

Kapitel 9 – Long Term Evolution (LTE)

(z.T. basierend auf Vorlesungsfolien von A. Mitschele-Thiel und J. Mückenheim)

Vorlesung Mobilkommunikation Wintersemester 2017/18

Prof. Dr. Oliver Waldhorst (HS Karlsruhe), Markus Jung

INSTITUT FÜR TELEMATIK





Mobiles TCP



Mobile Ad Hoc Netze



Mobile IP



WLAN, Bluetooth



GSM, UMTS, **LTE**



Mobilitätsmanagement

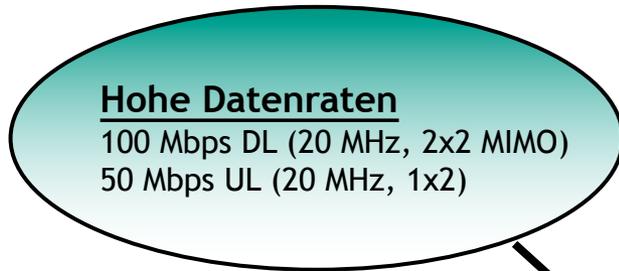


Medienzugriff

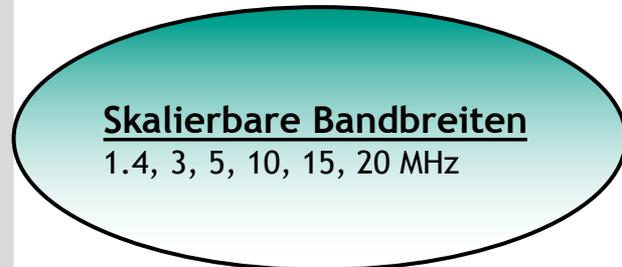


Drahtlose Übertragung

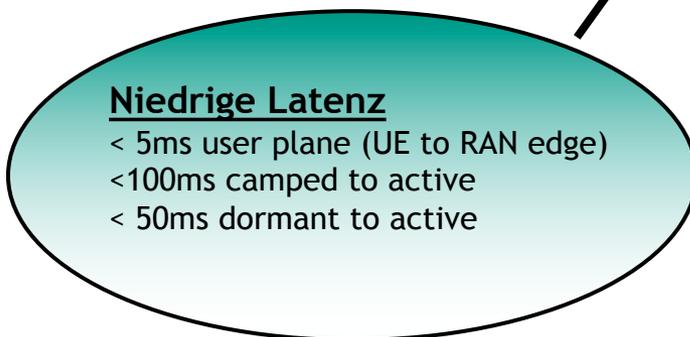
LTE: Anforderungen und Ziele



* Annahme:
 2x2 im DL für
 LTE, aber 1x2
 für HSPA
 Rel'6



LTE
 Long-Term Evolution



LTE: Weiterentwicklung von UMTS



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

LTE Eigenschaften

- **OFDM** auf der Luftschnittstelle
 - Geringere Empfängerkomplexität
 - Robust gegen Fading einzelner Frequenzen und Intersymbol Interferenzen (ISI)
 - Zugriff auf Zeit- und Frequenzdomäne erlaubt zusätzliche Flexibilität beim Scheduling
 - Skalierbares OFDM erlaubt Erweiterung auf verschiedene Übertragungsbandbreiten

- Integration von **Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO)** Techniken
 - Unterstützung von 1,2 oder 4 Antennen im DL und MU-MIMO im UL

- Vereinfachte Netzarchitektur (**System Architecture Evolution, SAE**)
 - Reduktion der logischen Knoten → Flache Architektur
 - Klare Trennung von Benutzer- und Kontrolldomäne

LTE: Vorteile für den Betreiber

- 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



LTE: Netzausbau (Stand: Juli 2013)

