

Kapitel 8 – UMTS und HSPA

(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

UMTS

- ... 3. Generation der Mobilfunknetze
 - GSM gehört zur 2. Generation

- Ziel: Weiterentwicklung von GSM
 - Höhere Datenraten
 - Erweitertes Dienstekonzept
 - Globales Roaming
 - Auch zwischen verschiedenen Betreibern
 - Handover zwischen GSM und UMTS (später auch WLAN)

- Anforderungen hinsichtlich der **Datenrate**
 - mindestens 144 kbit/s im ländlichen Raum (Ziel: 384 kbit/s)
 - mindestens 384 kbit/s in den Vorstädten (Ziel: 512 kbit/s)
 - bis zu 2 Mbit/s für geringe Distanzen im Innern eines geschlossenen Gebäudes

- ... hohe Anforderungen an Luftschnittstelle
 - **UTRAN** (UMTS Terrestrial Radio Access Network)
 - Neues drahtloses Zugangsnetz



... wer bekommt welche Frequenzen?

STAND DER LIZENZVERGABE

Versteigerung UMTS/IMT-2000-Lizenzen

Runde 173 Datum 17.08.00 Uhrzeit 15:51:26

Höchstgebote für Frequenzblöcke (mind. 2 Blöcke erforderlich für Lizenz)

Bieter	Anzahl der Frequenzblöcke			Lizenzgebot (TDM) (€ in Tsd)
	1	2	3	
E-Plus Hutchison	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		16.418.200 / 8.394.492
Group 3G	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		16.446.000 / 8.408.706
Mannesmann Mobilfunk	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		16.473.800 / 8.422.920
MobilCom Multimedia	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		16.370.000 / 8.369.848
T-Mobil	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		16.582.200 / 8.478.344
VIAG Interkom	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		16.517.000 / 8.445.008
debitel Multimedia ausgeschieden				
Lizenzsumme				98.807.200 / 50.519.319

RUNDENERGEBNIS

Versteigerung UMTS/IMT-2000-Frequenzen

Runde: 9

Lfd. Nr.	Umfang	Höchstbieter	Höchstgebot (TDM)	Höchstgebot* (€ in Tsd)
13	1 x 5 MHz konkret	E-Plus Hutchison	73.600	37.631
14	1 x 5 MHz	MobilCom Multimedia	121.000	61.866
15	1 x 5 MHz	T-Mobil	122.700	62.736
16	1 x 5 MHz	Mannesmann Mobilfunk	121.000	61.866
17	1 x 5 MHz	Group 3G	122.700	62.736
Summe Höchstgebote			561.000	286.835

* Eurowerte gerundet

VIAG Interkom ausgeschieden

UTRA-FDD

- Uplink 1920-1980 MHz
- Downlink 2110-2170 MHz
- Duplexabstand 190 MHz
- 12 Kanäle zu je 5 MHz

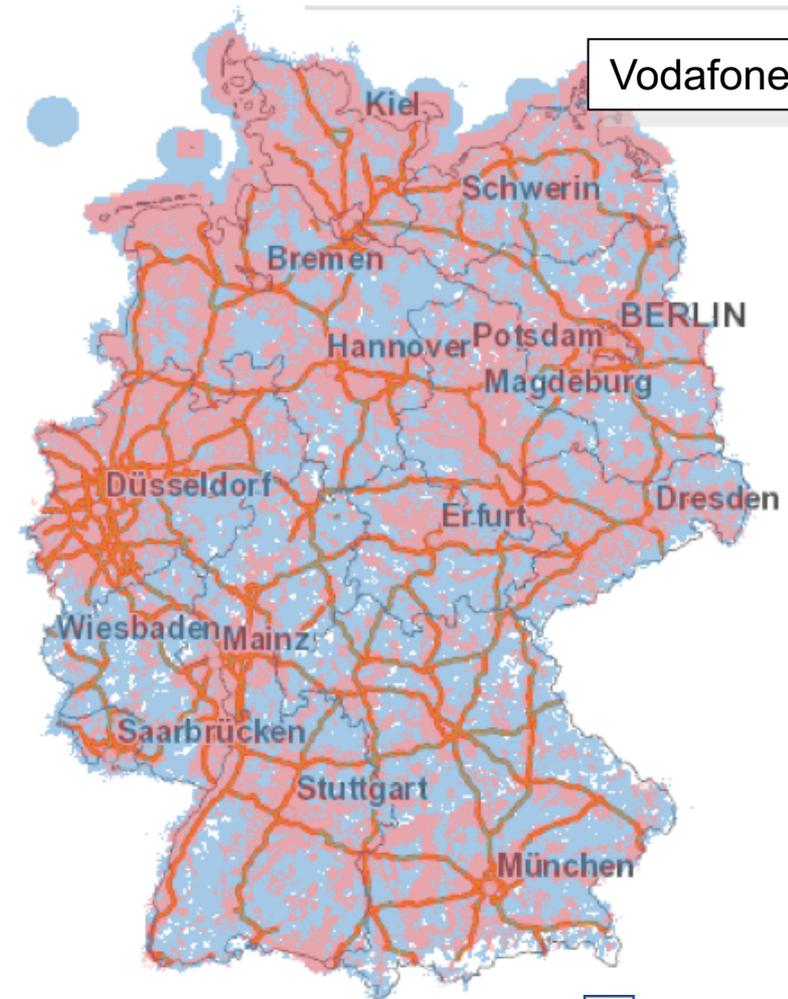
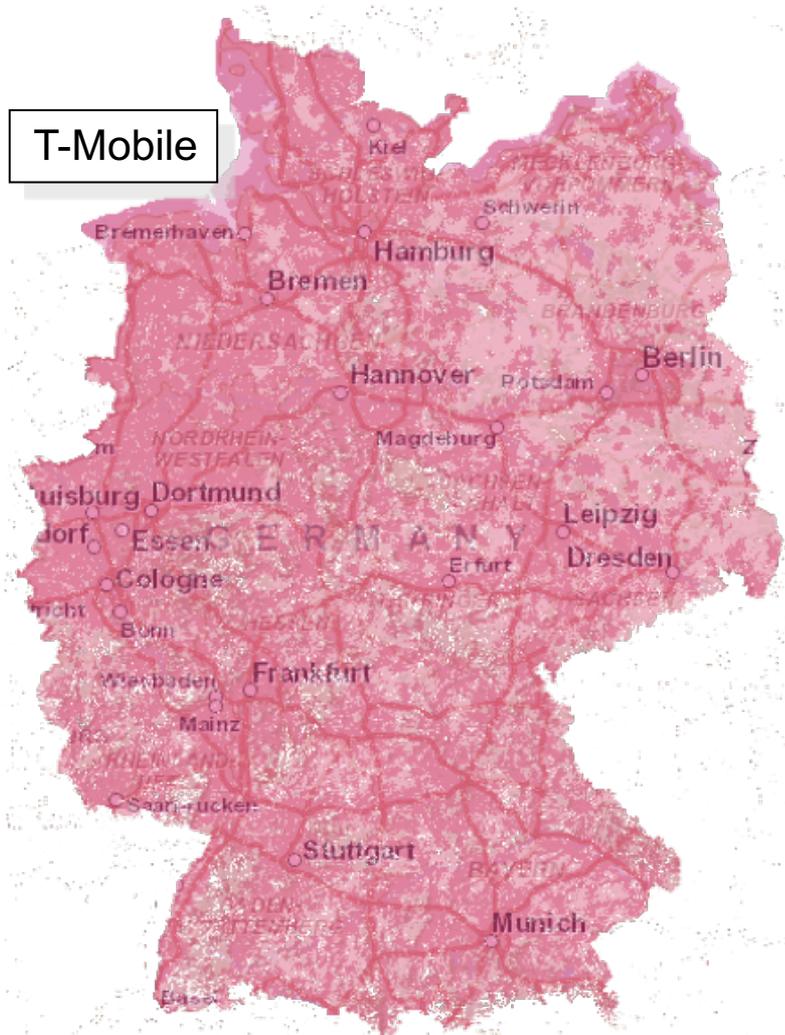
UTRA-TDD

- 1900-1920 MHz,
- 2010-2025 MHz;
- je 5 MHz Kanäle

Abdeckung: 25% in der Bevölkerung bis 12/2003, 50% bis 12/2005

Summe: **99,3682 Mrd. DM**

Flächendeckung von 3G (Deutschland)



Stand: Juli 2013 nach Angaben der Betreiber



[8.20, 8.21]



Von GSM zu UMTS

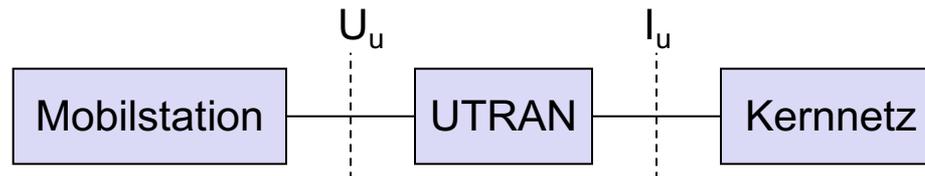
■ Wichtige Neuerungen

- UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)
- CDMA auf Luftschnittstelle
 - Bezeichnet als Wideband CDMA (W-CDMA)
 - Zellatmung
 - Größe einer Zelle passt sich automatisch an
- Erweiterte Mobilitätsunterstützung
 - Makrodiversität
 - Soft-/Softer Handover



UMTS Architektur

- Mobilstationen (**User Equipment - UE**)
 - Entspricht den Mobilstationen in GSM
- UTRAN (**UMTS Terrestrial Radio Access Network**)
 - Entspricht dem Funkteilsystem in GSM
 - Kapselung der funkspezifischen Abläufe
 - Wichtiger Unterschied zu GSM
 - Mobilität auf Zellenebene
- Kernnetz (**Core Network - CN**)
 - Handover zu anderen Mobilfunknetzen
 - Mobilitätsmanagement falls keine dedizierte Verbindung zwischen Mobilstation und UTRAN besteht
 - Verbindung verschiedener Netze (GSM, ISDN, Internet ...)



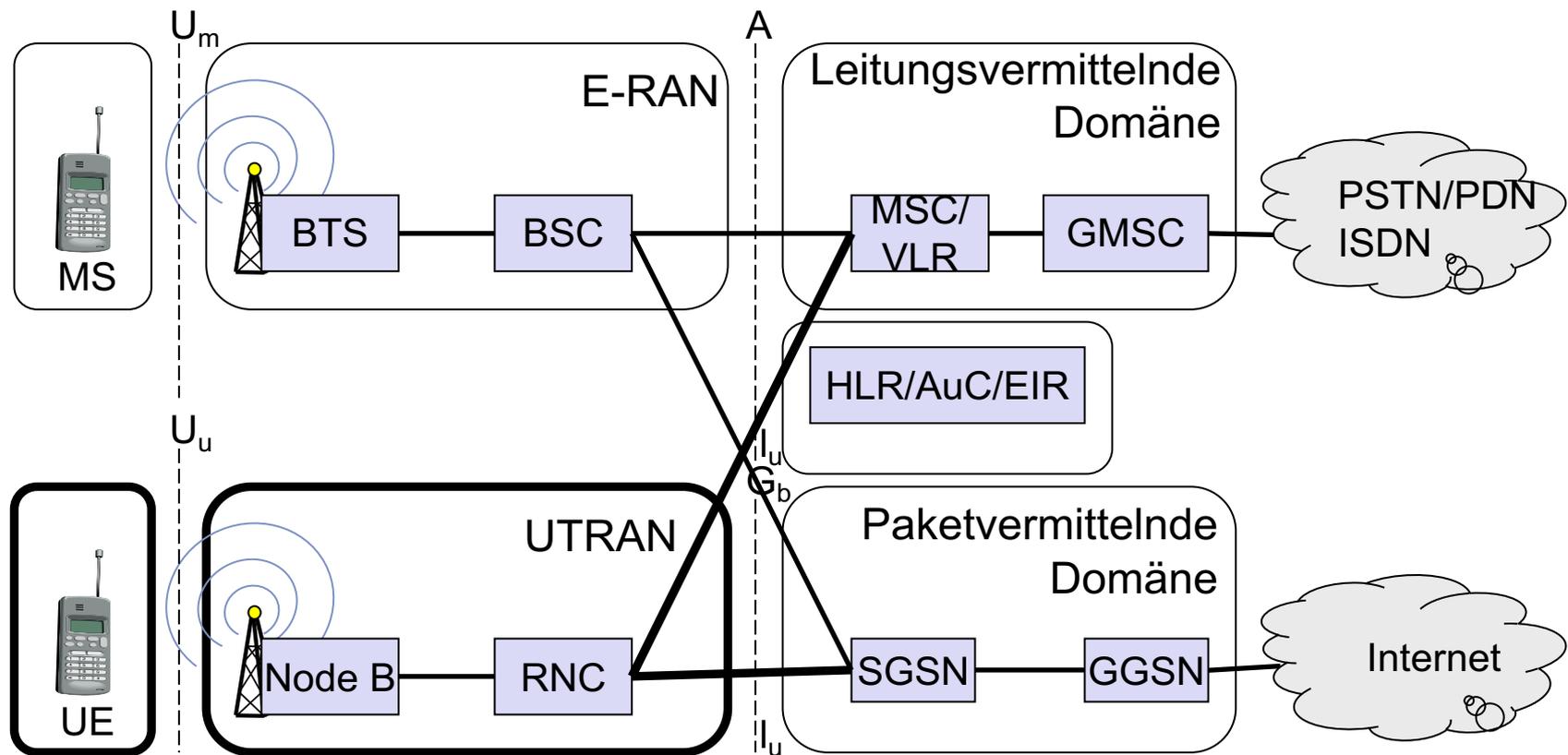


... verschiedene Phasen der Einführung

- Einführung von UMTS in verschiedenen Phasen, z.B.
 - Release 99
 - Weiternutzung von GSM-Infrastruktur im Kernnetz
 - GPRS und EDGE
 - Zwei „getrennte“ Infrastrukturen für Leitungsvermittlung und Paketvermittlung
 - UTRAN kommt hinzu
 - Release 6
 - „All-IP“
 - Ein Paketvermitteltes Kernnetz
 - IMS: IP-based Multimedia Subsystem
 - GERAN (GSM/EDGE RAN)
- ... mehr Informationen in  [8.12, 8.1]
 - ... Release zunächst durch Jahreszahl identifiziert (99), dann durch laufende Nummer (4, 5, 6, ...)

