the coverage area of the red component carrier.

LTE Advanced (ab Release 10)

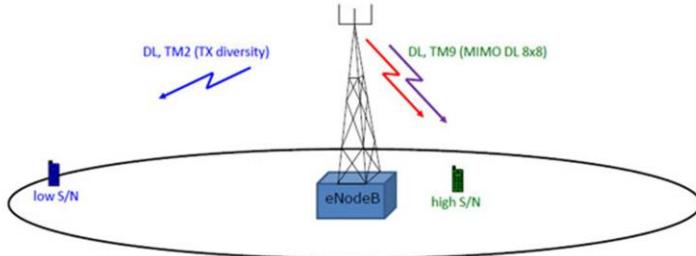


- Carrier Aggregation: Jeder Component Carrier gehört zu einer Serving Cell. Diese können unterschiedliche Abdeckungen haben.

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

Carrier Aggregation; Serving Cells Each Component Carrier corresponds to a serving cell. The different serving cells may have different coverage.

Introduction of carrier aggregation influences mainly MAC and the physical layer protocol, but also the RLC buffer must be larger and RRC must be able to make decisions about addition/removal of secondary CC



- MIMO bei guten S/N
- Transmit Diversity bei schlechtem S/N

<http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
MIMO, Multiple Input Multiple Output – or spatial multiplexing

MIMO is used to increase the overall bitrate through transmission of two (or more) different data streams on two (or more) different antennas - using the same resources in both frequency and time, separated only through use of different reference signals - to be received by two or more antennas, see figure 4.

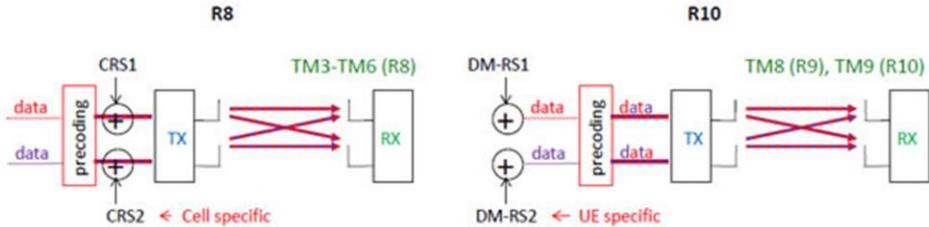
One or two transport blocks are transmitted per TTI. A major change in LTE-Advanced is the introduction of 8x8 MIMO in the DL and 4x4 in the UL.

MIMO can be used when S/N (Signal to Noise ratio) is high, i.e. high quality radio channel. For situations with low S/N it is better to use other types of multi-antenna techniques to instead improve the S/N, e.g. by means of TX-diversity, see figure 5.

MIMO is recommended for high S/N and TX diversity is preferably used for low S/N scenarios.

To be able to adjust the type of multi-antenna transmission scheme, according to e.g. radio environment, a number of different Transmission Modes (TM) has been defined. The UE will through RRC signalling be informed about the transmission mode to use. In the DL there are nine different transmission modes, where TM1-7 were introduced in R8, TM8 was introduced in R9 and TM9 was introduced in R10. In the UL there are TM1 and TM2, where TM1, the default, was introduced in R8 and TM2 was introduced in R10. The different transmission modes differ in;

Through the introduction of TM9 8x8 MIMO is supported DL, and through the introduction of TM2 UL use of 4x4 MIMO UL is enabled. Naturally it is also required that the UE support this. In R10 three new UE categories are introduced, category 6, 7 and 8 – where UE category 8 supports the maximum number of CC and 8x8 spatial multiplexing.



- R10 ergänzt Demodulations Reference Signale spezifisch je Datenstrom

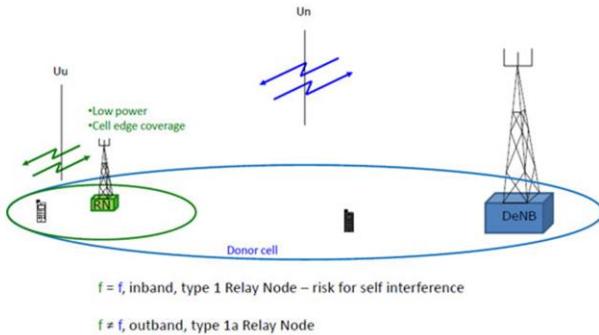
In multi-antenna techniques precoding is used to map the modulation symbols onto the different antennas. The type of precoding depends on the multi-antenna technique used as well as on the number of layers and the number of antenna ports. The aim with precoding is to achieve the best possible data reception at the receiver.

Note that the signal will be influenced by fading of various types, which can also be seen as some type of coding caused by the radio channel. To handle this, known reference signals will be transmitted together with the data, and used by the receiver for demodulation of the received signal.

In R8 the reference signal is added to the signal after precoding, one CRS (Cell-specific Reference Signal) per antenna. From the received CRS the UE estimates how the radio channel influenced the signal. Using this together with knowledge about the used code-book based precoding, the UE can demodulate the received signal and regenerate the information sent.