T-Mobile

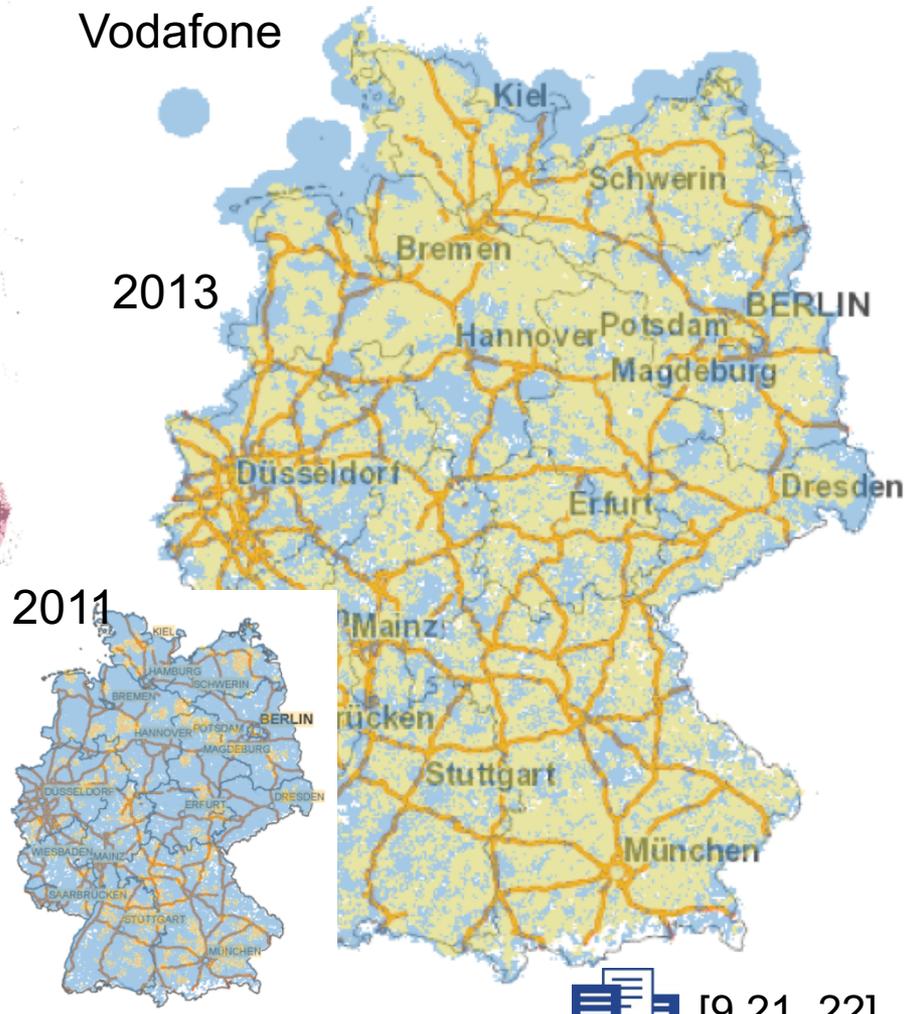
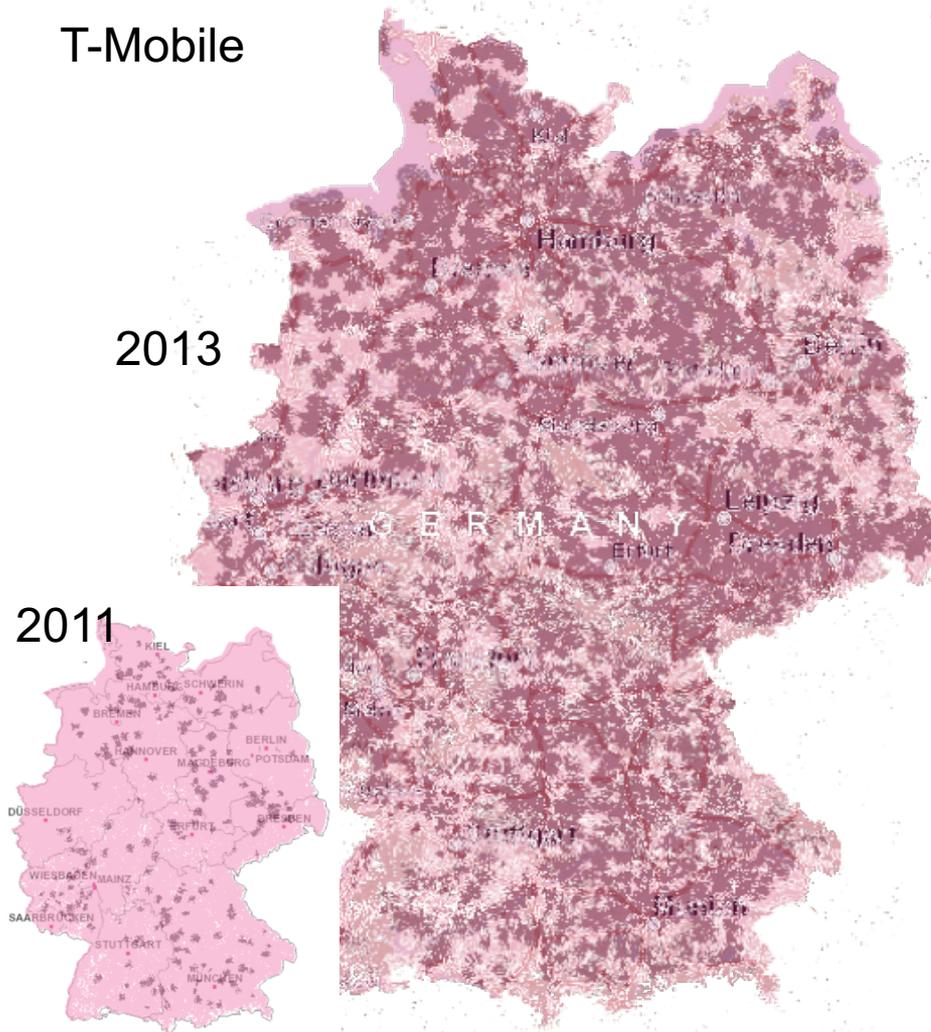
Vodafone