Release 99

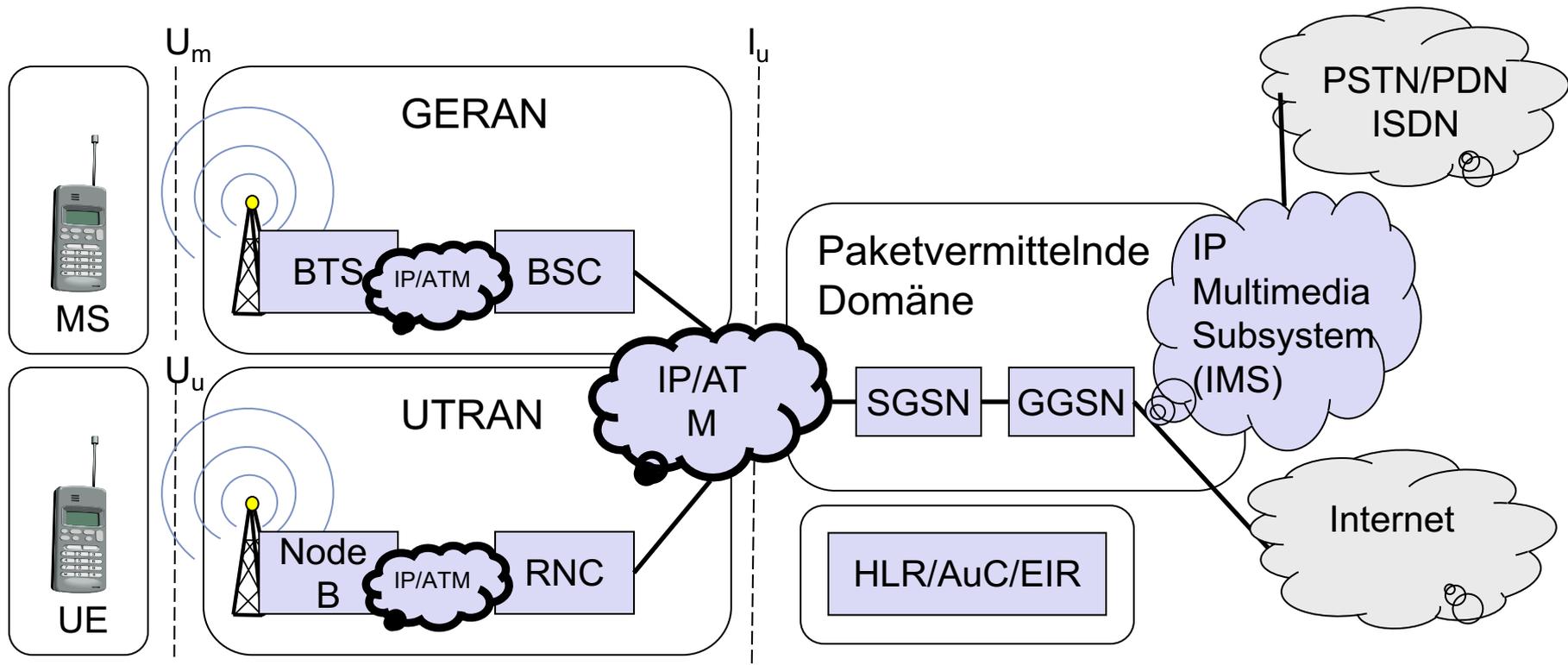
- Neues Zugangsnetz (UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Network)
 - W-CDMA (Wideband CDMA)
 - Kein Zeit- und Frequenzmultiplex
 - Individuelle Codes pro Benutzer





Release 6

- ... über Release 4 und 5 hin zu einem „All-IP Netz“
 - IP-basierte Übertragung (Ende-zu-Ende)
- Erneuerungen an der Funkschnittstelle
 - HSDPA (High-speed Downlink Packet Access)
 - MIMO (Multiple Input Multiple Output)





■ Neues Zugangsnetz für UMTS

■ Komponenten

■ Node B

- Entspricht Basisstation (BTS) von GSM
- Physische Kommunikation mit der Mobilstation
- Kann eine oder mehrere Zellen umfassen

■ RNC (Radio Network Controller)

- Entspricht Feststationssteuerung (BSC) von GSM
- Funktionsweise unterscheidet sich stark von BSC
 - Relocation, **Makrodiversität** ...
- Verantwortlich für Handover-Entscheidungen

■ Einführung einer neuen Schnittstelle

- I_{ur} -Schnittstelle zwischen RNCs



UTRAN Architektur

■ Funknetzteilssystem

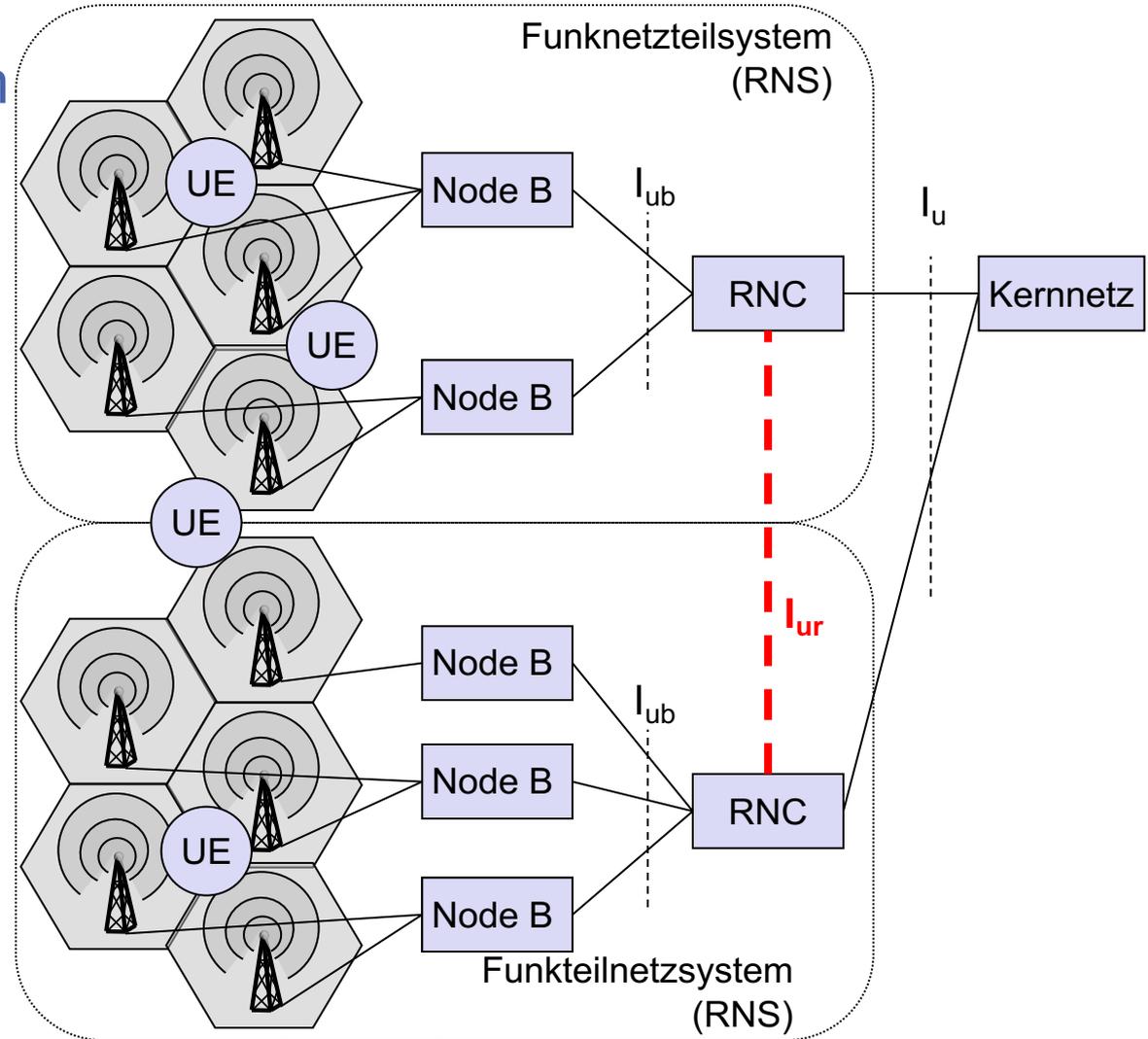
- Radio Network Subsystem - RNS
- UTRAN besteht aus mehreren Funkteilssystemen

■ Node B

- kann FDD, TDD oder beides unterstützen

■ Zelle

- bietet FDD oder TDD





Mobilitätsunterstützung: SRNC und DRNC

■ Mobilstation mit aktiver Verbindung

- Logische Beziehung zwischen Mobilstation und einem RNC wird bei Verbindungsaufbau hergestellt
 - Serving RNC (SRNC)
- Beziehung bleibt **auch bei Mobilität** erhalten
 - ... bis zum Verbindungsabbau
 - Bei erneutem Verbindungsaufbau kann anderer RNC zum Serving RNC werden

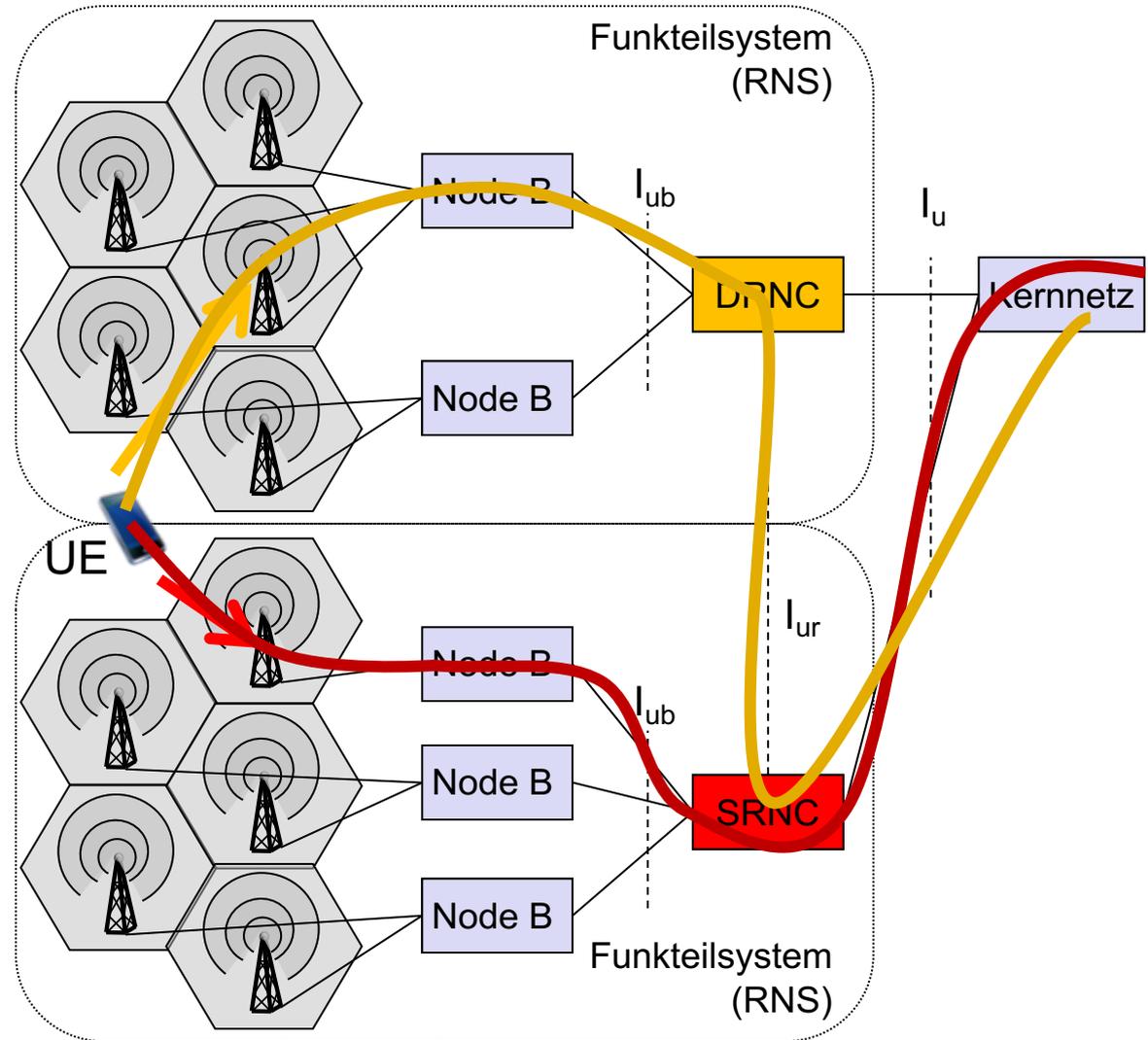
■ Problem

- Mobilstation kann sich bewegen und Zuständigkeitsbereich des SRNC verlassen
- **Drift-RNC (DRNC)**
 - RNC, der für eine entfernte Zelle zuständig ist
 - Physikalische Verbindung zum DRNC
 - Daten werden über SRNC und DRNC an Mobilstation weitergeleitet
 - DRNC leitet Daten über I_{ur} Schnittstelle zum SRNC
 - Logische Verbindung zum SRNC bleibt erhalten
 - SRNC kann verlagert werden



Mobilitätsunterstützung: SRNC und DRNC

- Jeder RNC verantwortlich für seine Menge von Zellen
- Für eine Verbindung zw. UE und UTRAN genau ein **SRNC**
- **DRNC** unterstützen SRNC mit Funkressourcen
- Unterstützung durch NodeB für
 - Handover
 - Makrodiversität



Mobilitätsunterstützung: Handover

■ Mehrere Handoververfahren

■ Hard Handover

- Verbindung zu altem Node B wird abgebaut bevor neue aufgebaut wird

■ Soft Handover

- Verbindung zu altem NodeB wird abgebaut nachdem neue aufgebaut wird

■ Softer Handover

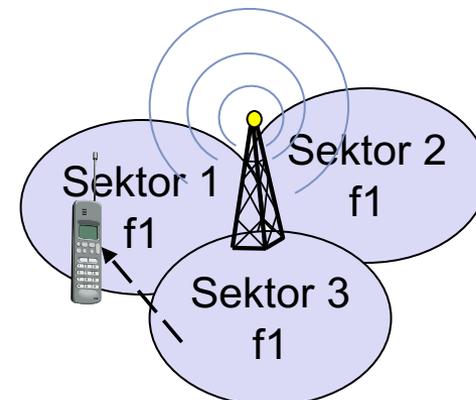
- Verbindung über mehrere Sektorantennen eines Node B

■ Soft-Softer Handover

- Soft und softer Handover gleichzeitig

■ Unterstützte Handover in UMTS

- Intra NodeB / Inter-cell (softer Handover)
- Inter NodeB (hard & soft Handover)
 - Inter-frequency, Intra-frequency
- Inter RNC (hard, soft & soft-softer)
- Inter MSC
- Inter SGSN
- Inter System (GSM->UMTS)



Inter-cell Handover

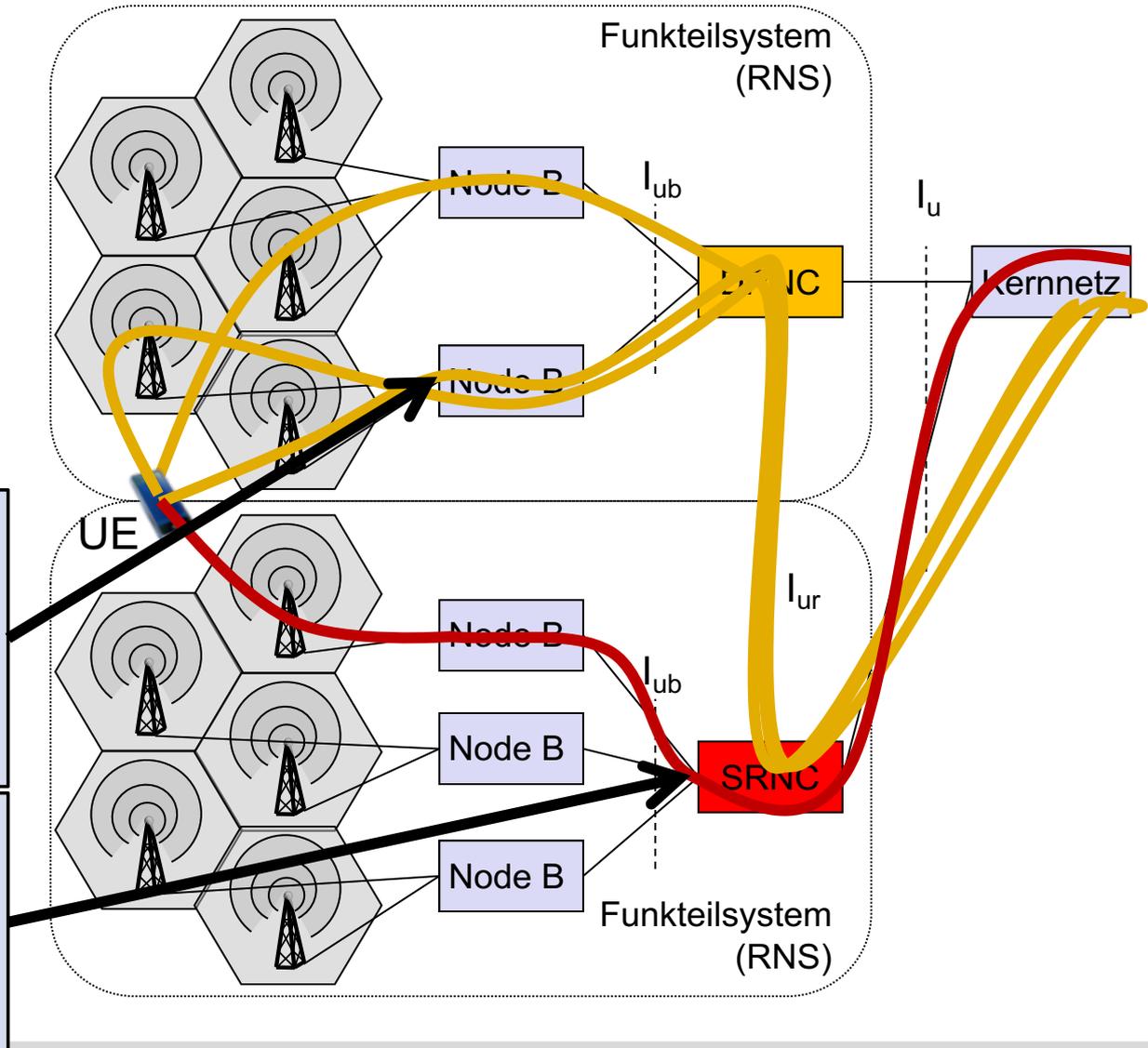


Makrodiversität durch Soft-/Softer-Handover

Handover-Zustand ist nicht transient, sondern stabil

- Parallele Kommunikation über mehrere Sektorantennen
- Dadurch höhere Datenraten