In R10 the DM-RSs (Demodulation Reference Signals) are added to the different data streams before precoding. Knowledge about the reference signal will provide information about the combined influence of radio channel and precoding, no pre-knowledge about the precoder is required by the receiver, this case is referred to as non-codebook based precoding.

MIMO DL with precoding and reference signal for demodulation in R8 and R10.
CRS is a cell specific reference signal, DM-RS is a UE specific reference signal, also specific per data stream.



- Inband und Outband Relay-Nodes werden möglich

Relay Nodes

In LTE-Advanced, the possibility for efficient heterogeneous network planning – i.e. a mix of large and small cells - is increased by introduction of Relay Nodes (RNs). The Relay Nodes are low power base stations that will provide enhanced coverage and capacity at cell edges, and hot-spot areas and it can also be used to connect to remote areas without fibre connection. The Relay Node is connected to the Donor eNB (DeNB) via a radio interface, Un, which is a modification of the E-UTRAN air interface Uu. Hence in the Donor cell the radio resources are shared between UEs served directly by the DeNB and the Relay Nodes. When the Uu and Un use different frequencies the Relay Node is referred to as a Type 1a RN, for Type 1 RN Uu and Un utilize the same frequencies, see figure 7. In the latter case there is a high risk for self interference in the Relay Node, when receiving on Uu and transmitting on Un at the same time (or vice versa). This can be avoided through time sharing between Uu and Un, or having different locations of the transmitter and receiver. The RN will to a large extent support the same functionalities as the eNB – however the DeNB will be responsible for MME selection.

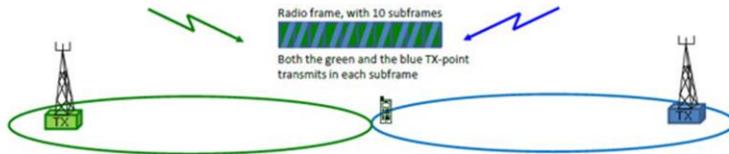
The Relay Node (RN) is connected to the DeNB via the radio interface Un. UEs at the edge of the donor cell are connected to the RN via Uu, while UEs closer to the DeNB are directly connected to the DeNB via the Uu interface. The frequencies used on Un and Uu can be different, outband, or the same, inband. In the inband case there is a risk for self interference in the RN.

LTE Advanced (ab Release 10)



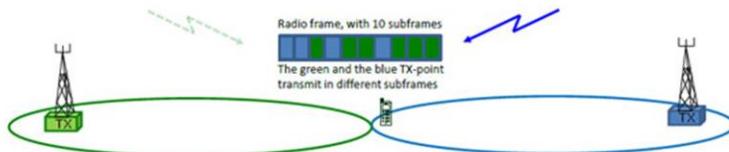
a) Joint Transmission

Data is transmitted – in the same frequency and at the same time - from multiple TX-points , here two



b) Dynamic Point Selection

Data is transmitted from one TX-point at the time.



- a) Joint Transmission; Zwei TX-points übertragen zu einem UE in der gleichen Radio Ressource,
- b) Dynamic Point Selection; Zwei TX-points sind für die Übertragung vorbereitet, aber nur einer überträgt je Sub-Rahmen



Coordinated Multi Point operation (CoMP) – R11

LTE-Advanced continues to evolve. New CA configurations are added (additions of new bands for CA are not bound to specific releases) and there are new features introduced in coming releases of the 3GPP specifications, such as Coordinated Multi Point (CoMP) introduced in R11.

The main reason to introduce CoMP is to improve network performance at cell edges. In CoMP a number of TX (transmit) points provide coordinated transmission in the DL, and a number of RX (receive) points provide coordinated reception in the UL. A TX/RX-point constitutes of a set of co-located TX/RX antennas providing coverage in the same sector. The set of TX/RX-points used in CoMP can either be at different locations, or co-sited but providing coverage in different sectors, they can also belong to the same or different eNBs. CoMP can be done in a number of ways, and the coordination can be done for both homogenous networks as well as heterogeneous networks. In figure 8 two simplified examples for DL CoMP is shown. In both these cases DL data is available for transmission from two TX-points. When two, or more, TX-points, transmit on the same frequency in the same subframe it is called Joint Transmission. When data is available for transmission at two or more TX-points but only scheduled from one TX-point in each subframe it is called Dynamic Point Selection. For UL CoMP there is for example Joint Reception, a number of RX-points receive the UL data from one UE, and the received data is combined to improve the quality. When the TX/RX-points are controlled by different eNBs extra delay might be added, since the eNBs must communicate, for example in order to make scheduling decisions. When CoMP is used additional radio resources for signaling is required e.g. to provide UE scheduling information for the different DL/UL resources.

- a) Joint Transmission; two TX-points transmit to one UE in the same radio resource,
- b) Dynamic Point Selection; two TX points are ready to transmit, but only one will be scheduled in each subframe.