2013

2013

2011

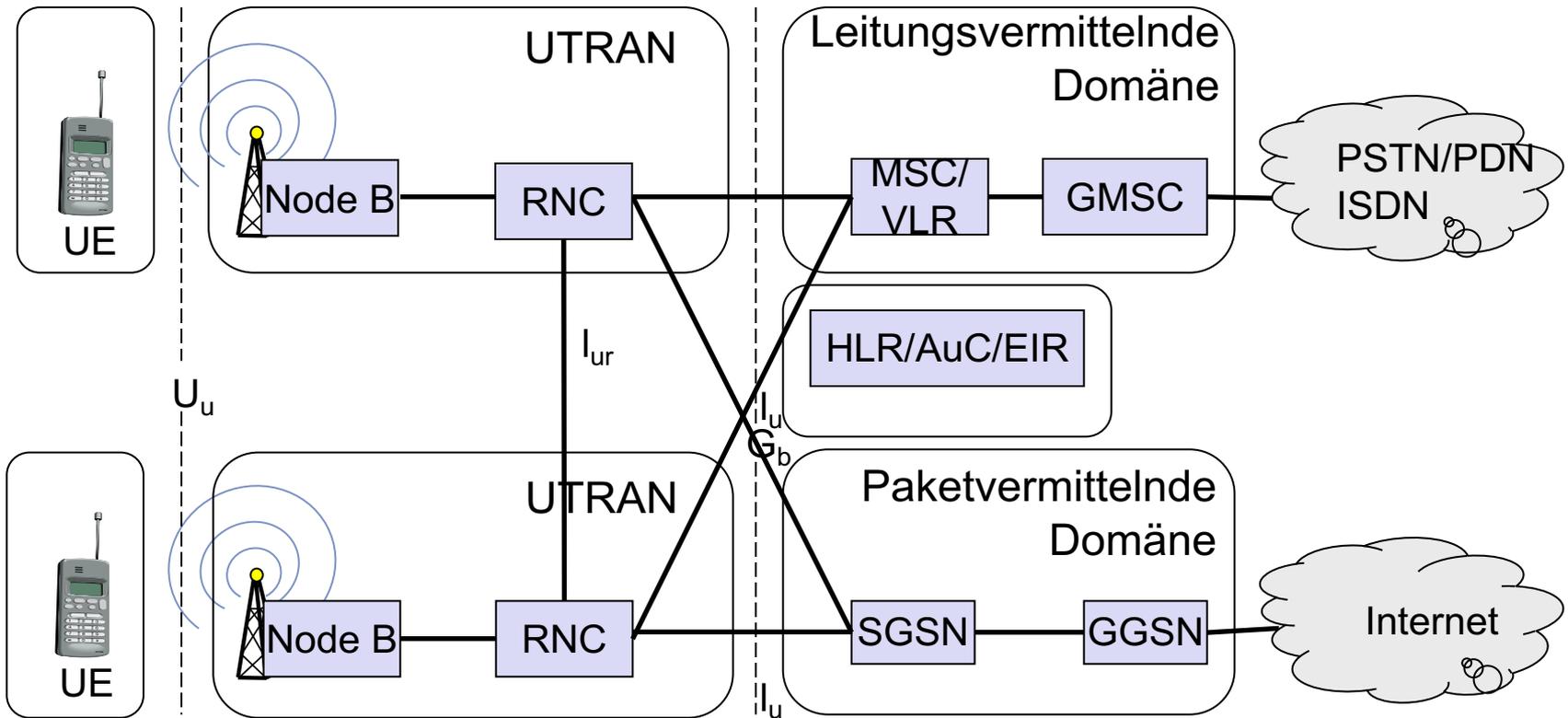
2011



[9.21, 22]