Erfordert Re-Kombination mehrerer Datenströme im Uplink



Softer Handover:
Kombinieren maximaler Raten (**Maximum Ratio Combining**) mit Hilfe von Rake Receiver (s.u.) im Node B

Soft Handover:
Auswahl von Funkrahmen (**Radio Frame Selection**) mit korrekter Prüfsumme im SRNC



Luftschnittstelle (U_u)

■ Physikalische Schicht

■ Mehrfachzugriff

■ CDMA

■ Duplexverfahren

■ Frequenzduplex (FDD)

- Mehrfachzugriff durch Kombination aus FDMA und CDMA

■ Zeitduplex (TDD)

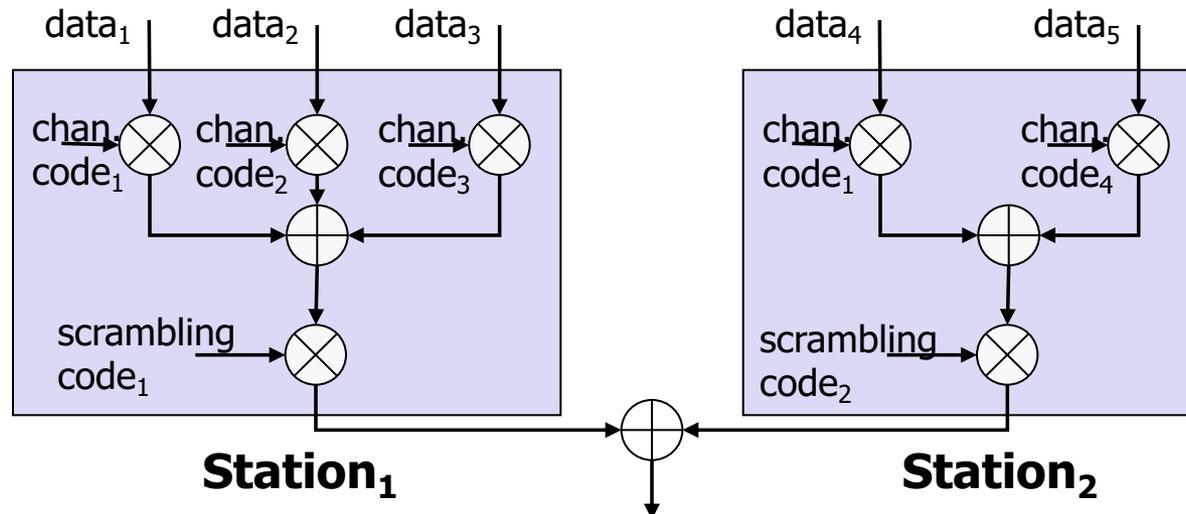
- Mehrfachzugriff durch Kombination aus TDMA und CDMA

■ FDD stand bei Entwicklung von UMTS im Vordergrund

- TDD im folgenden nicht weiter betrachtet

CDMA in UMTS

- Konstante Chip-Rate von 3.84 Mchips/s (FDD)
- Kanal-spezifische Codes (**Channelization Codes**)
 - Trennung von **physikalischen Kanälen**
 - Variable Datenrate durch unterschiedliche Spreizfaktoren (OVSF-Codes, s. Kapitel 2)
 - Orthogonal
 - Für gleichen physikalischen Kanal identisch für alle Stationen
- Stations-spezifische Codes (**Scrambling Codes**)
 - Trennung von verschiedenen Stationen (UL) oder Zellen (DL)
 - Quasi-orthogonal



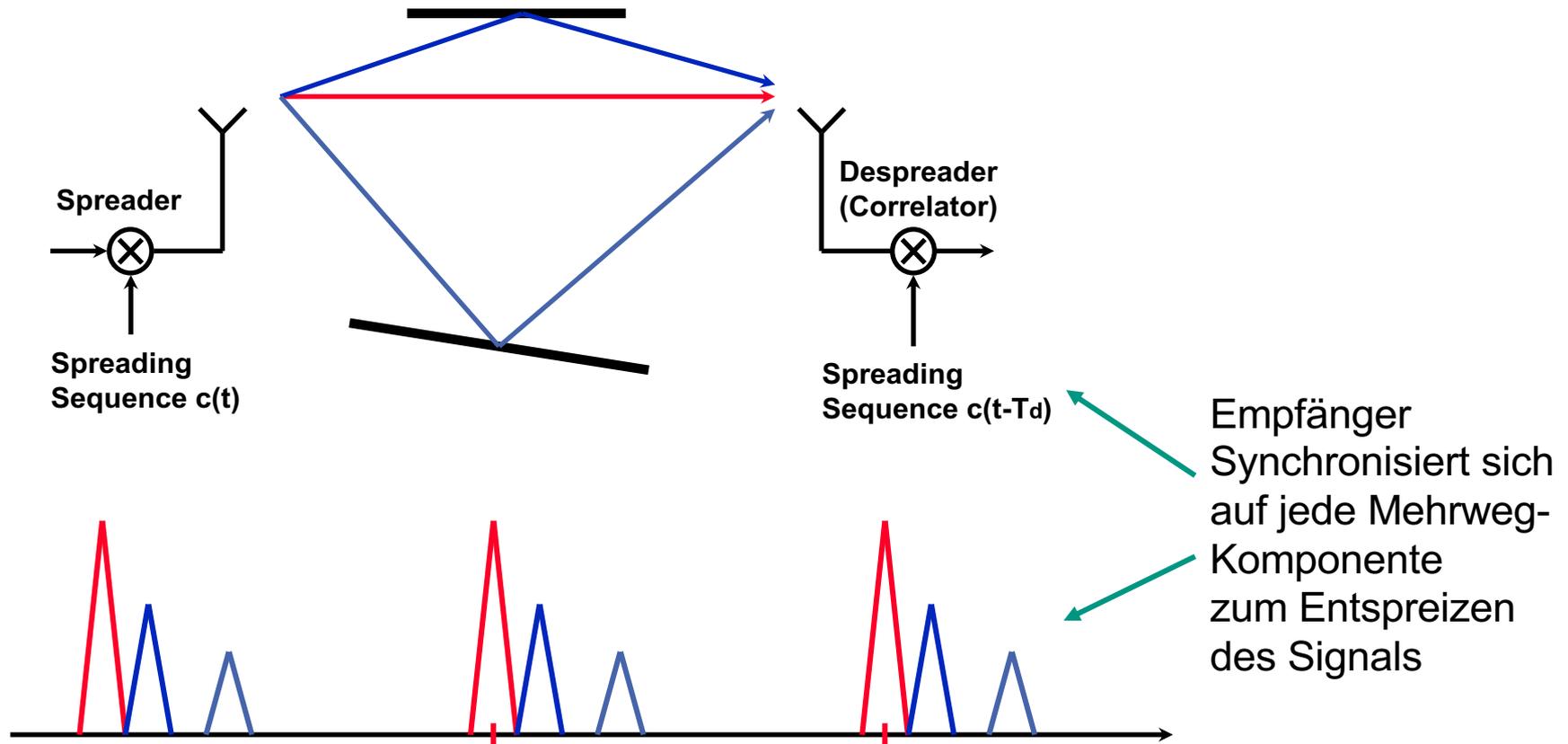
Verwendung der Codes

	Channelization Code	Scrambling Code
Verwendung	UL: Trennung der Daten- und Kontrollkanäle einer Station DL: Trennung der Daten für verschiedene Stationen in einer Zelle	UL: Trennung von Terminals DL: Trennung von Zellen / Sektoren
Länge	4 – 256 chips (1.0 – 66.7 μ s)	UL+DL: 10ms = 38400 chips
Anzahl der Codes	Entspricht dem Spreizfaktor	UL: Mehrere Millionen DL: 256
Code-Familie	Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF)	„Gold Code“



Mikrodiversität: Mehrwegausbreitung

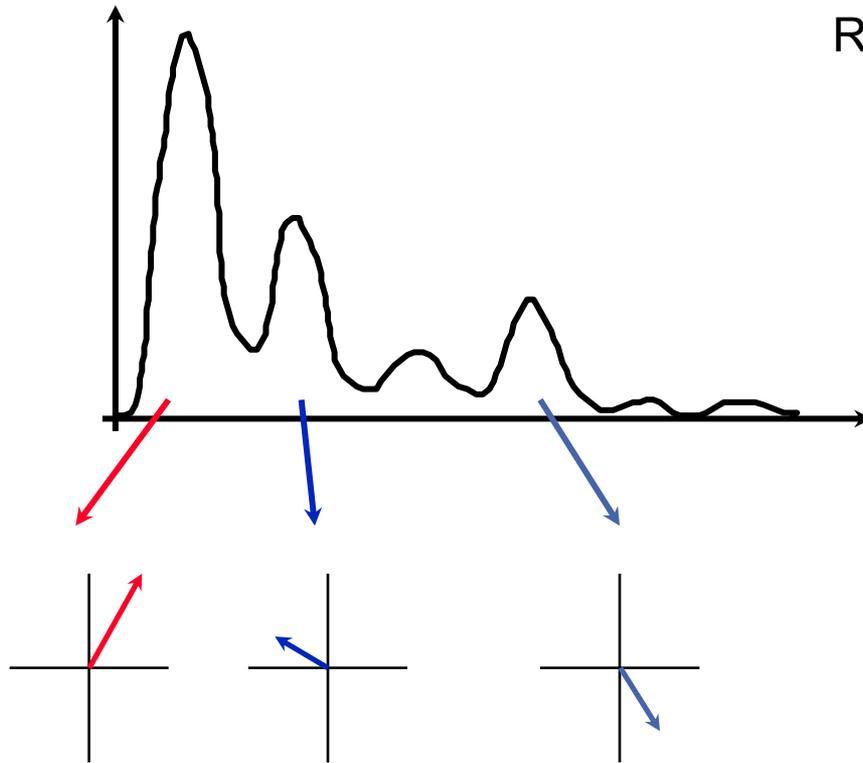
- Vorteil CDMA: Laufzeitdifferenzen bei Mehrwegeausbreitung lassen sich durch Vergleich mit Chipping-Sequenz erkennen





RAKE Receiver

- Korreliert und bestimmt jede Mehrweg-Komponente einzeln



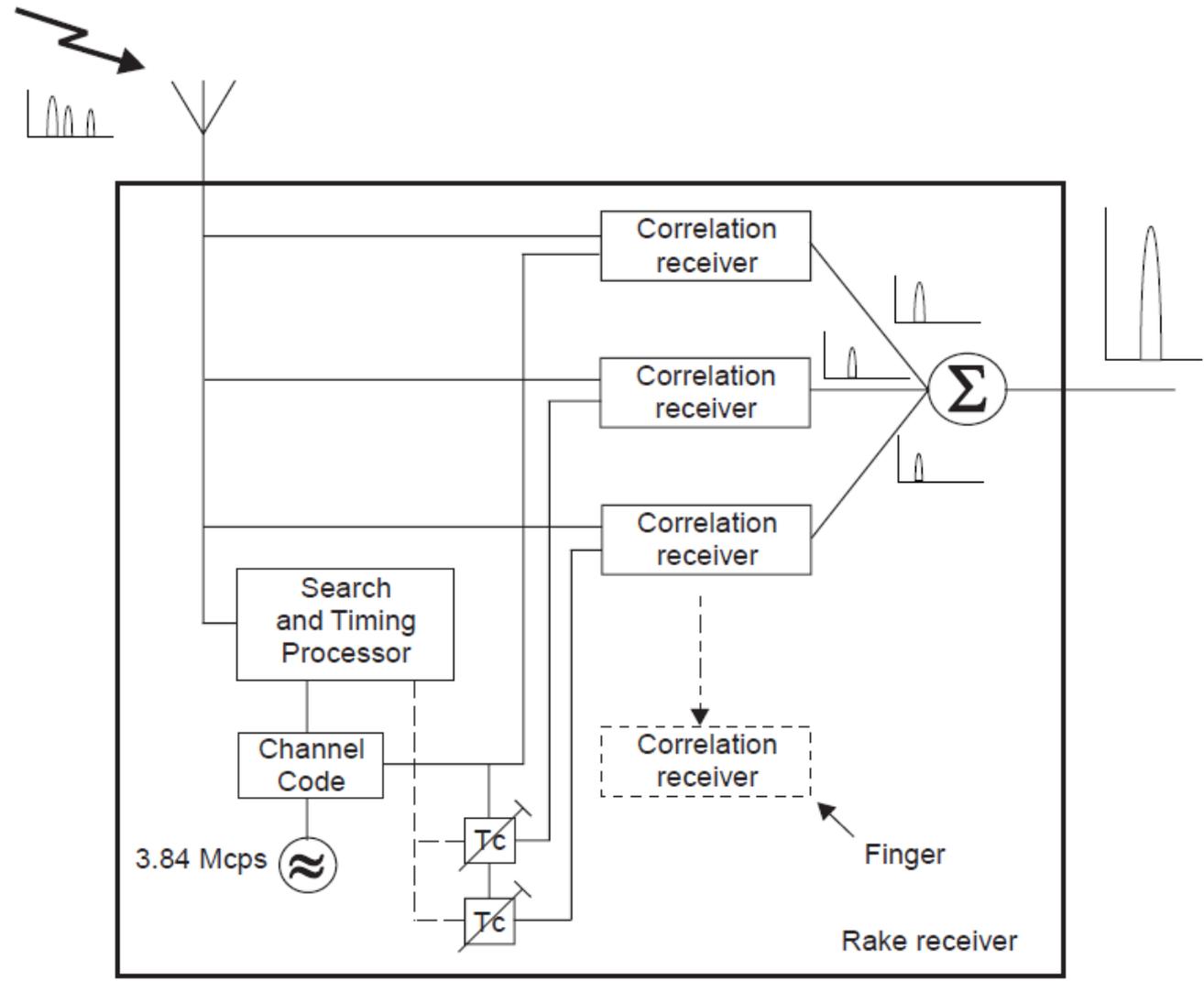
Optimal coherent combining

RAKE Receiver mit K **Zeigern** (**Finger**)

- **Tracker**: Unabhängiges Finden dominanter Mehrwegpfade
- **Searcher**: Scannen Zeitfenster zur Suche nach dominanten Mehrweg-Komponenten
- Zeitliche Auflösung bei UMTS ca. 200 ns