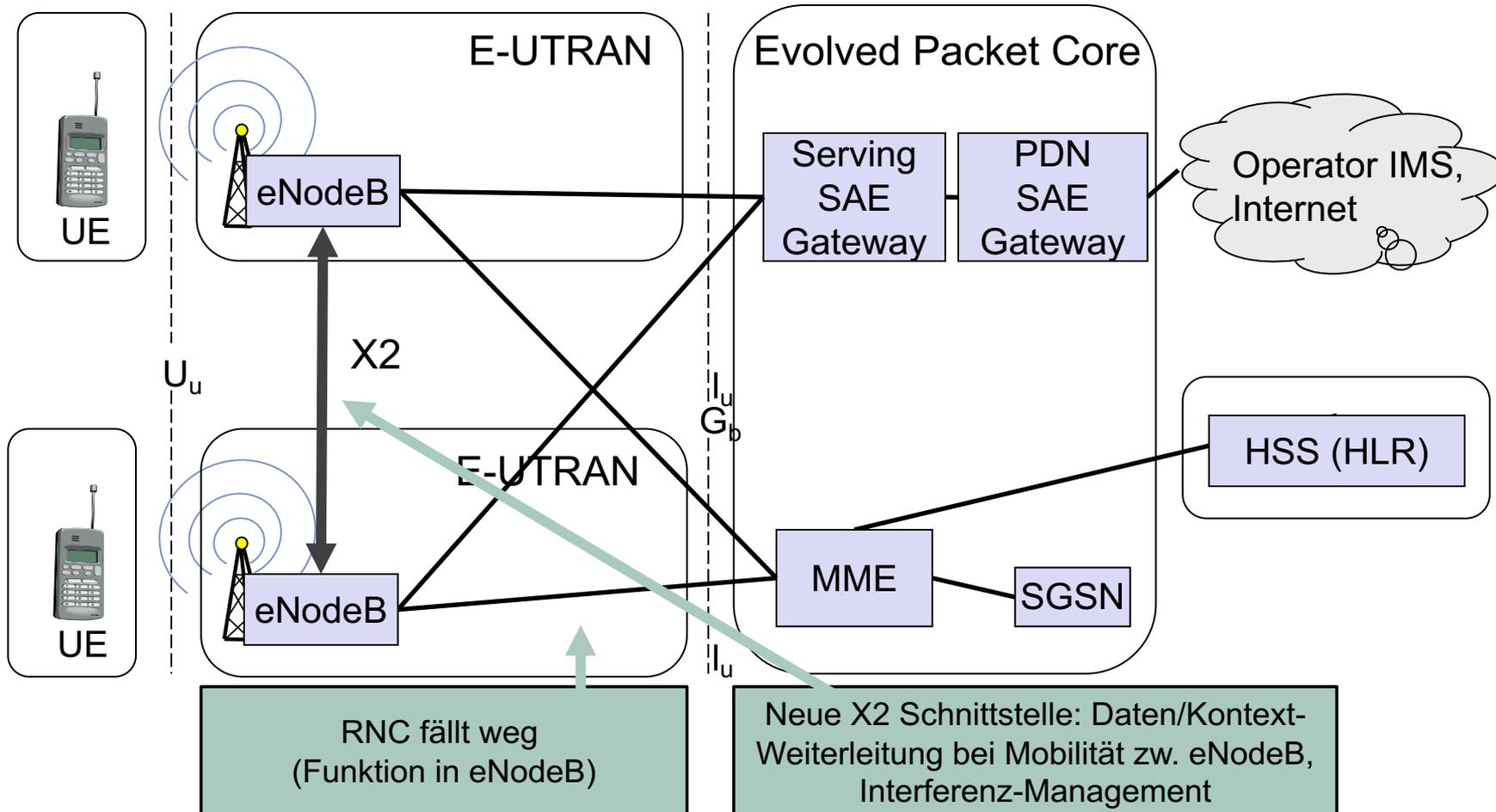
Zur Erinnerung: UMTS Architektur





LTE Architektur

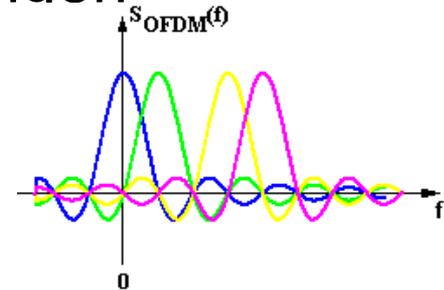
MME: Mobility Management Entity
HSS: Home Subscriber Server



LTE: Überblick Funkssystem

■ Downlink:

- **OFDM**: Verfahren robust gegen Auswirkungen von Mehrwegeausbreitung
- Ermöglicht einfache, günstige Empfänger



■ Uplink:

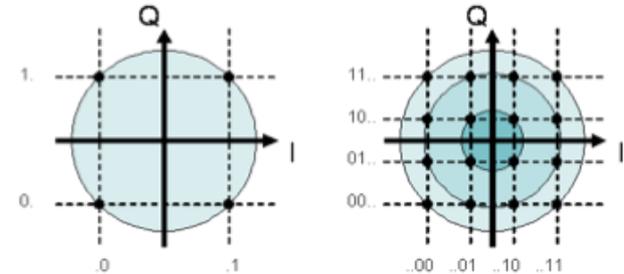
- **Single-carrier FDMA (SC-FDMA)** ähnlich zu OFDM
 - Sequentielle Übertragung auf verschiedenen Unterträgern erlaubt sehr energie-effiziente Übertragungen (wichtig für Mobilgeräte)

■ Einsatz von MIMO-Antennentechnologie

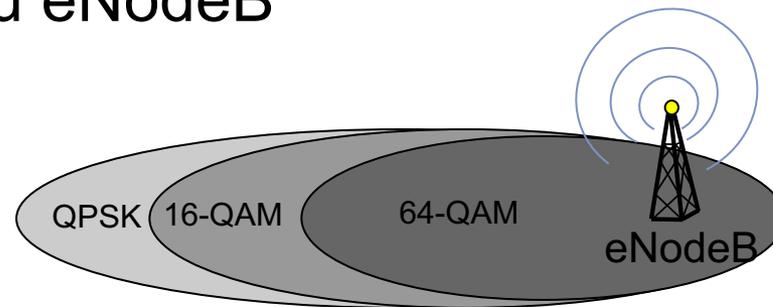


LTE: Bittübertragungsschicht

- Daten werden codiert und mit einem der Verfahren moduliert (Details siehe Grundlagen-Kapitel)
 - QPSK
 - 16-QAM
 - 64-QAM



- Verfahren abhängig von Verbindungsqualität und Entfernung zu eNodeB



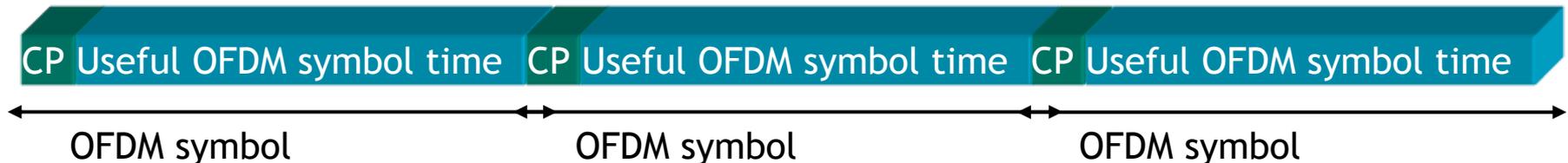
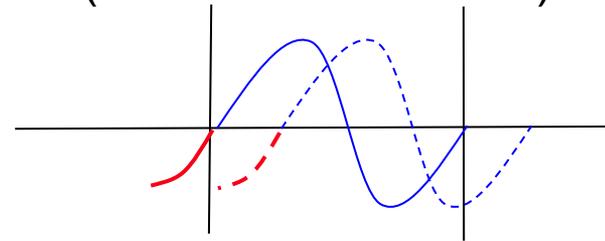


OFDM in LTE

- **Inter-Symbol-Interferenz** (zw. OFDM Symbolen) wird fast vollständig durch **Schutzzeiten** (T_G) eliminiert



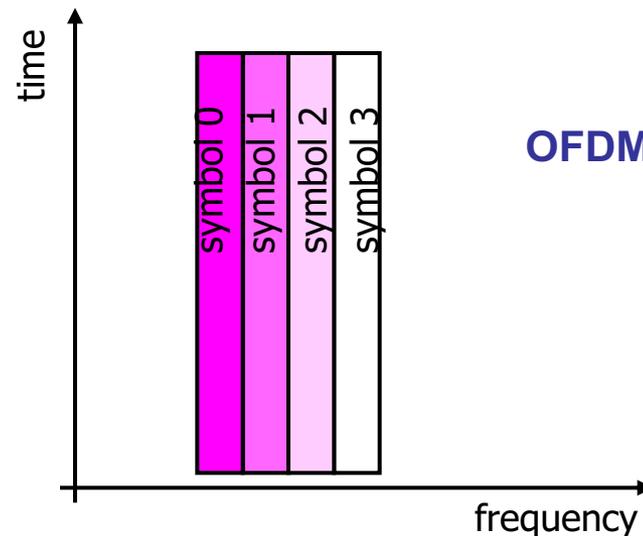
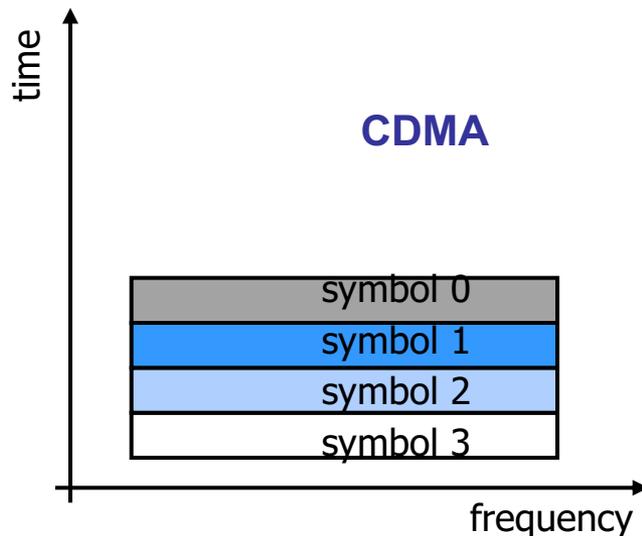
- Innerhalb eines OFDM Symbols sind Datensymbole nur orthogonal, wenn es eine ganzzahlige Anzahl Sinuszyklen im Empfangsfenster gibt
 - Auffüllen der Schutzzeiten mit einem „**Cyclic Prefix**“ (CP) sichert Orthogonalität auch bei Mehrwegeausbreitung → Eliminierung von Interferenzen in der gleichen Zelle (**Intra-Zell-Interferenz**)





Vergleich OFDM vs. CDMA (1)

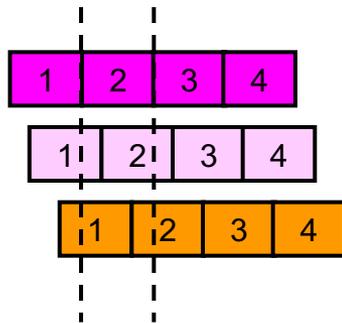
- OFDM: Zu modulierendes Symbol wird über **relativ lange Symbolzeit und schmale Bandbreite** übertragen
 - LTE: 66.6 μ sec Symbolzeit und 15 kHz Bandbreite
 - Für höhere Datenraten können mehr Symbole über mehr Unterträger gesendet werden → Erhöht Bandbreitenbelegung
- CDMA: Zu modulierendes Symbol wird über **relativ kurze Symbolzeit und große Bandbreite** übertragen
 - UMTS HSPA: 4.17 μ sec Symbolzeit und 3.84 MHz Bandbreite
 - Um mehr Bandbreite zu erhalten → Mehr CDMA-Codes verwenden





Vergleich OFDM vs. CDMA (2)

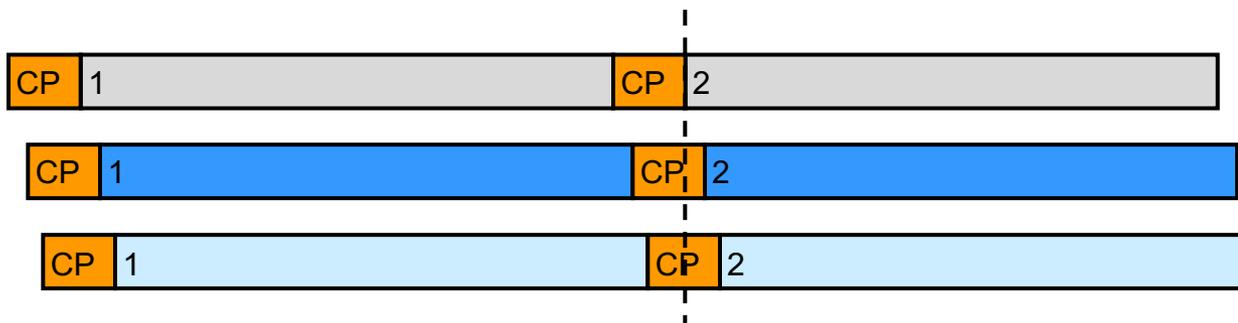
- Kurze Symbolzeiten in CDMA führen zu ISI bei Mehrwegausbreitung



CDMA Symbole

Mehrweg-Reflexionen eines Symbols überlappen nachfolgende Symbole → ISI

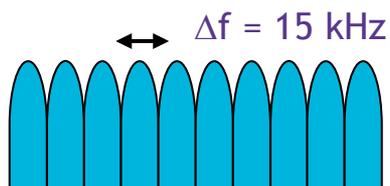
- Lange Symbolzeiten in OFDM (zusammen mit CP) unterdrücken ISI bei Mehrwegausbreitung