RAKE Receiver – Praktische Realisierung

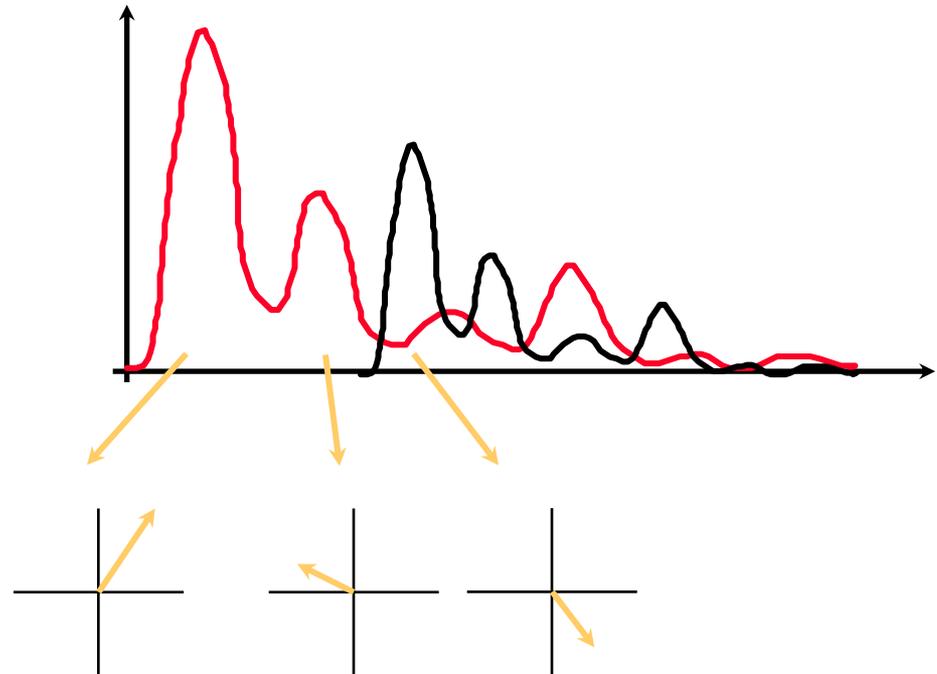
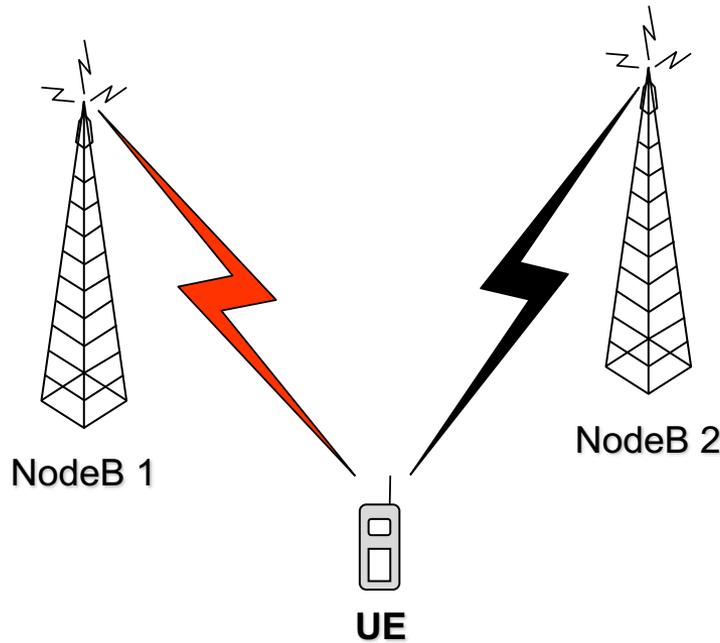




Makrodiversität und Soft Handover (DL)

... auch ermöglicht durch CDMA

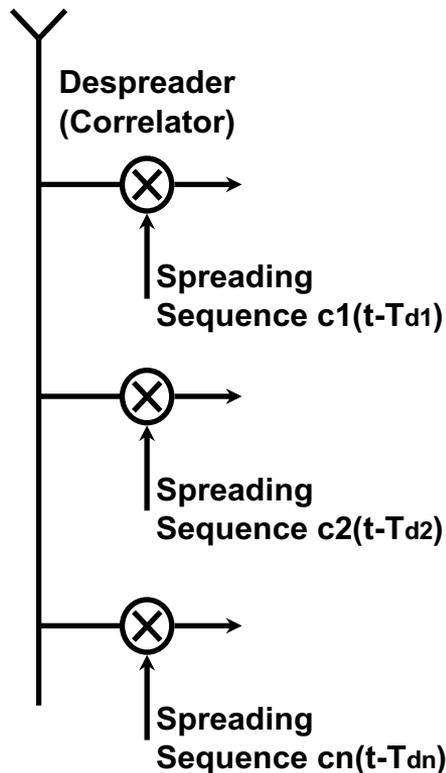
- Mehrere NodeB senden mit selben Code
- Optimale Rekombination im RAKE Receiver (in der MS)





Mehr-Benutzer CDMA (UL)

■ Konventioneller CDMA-Empfänger (NodeB)

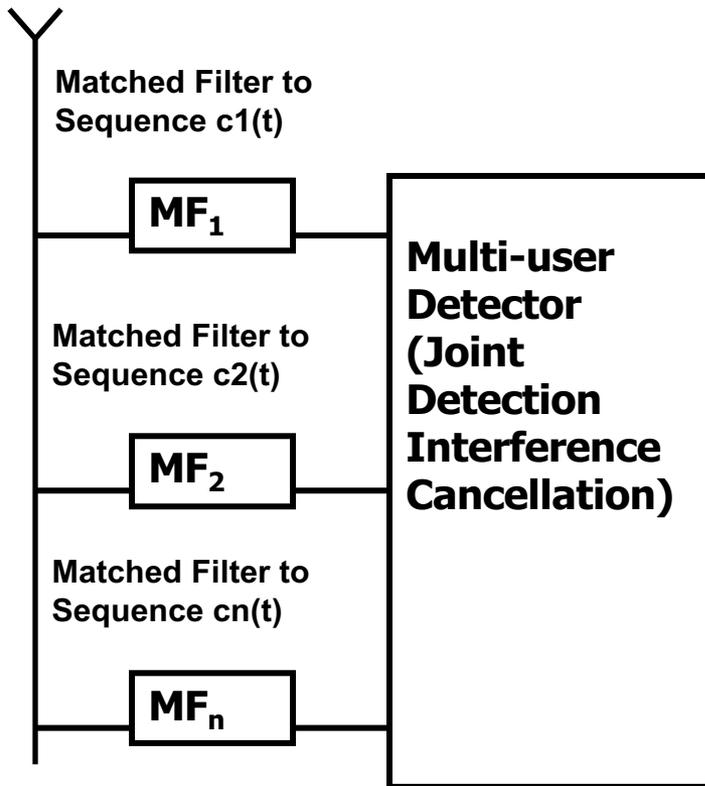


- Kohärente (Amplituden- und Phasen) RF Demodulation in der Base Station
- Separates Entspreizen und Demodulieren jedes Signals in der Base Station
- Ein RAKE Receiver mit K Zeigern pro Benutzer
- Unsynchronisierte Übertragung zwischen den Endgeräten



Interferenz-Unterdrückung (UL)

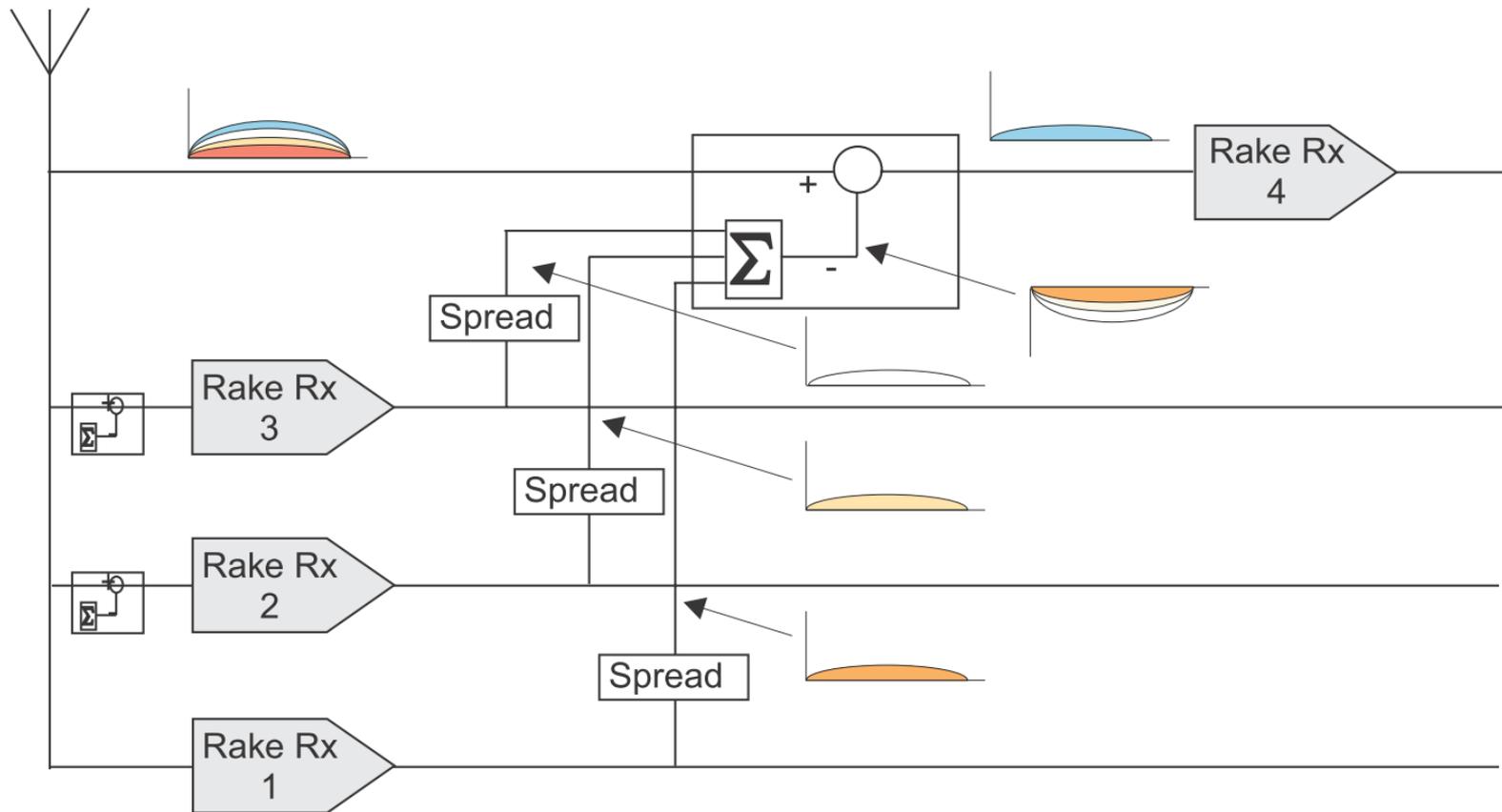
- Mehrbenutzer-Interferenz-Unterdrückung durch gemeinsame Erkennung (**Joint Detection**)



- Erkennungsmechanismus verwendet Interferenzen der Signale anderer Benutzer, da diese Signale alle im Empfänger bekannt sind (bekannte Interferenz kann dann unterdrückt werden)



Interferenz-Unterdrückung (Realisierung)



Subtraktive Interferenz-Unterdrückung



Nah-Fern-Effekt (Near-Far Effect)

■ Folge von CDMA

- Alle Mobilstationen nutzen im Uplink zum gleichen Zeitpunkt die gleiche Frequenz
 - Unterscheidung nur durch den Code möglich
- Weiter entfernte Mobilstationen müssen mit größerer Sendeleistung senden → **Nah-Fern-Effekt**
- Die am nächsten zur Basisstation lokalisierte Mobilstation kann die anderen Mobilstationen übertönen
 - Einzelne Mobilstation kann gesamte Zelle blockieren

■ Problem

- Die an der Basisstation ankommende Leistungsstärke der Signale unterschiedlicher Mobilstationen muss identisch sein
 - Kein Übertönen durch einzelne Mobilstationen



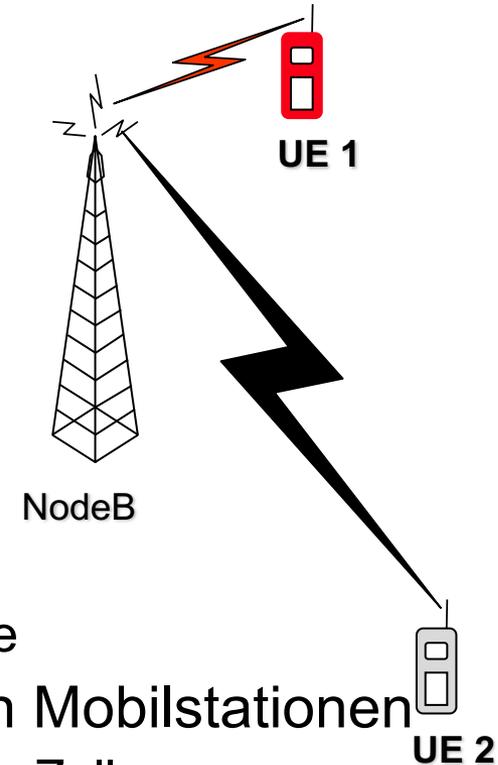
Leistungsregelung (Power Control)

■ Ziel

- Gleiche Empfangsleistung an der Basisstation für alle Mobilstationen

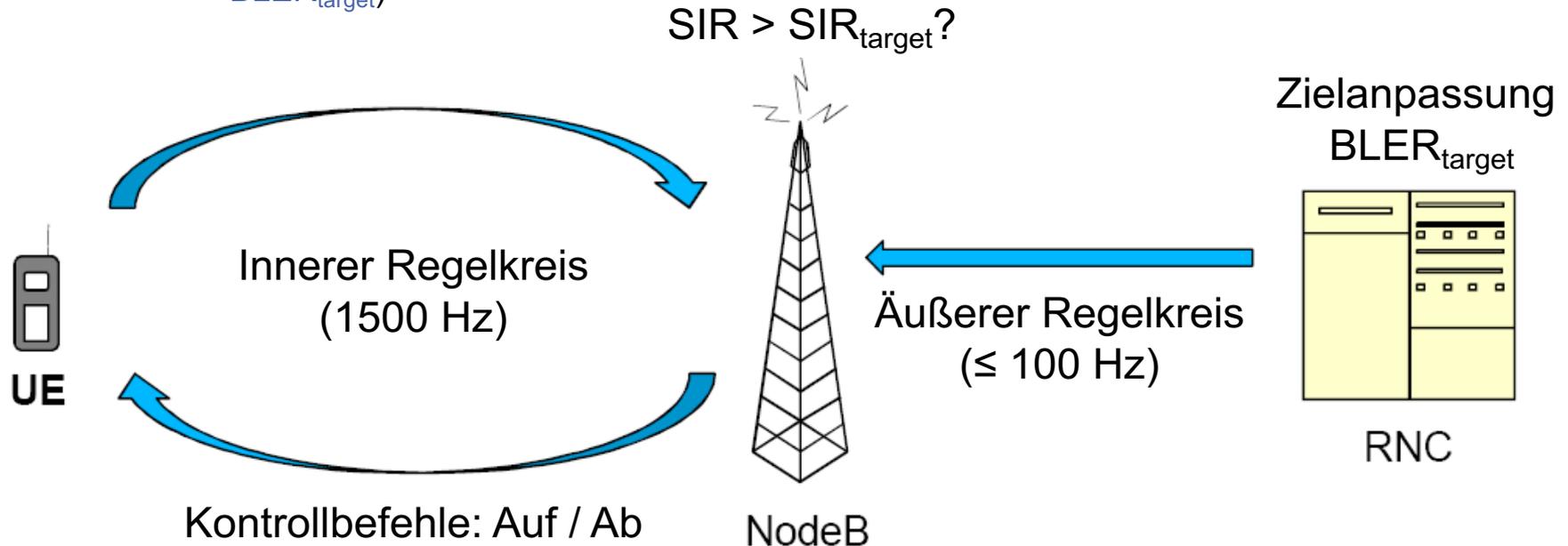
■ Leistungsregelung

- Anpassung der Sendeleistung der Mobilstationen 1500 mal pro Sekunde
 - In GSM nur ein oder zwei mal pro Sekunde
- Anpassung der Leistungsstärke bei allen Mobilstationen
 - Minimierung der Interferenz innerhalb einer Zelle
 - Offener / geschlossener Regelkreis (Open / Closed Loop)
- Berücksichtigung der angeforderten Dienstgüte



Leistungsregelung: Geschlossener Regelkreis

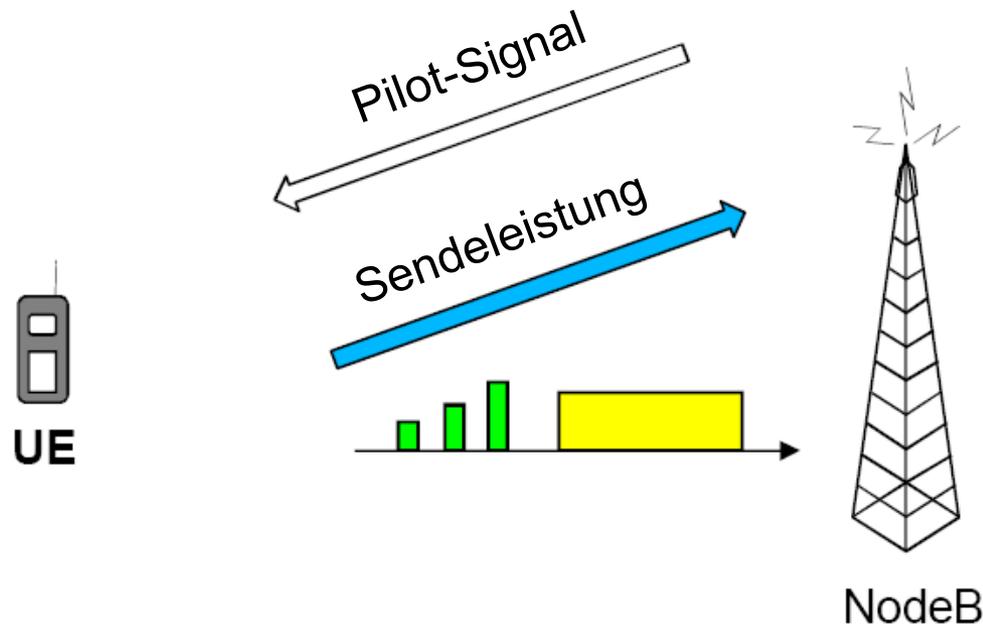
- Verwendet auf bi-direktionalen Kanälen (z.B. dedizierten Datenkanälen)
- Zwei Teile
 - Innerer Regelkreis (Inner Loop Power Control)
 - Empfänger generiert Auf-/Ab-Befehle um Leistung des Senders inkrementell zu verändern
 - Gesendeter Befehl hängt von aktueller SIR und gewünschter SIR_{target} ab
 - Äußerer Regelkreis (Outer Loop Power Control)
 - Setzt die Zielwerte SIR_{target} in Abhängigkeit von aktueller Kanalqualität
 - Anpassung abhängig von angestrebter Übertragungsfehlerrate (Block Error Ratio, $BLER_{target}$)





Leistungsregelung: Offener Regelkreis

- Verwendet auf uni-direktionalen Kanälen (z.B. RACH)
- Bestimmung der Sendeleistung basierend auf Verlustabschätzung (**Path Loss Estimate**)
 - Aus Übertragung in die umgekehrte Richtung z.B. basierend auf Pilot-Signal mit bekannter Sendeleistung
 - Vermeidung unnötiger Interferenzen durch inkrementelles Erhöhen der Sendeleistung bis Antwort erhalten wird (**Power Ramping**)





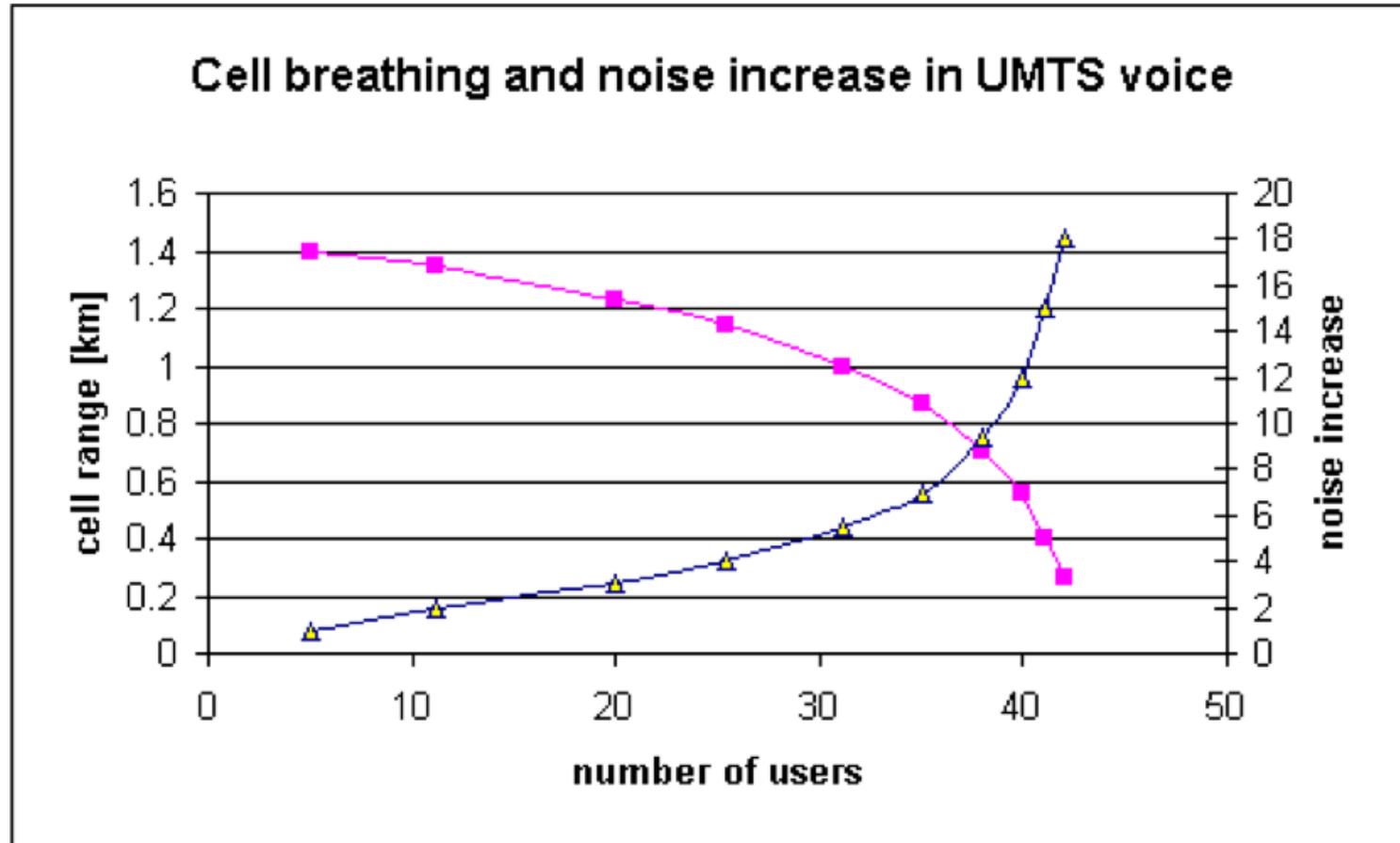
Zellatmung

Warum ist das bei GSM anders?

- Häufiges Problem in UMTS-Netzen
 - Der am weitesten entfernte Teilnehmer sendet mit maximaler Sendeleistung
 - Neuer Teilnehmer möchte hinzukommen
 - Durch neue Verbindung erhöht sich für alle die Interferenz
 - Sendeleistung muss erhöht werden
 - Teilnehmer kann Sendeleistung nicht erhöhen
 - Sendeleistungsbeschränkung auf 2 Watt
 - Kann von der Basisstation nicht mehr empfangen werden, Kommunikationsverbindung bricht ab
 - Maximale geografische Versorgungsfläche der Zelle ändert sich
 - Als **Zellatmung** bezeichnet
 - Zellatmung erschwert die Netzplanung erheblich
- Netz kontrolliert Sendeleistung und kann neuen Teilnehmer abweisen
 - Kann Interferenzniveau durch Wahl anderer Codes beeinflussen

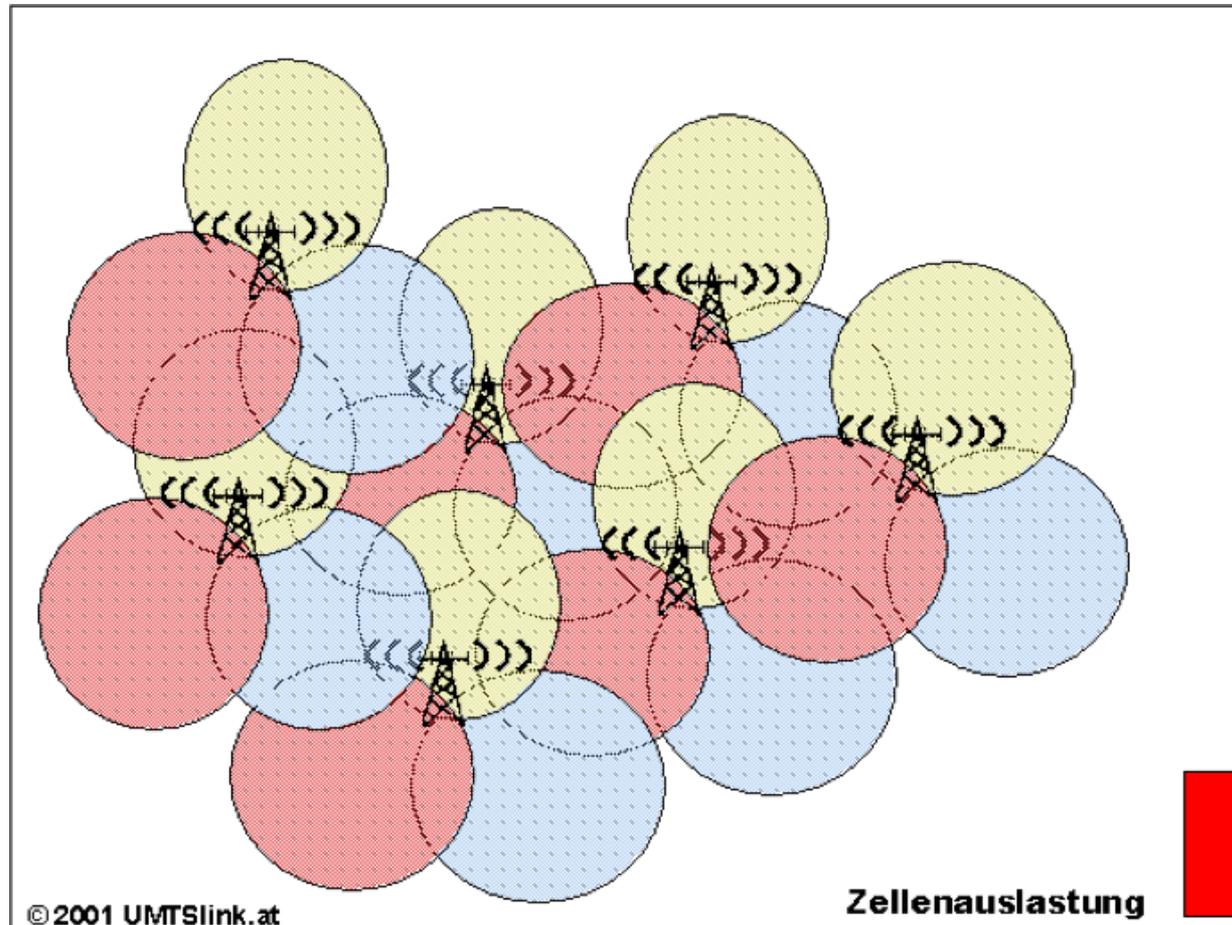


Zellatmung: Beispiel





Zellatmung: Beispiel



10.8 HSPA

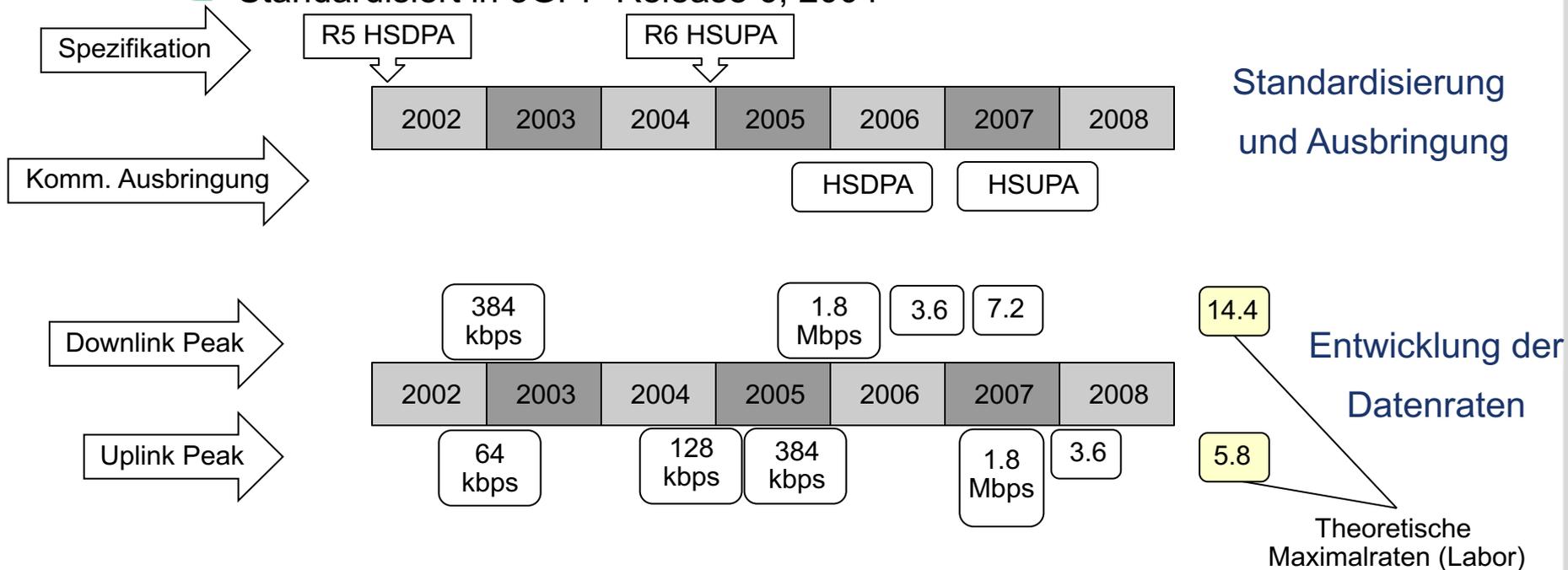
High Speed Packet Access, bestehend aus

HSDownlinkPA

- Standardisiert in 3GPP Release 5, 2002

HSUplinkPA

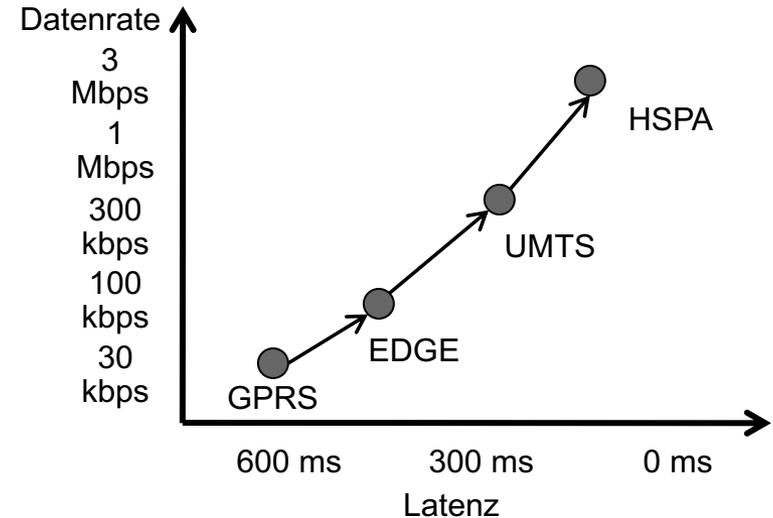
- Standardisiert in 3GPP Release 6, 2004