Kleine bis keine Überlappung in Symbolen

OFDM: Symbolzeit bei LTE wählen

- Zwei konträre Faktoren beeinflussen die OFDM Symbolzeit
 - CP Länge sollte länger als Worst-Case-Mehrwegverzögerung sein, und OFDM Symbolzeit sollte deutlich größer als CP Länge sein, **um signifikanten Aufwand durch CP einzusparen**
 - OFDM Symbolzeit sollte deutlich kürzer als die kleinste zu erwartende Kohärenzzeit auf dem Kanal sein, **um Kanalvariabilität innerhalb der Symbolzeit zu vermeiden**
- LTE entworfen um mit Latenzvariationen bis zu $\sim 5\mu\text{s}$ und Geschwindigkeiten bis zu 350 km/h umzugehen. Daher wurde folgendes entschieden:
 - CP Länge = $4.7\ \mu\text{s}$
 - OFDM Symbolzeit = $66.6\ \mu\text{s}$ (= 1/20 der Worst-Case-Kohärenzzeit)

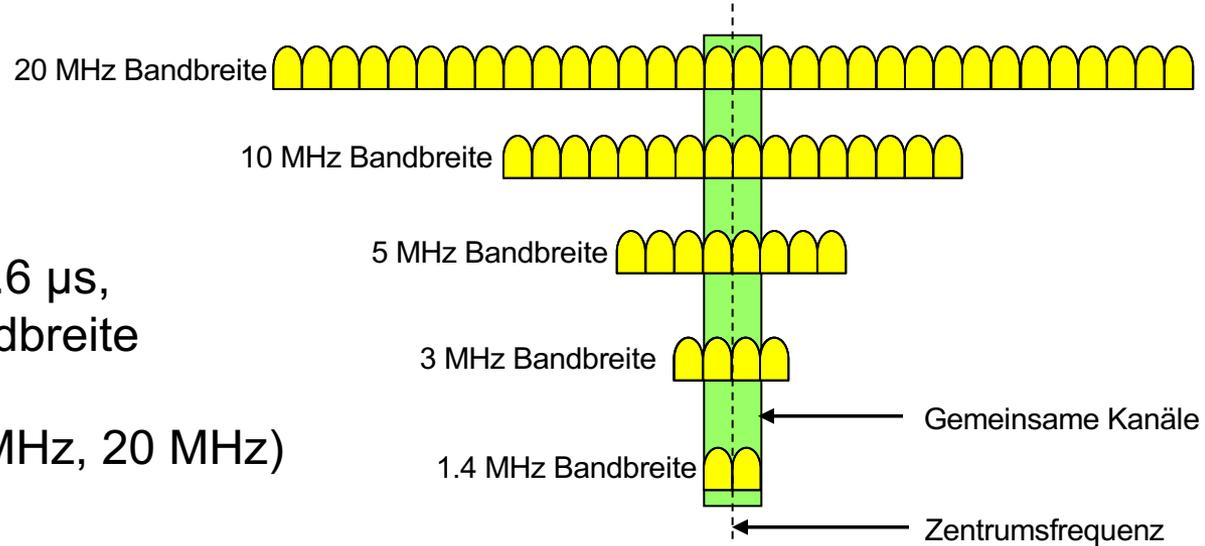




Skalierbares OFDM für versch. Bandbreiten

■ Skalierbares OFDM

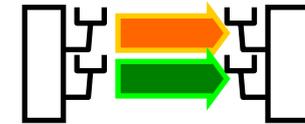
- Unterträger-Breite bleibt fix (15 KHz)
- Symbolzeit fix bei 66.6 μ s, unabhängig von Bandbreite (1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, 20 MHz)
- Anzahl Unterträger variable um in unterschiedlichen Bandbreiten zu operieren
- Einfluss von Latenzvarianz, Doppler-Effekt durch Mobilität, Zeitgenauigkeit etc. bleiben gleich bei Bandbreitenwechsel → Robustes Design



Multiple-Input-Multiple-Output (MIMO) in LTE

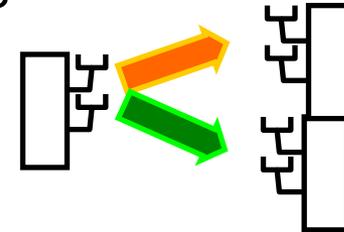
■ SU-MIMO (Single-User MIMO)

- Mehrere Datenströme zum gleichen Benutzer (max. 2 Codeworte)
- Signifikante Durchsatzerhöhung für UEs in Umgebungen mit hoher S/N-Rate



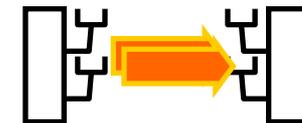
■ MU-MIMO (Multi-User MIMO) oder „Beamforming“

- Versch. Datenströme zu versch. Benutzern über gleiche Zeit-Frequenz-Ressource
- Erhöht Durchsatz auch in Umgebungen mit niedriger S/N-Rate (Zellrand)
- Funktioniert auch mit einzelner Antenne



■ Übertragungsdiversität (TxDiv)

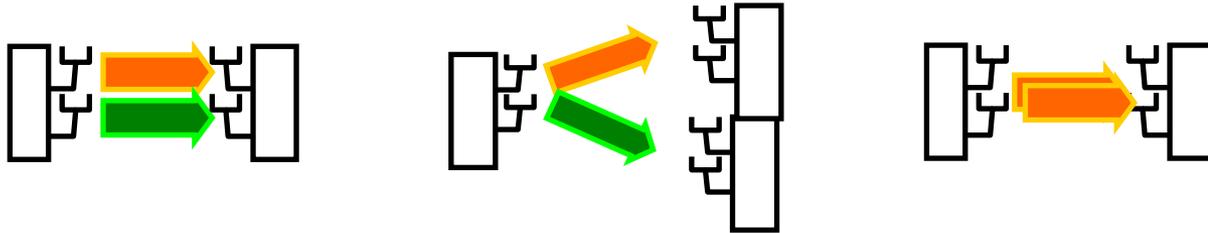
- Erhöht Verlässlichkeit auf einzeltem Datenstrom
- Wird, wenn Kanaleigenschaften nichts anderes zulassen
- Nützlich, um Robustheit auf Kontrollkanälen zu erhöhen