HSPA Vorteile

- 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

HSDPA / HSUPA: Netzabdeckung

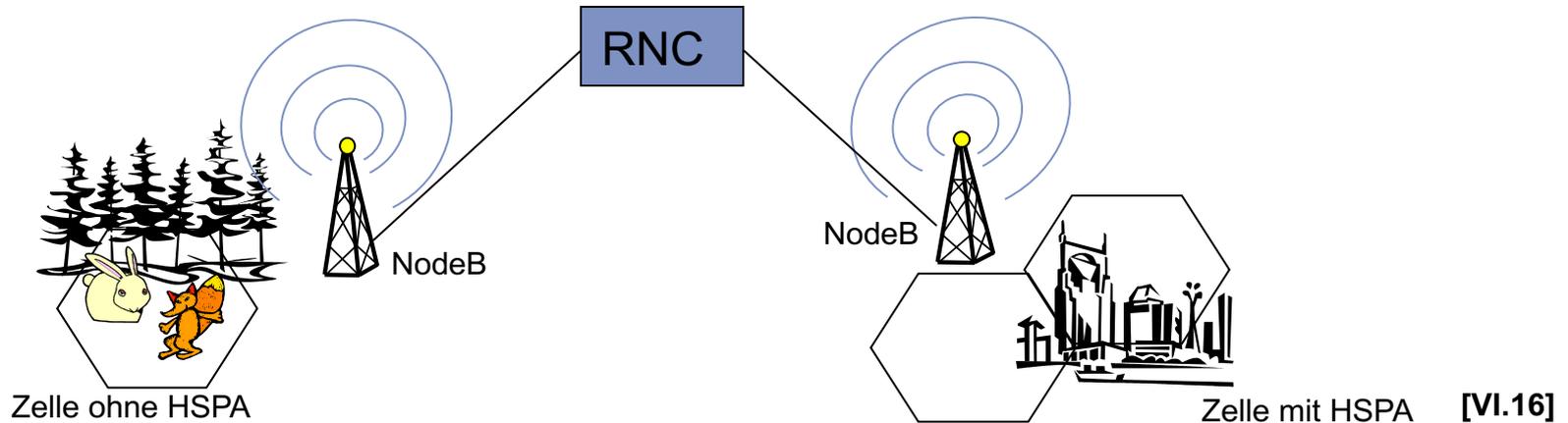
■ Beispiele Vodafone Stand Juli 2013





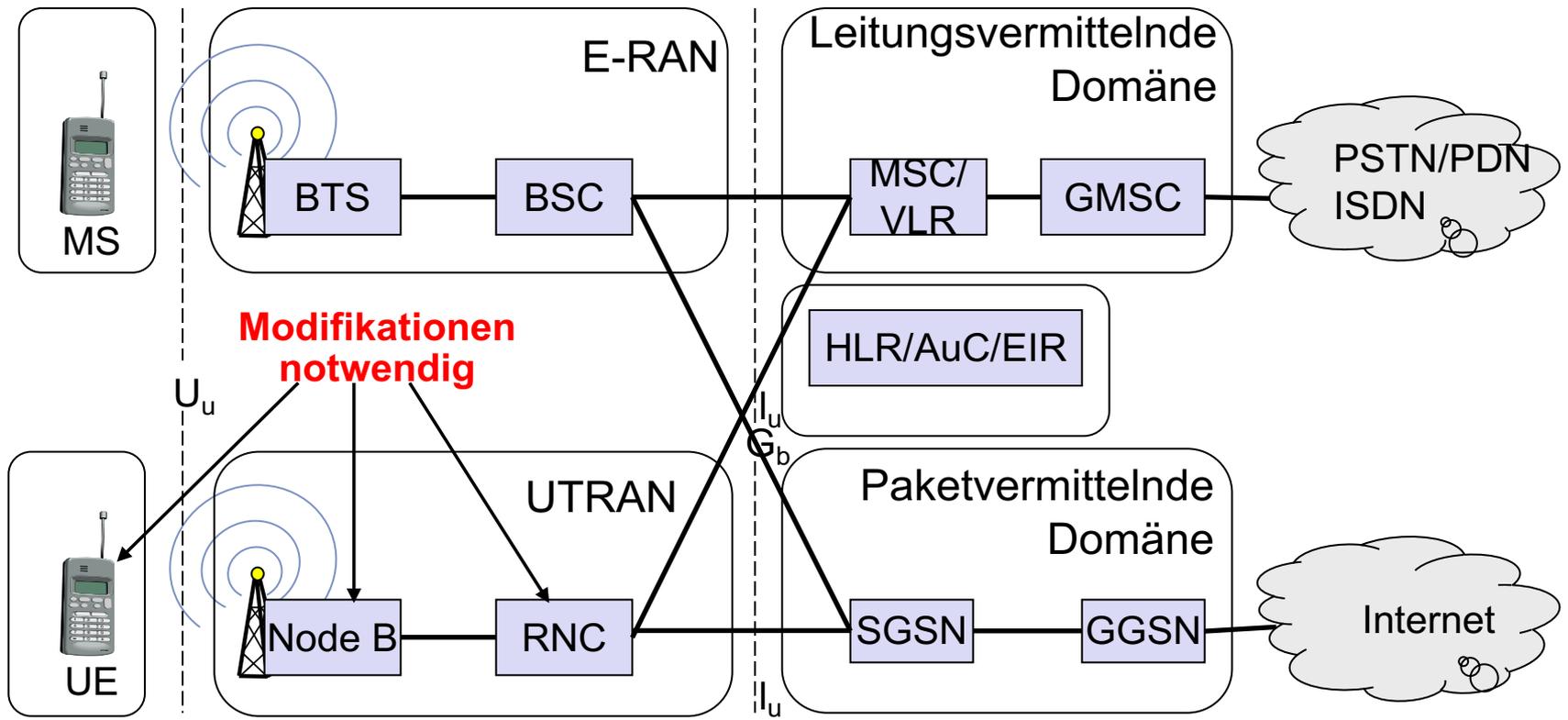
HSPA: Umrüstung der Architektur

- 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





HSDPA: Architektur



HSDPA: Technische Neuerungen

■ Flexible Kanalzuteilung

- HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) anstatt DCH (Dedicated Channel)

■ Adaptive Modulation und Kodierung (AMC)

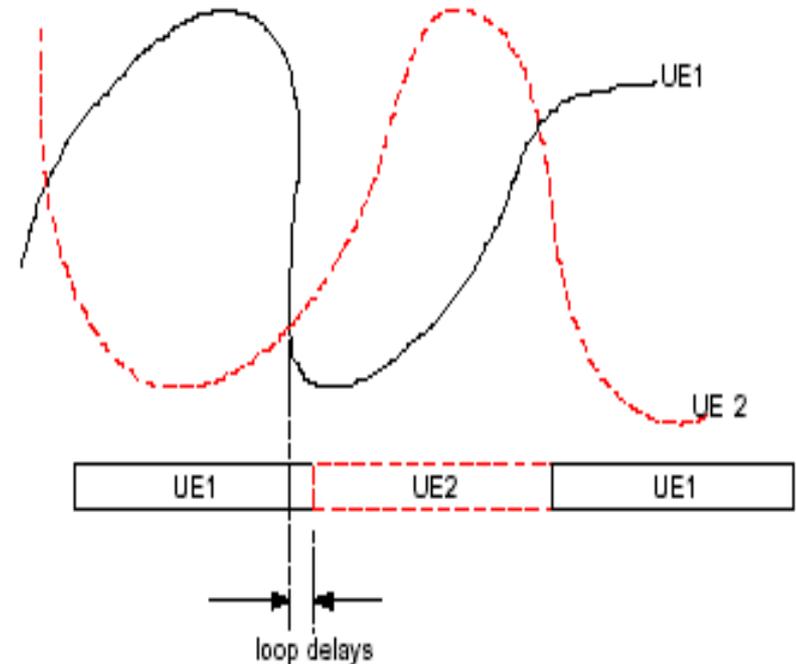
- QPSK: bei minderer Kanalqualität (Datenrate wie UMTS)
- 16QAM: bei sehr guter Kanalqualität (doppelte UMTS-Datenrate)
- FEC: Adaptive Kodierung (Forward Error Correction) mit Hybriden Quittungen (Hybrid ARQ)

■ Aufwertung des NodeB durch MAC-hs

- Paketwiederholungen nicht mehr zwischen RNC und UE sondern zwischen NodeB und UE

HSDPA: Flexible Kanalzuteilung

- Fading ist in Mehrbenutzer-Umgebungen hilfreich!
 - Für verschiedene Benutzer meist unkorreliert
→ Mehrbenutzer-Diversität
 - Zuweisung der Ressourcen zu jedem Zeitpunkt an Benutzer mit bester Kanalqualität
→ Durchsatz maximiert
 - Wird besser mit wachsender Teilnehmerzahl





HSDPA: Flexible Kanalzuteilung

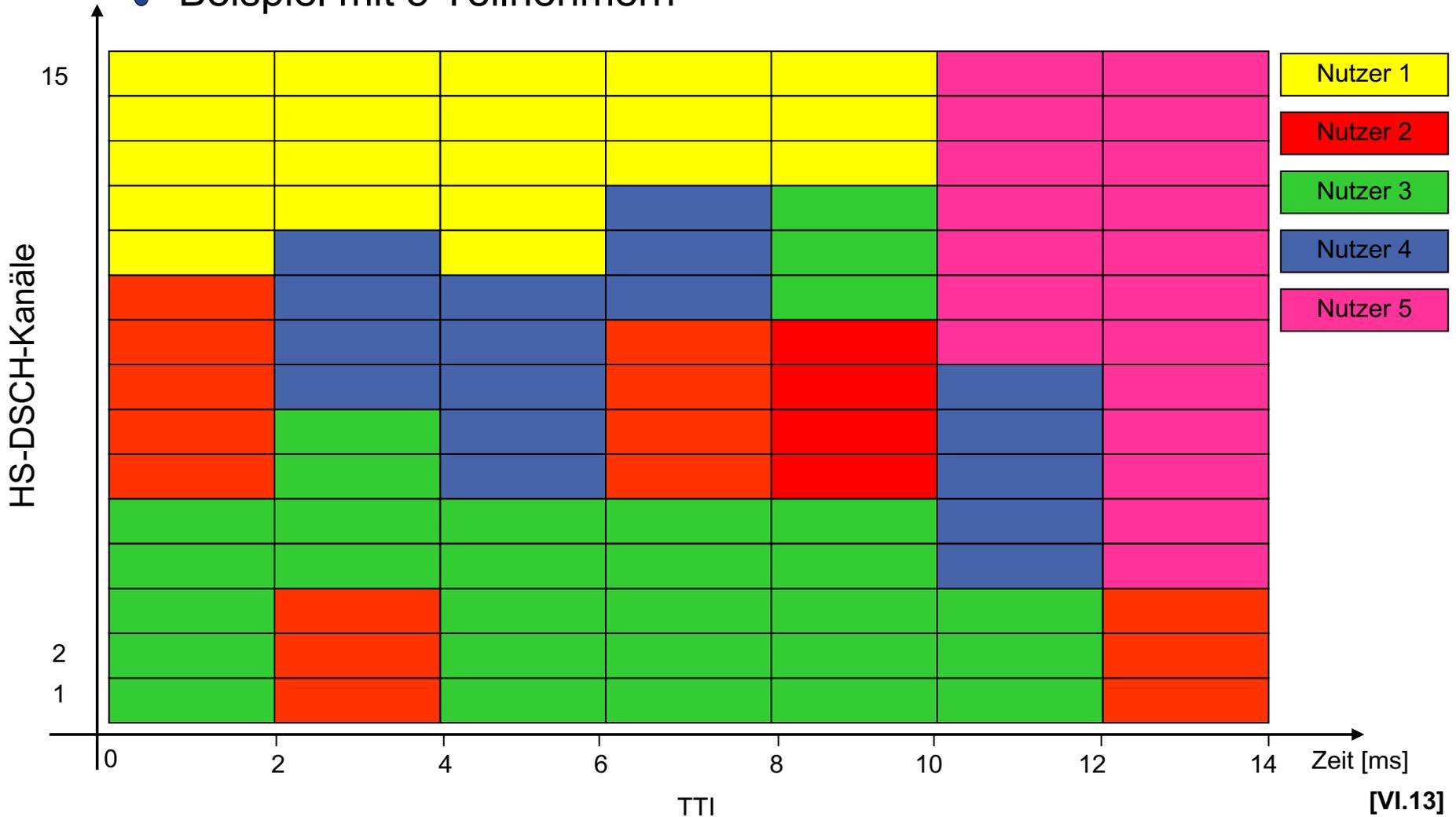
High Speed - Downlink Shared Channel (HS-DSCH)

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



HSDPA: Flexible Kanalzuteilung

- Beispiel mit 5 Teilnehmern



[VI.13]



Channel Quality Information (CQI)

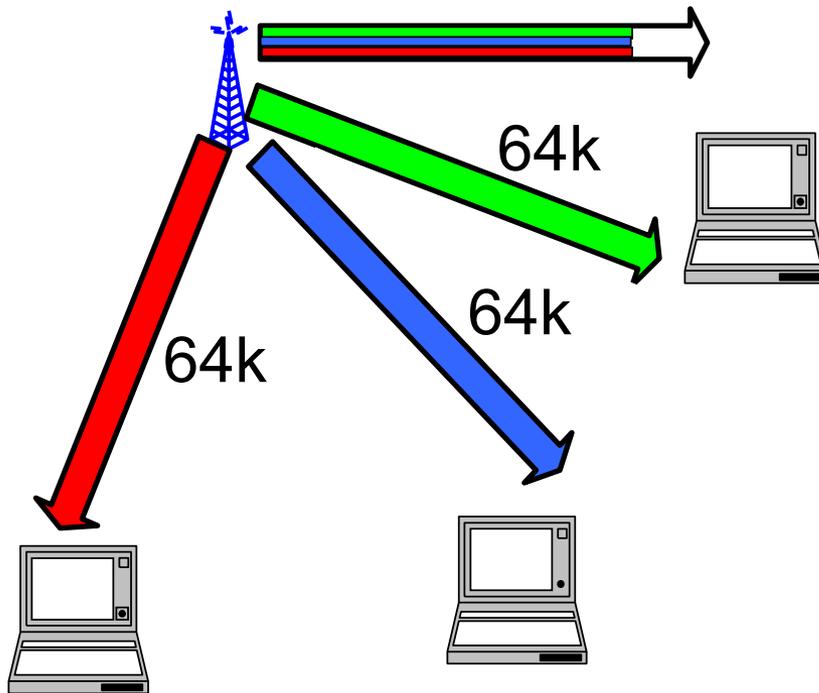
- Wird alle 2ms via auf speziellem Kontrollkanal (**High Speed-Dedicated Physical Control Channel, HS-DPCCH**) an Node-B signalisiert
- Integerwert zwischen 0 und 30 spiegelt sog. **Transport Format Resource Combination (TFRC)** wider, gegeben durch
 - Modulation
 - Spreizfaktor des Channelization Codes
 - Anzahl der Bits, die Benutzer pro STTI empfängt (**Transport Block Größe**)
- Fehlerrate pro Transportblock (**Block Error Rate, BLER**) soll 10% nicht übersteigen



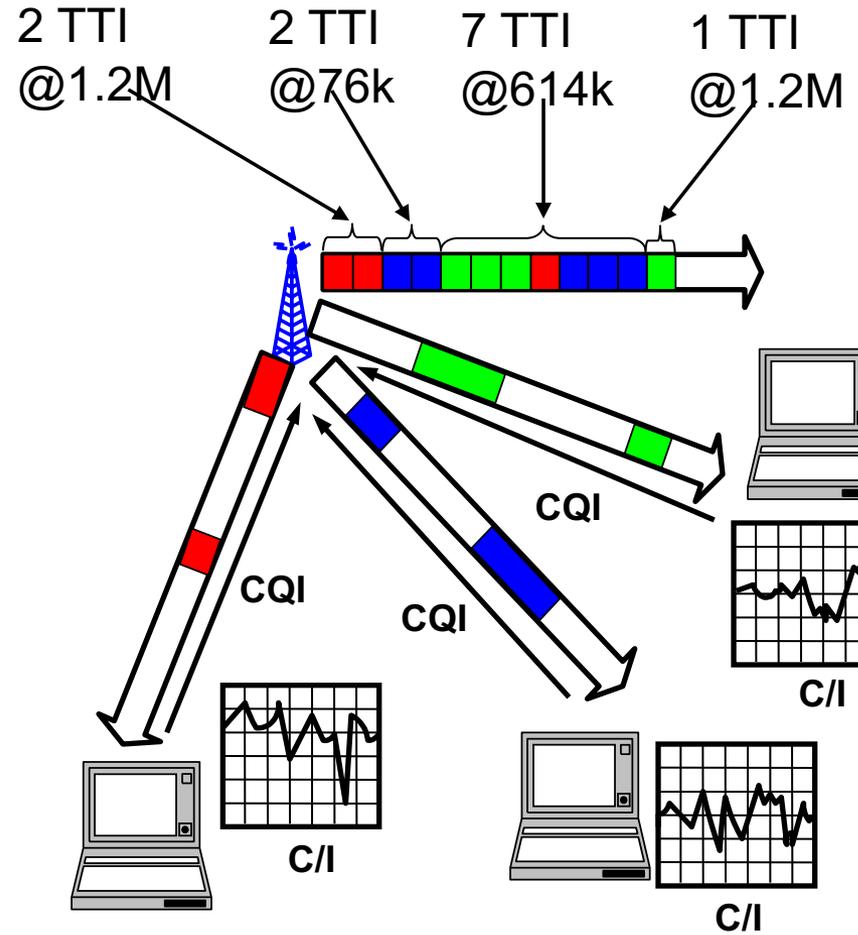
HSDPA Fast Scheduling

3G (Rel.99)
mit dedizierten Kanälen

Hier: Kein schnelles Kanalqualitäts-Feedback

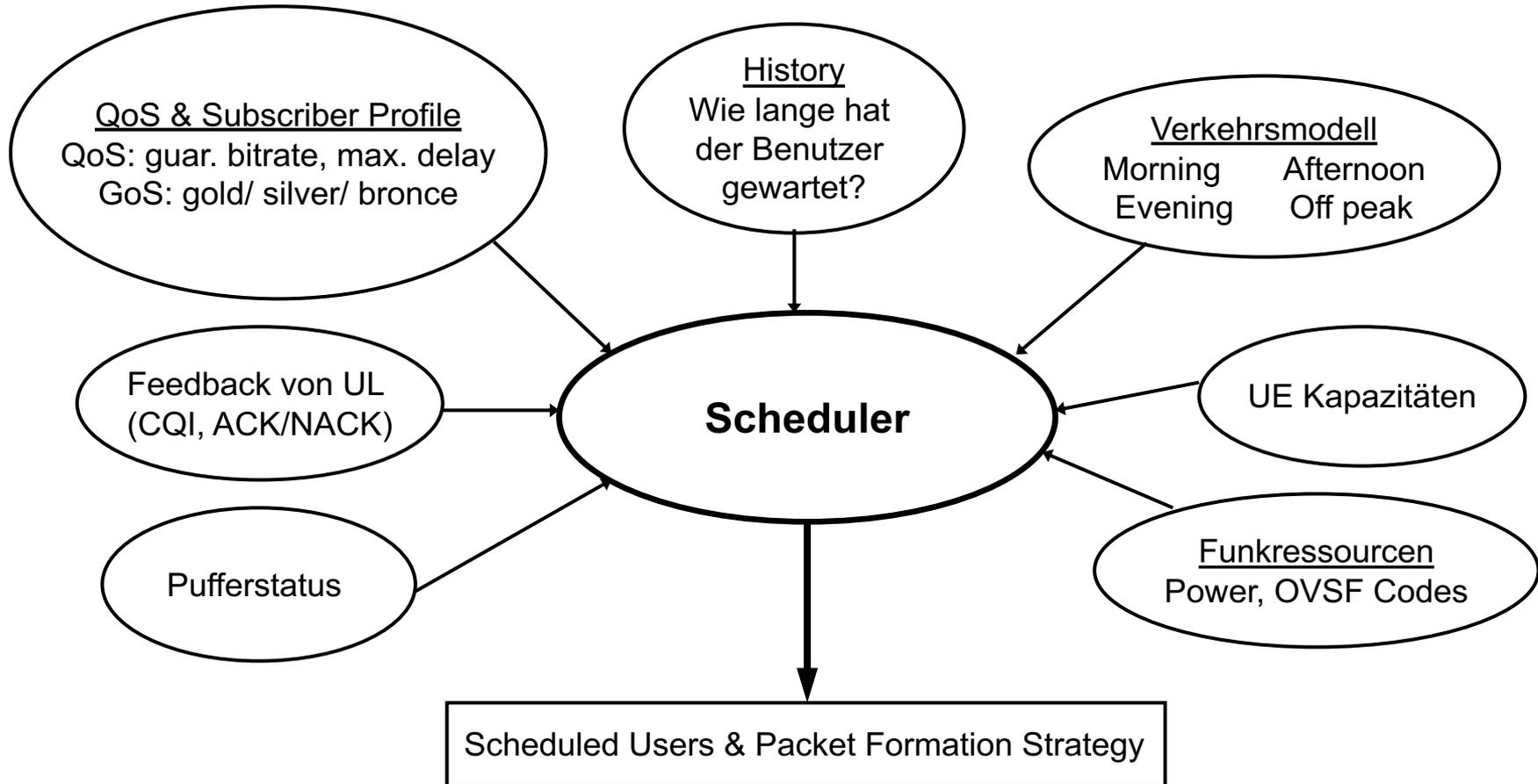


3G mit Highspeed Feedback/Scheduling auf geteilten Kanälen

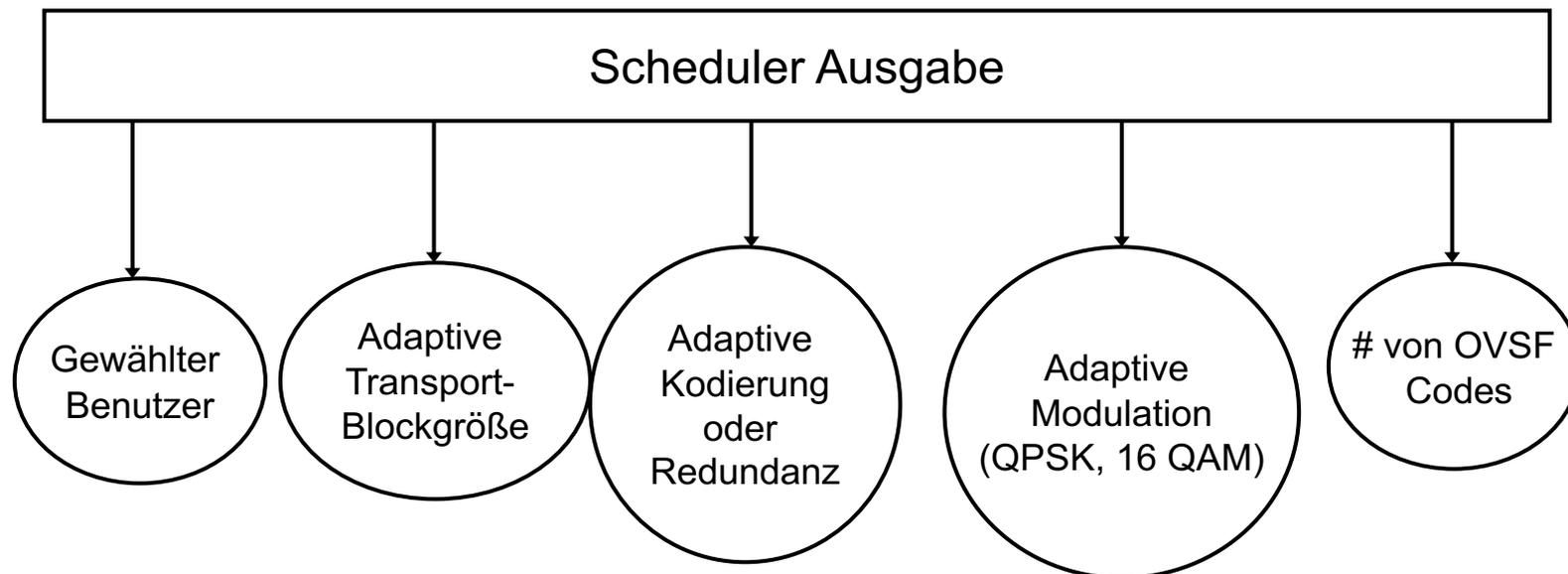




Eingaben des Scheduler



Ausgaben des Scheduler



- Auswahl so, dass
 - Dienstgüteanforderungen erfüllt sind und
 - Netzdurchsatz maximiert wird, während
 - Fairness zwischen Benutzern und Verkehrsströmen gewahrt bleibt

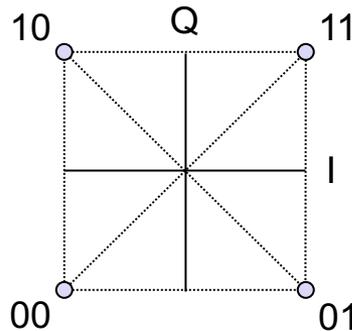
Klassische Scheduling Ansätze

- **Round Robin:** Aufruf jedes Benutzers nacheinander
 - Vorteile 
 - Faire Zeitzuteilung (bei gleicher Länge der Zeitschlitz)
 - Sehr einfacher Ansatz
 - Nachteile 
 - Geringer Zellen- und Benutzerdurchsatz
- **Best Effort:** Wähle Benutzer mit bester Kanalqualität
 - Vorteile 
 - Einfach zu implementieren und höchster Durchsatz
 - Nachteile 
 - Aushungern (Starvation) bei Benutzern mit niedriger Kanalqualität
- **Proportional Fairness:** Abgleich von Kanalqualität / Durchsatz
 - Vorteile 
 - Höherer Durchsatz als Round Robin
 - Nachteile 
 - Verwendet keinerlei QoS Informationen

Adaptive Modulation

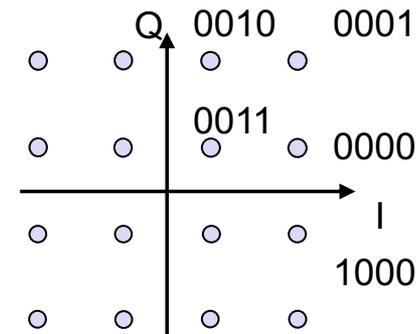
Zur Erinnerung: Modulationsverfahren (siehe auch Kapitel 2)

■ 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



Adaptive Kodierung



Waum sinnvoll?

■ Forward Error Correction (FEC):

- Vermeidung von Paketwiederholungen durch redundante Kodierung
- Redundante Bits erlauben Wiederherstellung von Nutzdatenbits bei Übertragungsfehlern
- Verhältnis von Nutz- und Korrekturdaten wird als Quotient angegeben: $\text{Nutzdaten}/(\text{Nutz} + \text{Korrekturdaten})$
- Abhängig von Verbindungsqualität kann das Verhältnis von Nutz- und Korrekturdaten angepasst werden:
 - Gute Verbindung -> weniger Redundanz -> mehr Nutzdaten
 - Schlechte Verbindung -> mehr Redundanz -> weniger Nutzdaten



Adaptive Modulation & Codierung

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

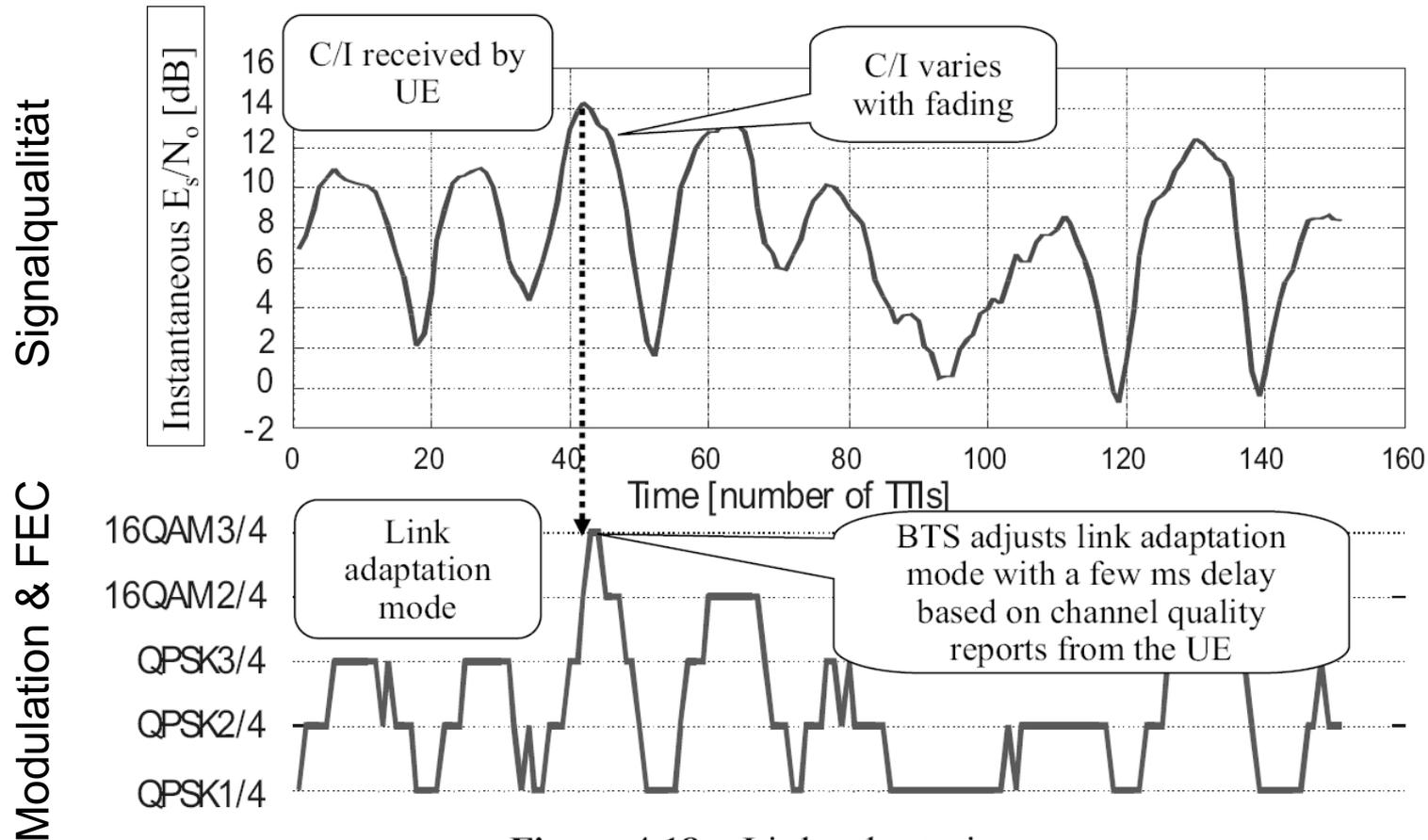


Figure 4.18 Link adaptation.