MIMO in DL und UL

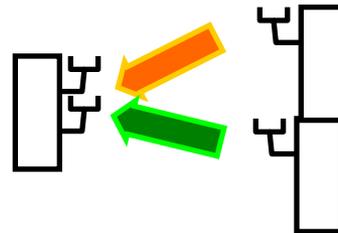
■ Downlink

- Unterstützt SU-MIMO, MU-MIMO, TxDiv



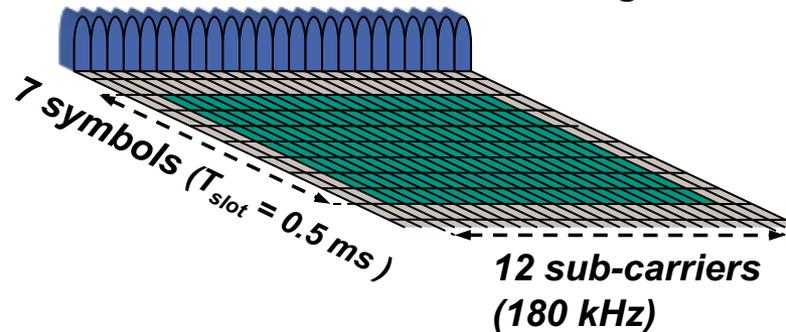
■ Uplink

- Erstes Release von LTE unterstützt nur MU-MIMO mit einzelner Antenne auf UE → Um mehrere Leistungsverstärker auf UE zu umgehen



LTE Scheduling (1)

- Grundeinheit für Medienzugriff: **Resource Block (RB)**
 - 12 Unterträger in einer Frequenz (= 180 kHz)
 - 1 Zeitschlitz (= 0.5ms, = 7 OFDM Symbole)
 - Mehrere RBs können einem Benutzer zugewiesen werden



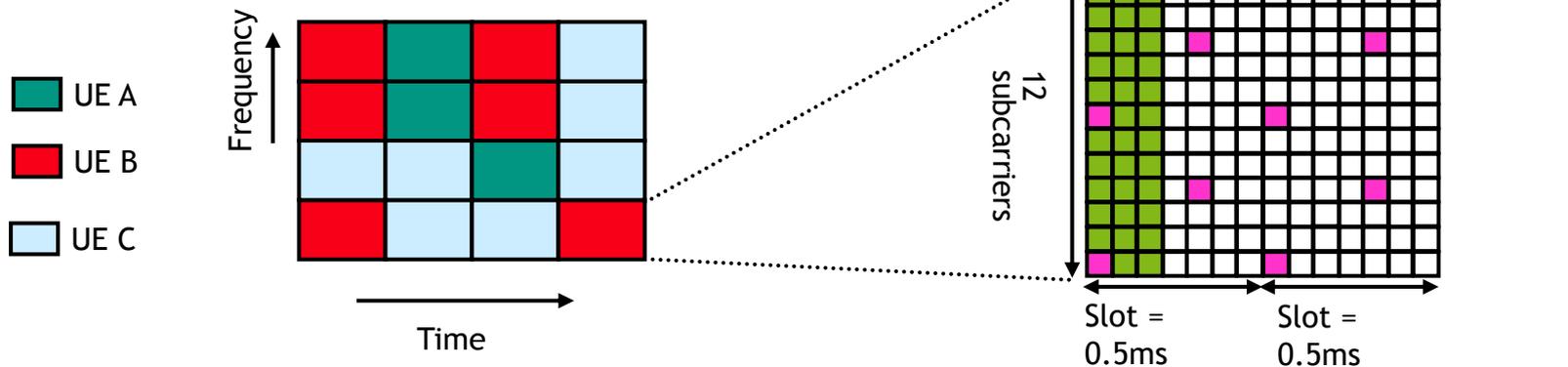
- Gesamtanzahl von verfügbaren RBs hängt von Bandbreite ab

Bandwidth (MHz)	1.4	3.0	5.0	10.0	15.0	20.0
Anzahl verfügbarer Resource Blocks	6	15	25	50	75	100

LTE Scheduling (2)

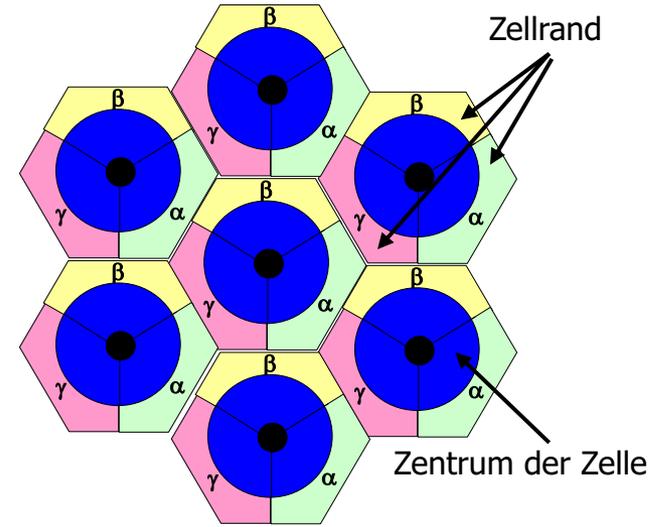
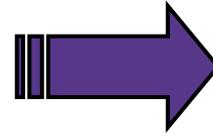
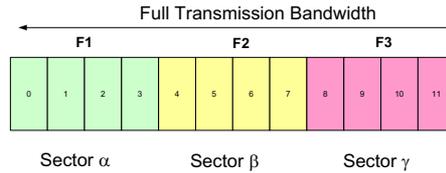
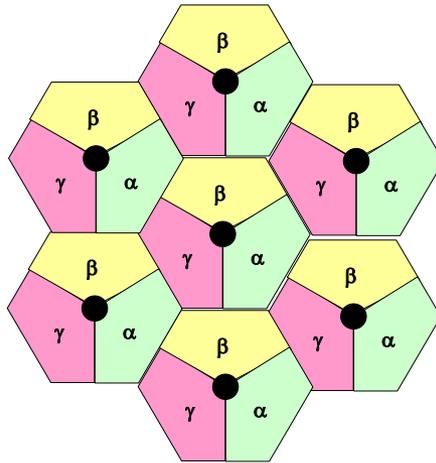
- LTE verwendet geteilten, geteilten Kanal für UL (UL-SCH) und DL (DL-SCH)
- Normalerweise keine autonome Übertragung, alle Übertragungen sind explizit zugewiesen

Downlink Scheduling



- LTE erlaubt „halb-persistente“ (periodische) Belegung von Ressourcen, z.B. für VoIP

Interferenz-Koordination und Frequenz-Wiederverwendung



- Scheduler kann beschränken, in welchen Sektoren welche Ressource Blocks verwendet werden können
- Reduzierte Inter-Zell-Interferenz führt zu verbesserter S/N-Rate, besonders am Zellrand
- Reduktion von verfügbarer Übertragungsbandbreite führt aber zu schlechter Spektraleffizienz

- Benutzer am Zellrand
 - eNodeB überträgt mit mehr Leistung
 - Verbesserte S/N-Rate
- Benutzer im Zellkern können volles Frequenzband nutzen
 - eNodeB überträgt mit weniger Leistung
 - Weniger Interferenzen mit anderen Zellen
- **Flexible Frequenz-Wiederverwendung erreicht durch intelligentes Scheduling und Leistungsanpassung**

Zusammenfassung

■ Ziele von LTE

- Hohe Datenraten
- Erhöhte spektrale Effizienz und skalierbare Bandbreiten
- Niedrige Latzen
- Vereinfachte Netzarchitektur

■ Merkmale

- OFDM / SC-FDM an der Luftschnittstelle
 - Keine Intra-Zellen- und Inter-Symbol-Interferenzen
- Scheduling-Einheit ist Resource Block
- Hohe Wiederverwendung von Frequenzen
 - Wiederverwendung = 1 im Zellinneren
- Einfache Konfiguration des Mobilitätsmanagements

Übungen

- 9.1 Was sind die Ziele von LTE?
- 9.2 Wie wird OFDM in LTE verwendet?
- 9.3 Wozu dient das Cyclic Prefix?
- 9.4 Vergleichen Sie OFDM und CDMA!
- 9.5 Wie wird Intra-Zell-Interferenz in OFDM vermieden?
- 9.6 Beschreiben sie die Struktur eines Resource Blocks!
- 9.7 Wodurch wird das Mobilitätsmanagement in LTE vereinfacht?
- 9.8 Wie können Frequenzen in LTE wiederverwendet werden?

Referenzen und weiterführende Literatur

- [9.1] H. Kaaranen, A. Ahtiainen, et. al., UMTS Networks – Architecture, Mobility and Services, Wiley Verlag, 2001
- [9.2] B. Walke, Mobilfunknetze und ihre Protokolle, 3. Auflage, Teubner Verlag, 2001
- Viele Details; teilweise als Grundlage zur Folienerstellung herangezogen
- [9.3] J. Eberspächer, et. al., GSM Global System for Mobile Communication, 3. Auflage, Teubner Verlag, 2001
- Gute und verständliche Darstellung von GSM
- [9.4] Pierre Lescuyer, UMTS – Grundlagen, Architektur und Standard, dpunkt.verlag, 2002
- Recht detaillierte Darstellung von UMTS
- [9.5] M. Sauer; Mobile Kommunikationssysteme; Vieweg 2004
- Gut lesbarer Überblick über GSM, GPRS und UMTS
- [9.6] J. Schiller; Mobilkommunikation; Addison-Wesley, 2003
- Recht kompakte Darstellung von GSM – gut für den Überblick – gut lesbar
- [9.7] www.gsmworld.com
- [9.8] www.nobbi.com

Referenzen und weiterführende Literatur (2)

- [9.9] www.rschlichte.de
- [9.10] <http://www.extraintainment.com>
- [9.11] <http://www.logicacmg.com/pdf/telecom/Mmsguide.pdf>
- [9.12] <http://www.3gpp.org>
- [9.13] <http://umtslink.at/cgi/bin/reframer.cgi?../UMTS/zellatmung.htm>
- [9.14] <http://de.wikipedia.org>
- [9.15] <http://www.bitcom.org>
- [9.16] <http://www.elektronik-kompodium.de>
- [9.17] H. Holma, A. Toskala (Eds.), HSDPA/HSUPA For UMTS – High Speed Radio Access for Mobile Communications, Wiley Verlag, 2006
- [9.18] H. Holma, A. Toskala (Eds.), WCDMA For UMTS – HSPA Evolution and LTE, Wiley Verlag, 4. Auflage 2007
- [9.19] D. Astély et al., LTE the Evolution of Mobile Broadband, IEEE Communications Magazine, April 2009
- [9.20] <http://www.dailywireless.org/2009/08/21/4-billion-gsm-users-sept-2009/>
- [9.21] <http://www.t-mobile.de>
- [9.22] <http://www.vodafone.de>