Quelle: [VI.17]



HSDPA Resultierende Datenraten

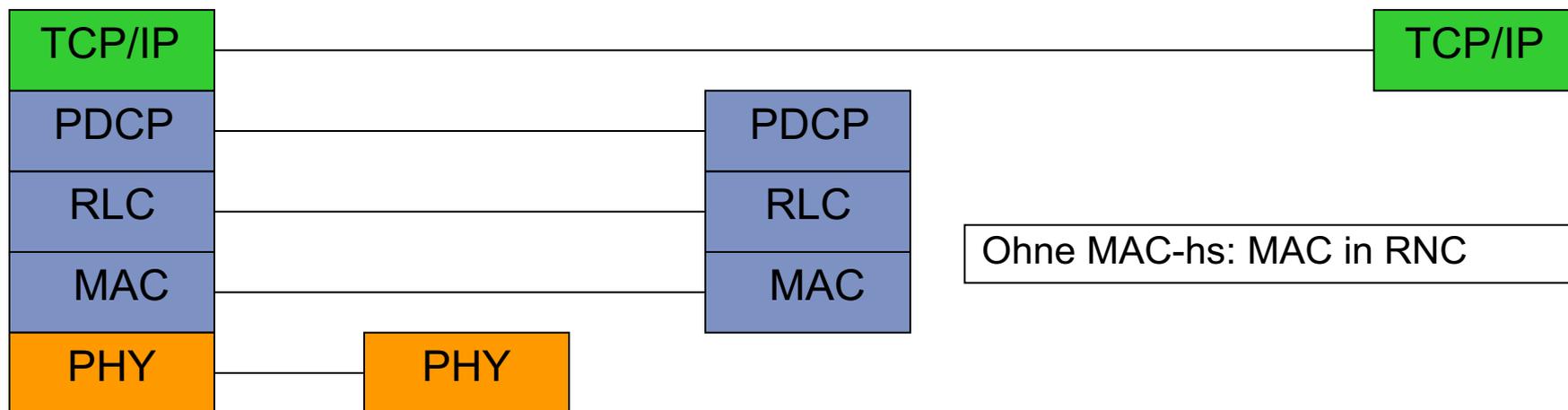
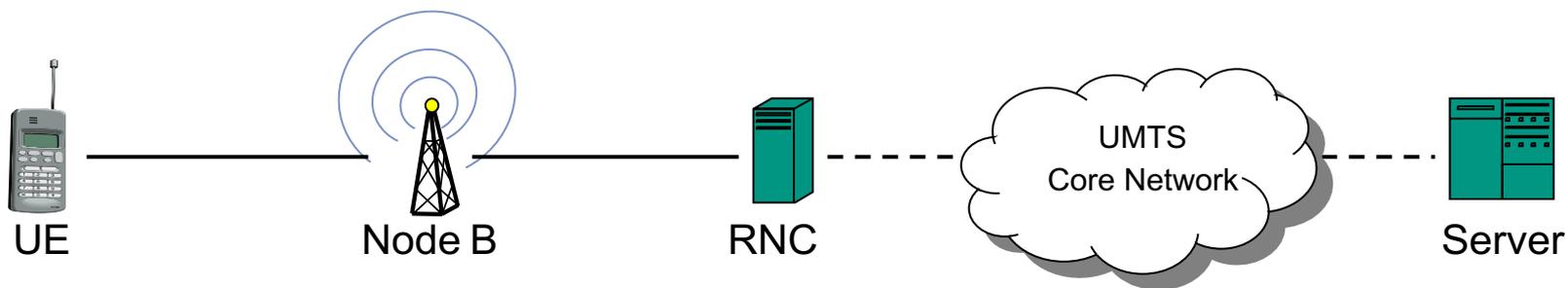
Einfluss von AMC und Kanalzuteilung auf Datenraten:

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

HSDPA: MAC-Highspeed (MAC-hs) (1)

■ Vereinfachte Übersicht über Protokolle im UTRAN:

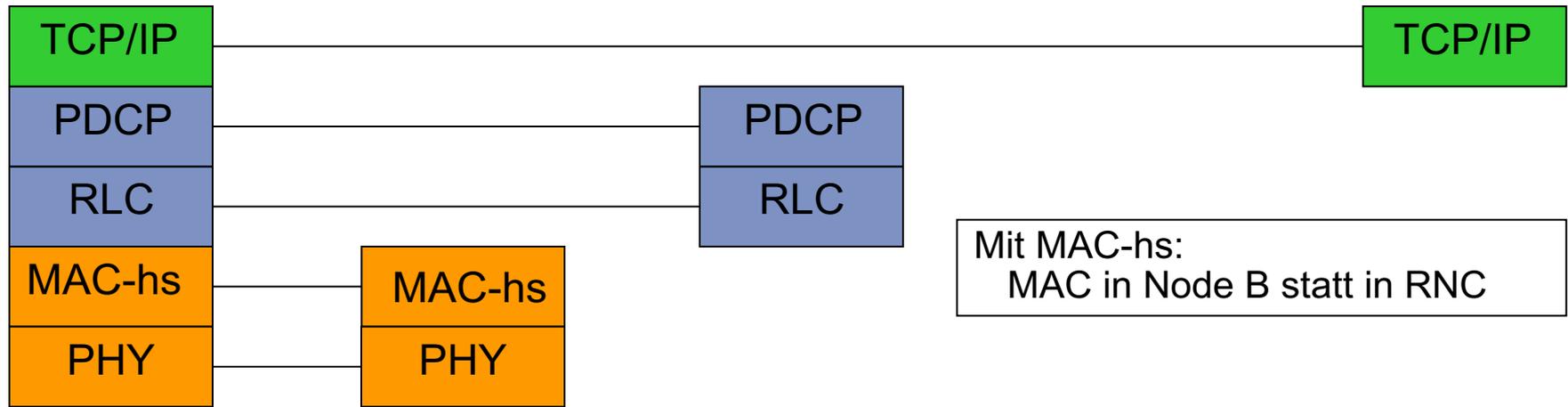
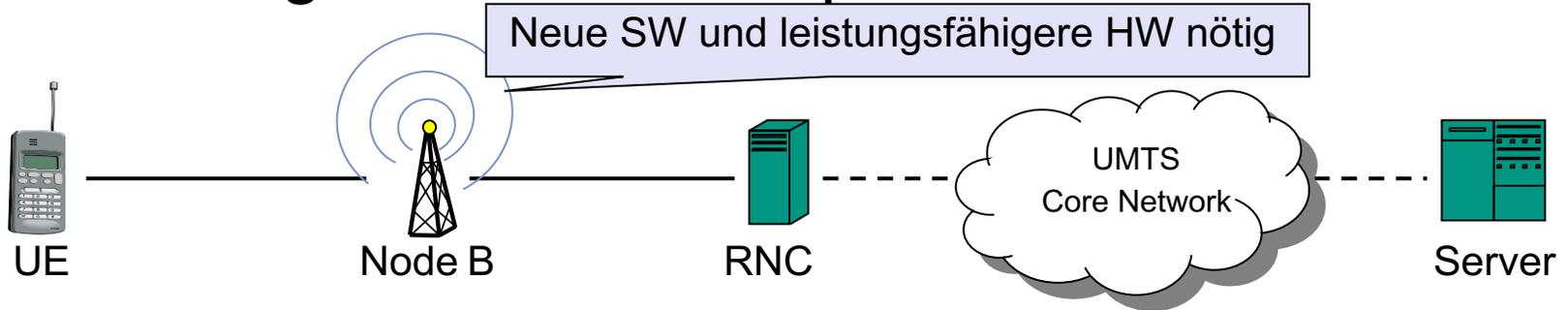


PDCP: Packet Data Convergence Protocol
 RLC: Radio Link Control



HSDPA: MAC-Highspeed (MAC-hs) (2)

■ Neuerung im Protokollstapel durch MAC-hs:

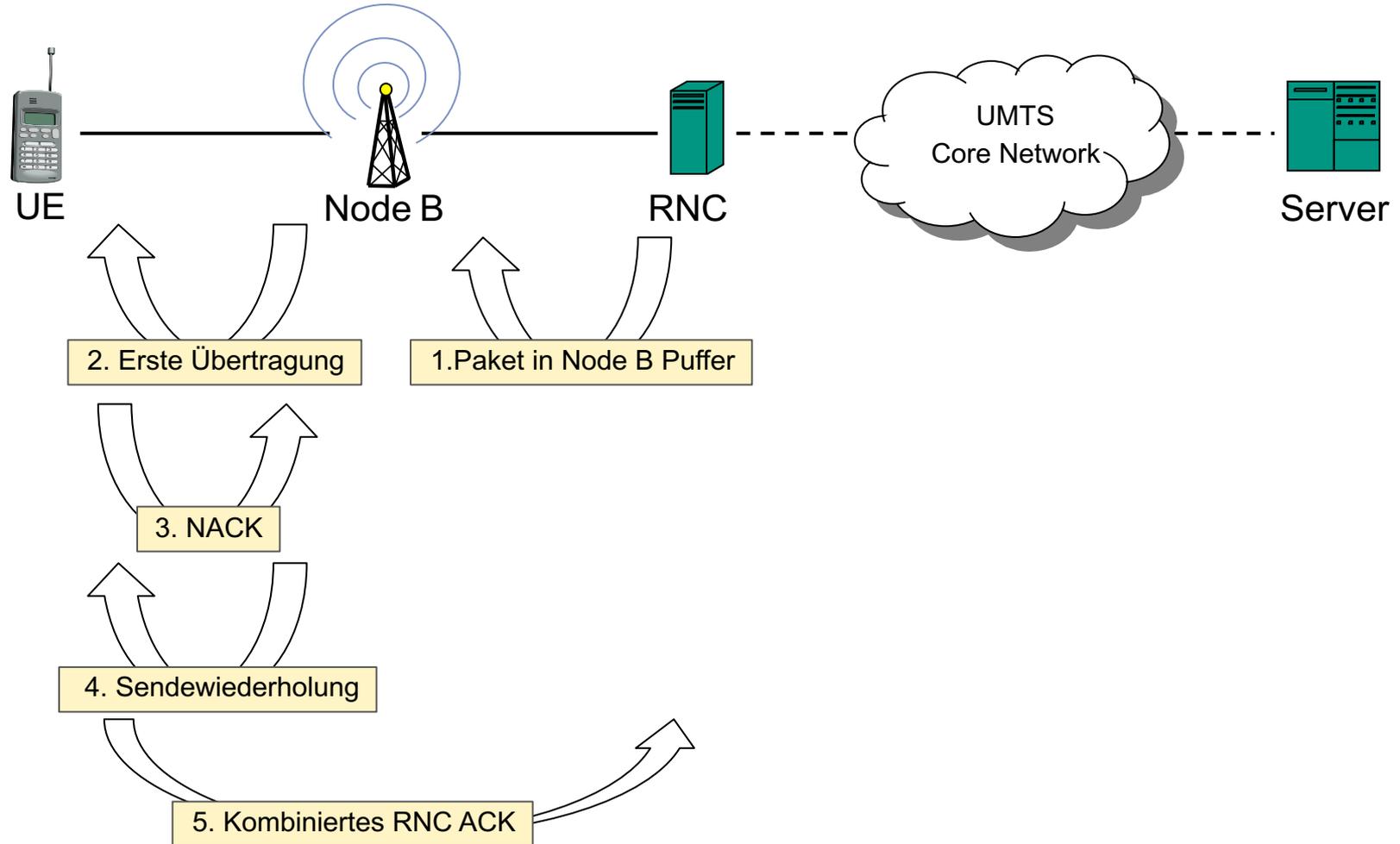


PDCP: Packet Data Convergence Protocol
RLC: Radio Link Control



HSDPA: MAC-Highspeed (MAC-hs) (3)

- Sendewiederholungen im Node B statt im RNC





Vorteile durch MAC-hs

- 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



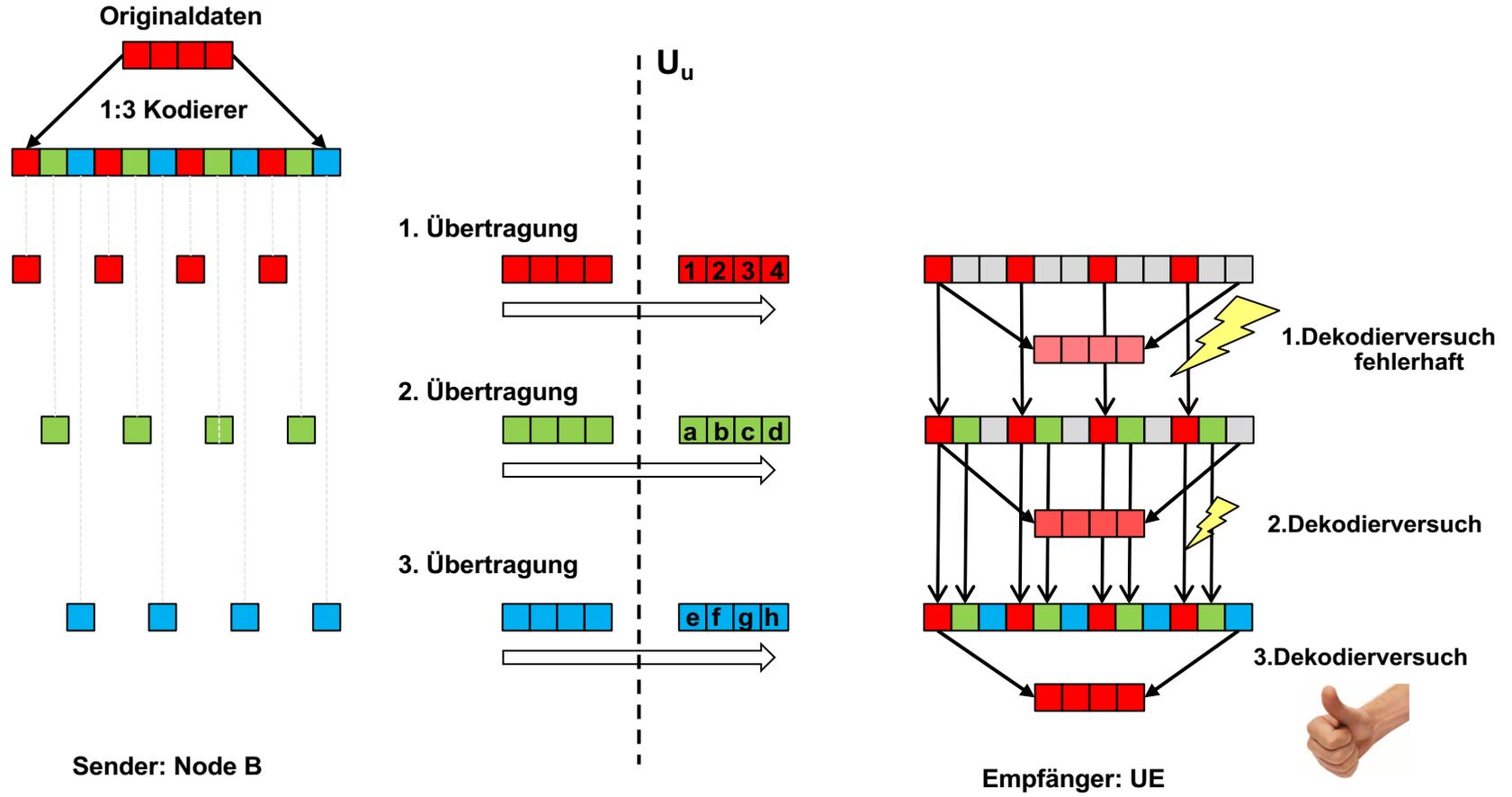
Hybrid Automatic Repeat Request

- HARQ ist Stop-and-Wait ARQ Verfahren
- Sendewiederholungen finden im MAC-hs statt (Node-B)
- Zwei Typen von Sendewiederholungen
 - Inkrementelle Redundanz (Incremental Redundancy)
 - Zusätzliche Paritätsbits werden gesendet falls Dekodierungsfehler auftreten
 - Gewinn durch Reduktion der Code Rate
 - Chase Combining
 - Die gleichen Bits werden erneut gesendet falls Dekodierungsfehler auftreten
 - Gewinn durch maximale Kombination von CDMA-Codes
- HSDPA verwendet Mix aus beiden



Hybrid Automatic Repeat Request

Inkrementelle Redundanz, Beispiel



Quelle: <http://www.UMTSlink.at>

HSDPA: Vergleich HS-DSCH vs. DCH

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

Merkmale	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

HSUPA: Vergleich DCH / HSDPA / HSUPA

Merkmale	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 ms	2 ms	10 oder 2 ms

- 8.1 Erläutern Sie die Evolution von GSM zu UMTS!
- 8.2 Geben Sie einen groben Überblick über die (initiale) UMTS-Systemarchitektur!
- 8.3 Was sind die Vorteile von UMTS gegenüber von GSM?
- 8.4 Welche Multiplexverfahren kommt bei UMTS zum Einsatz?
- 8.5 Welche Handover-Arten gibt es bei UMTS?
- 8.6 Wo und wie werden Daten bei den unterschiedlichen Handover-Arten rekombiniert?
- 8.7 Was ist Micro-, was Makro-Diversität?
- 8.8 Weshalb spielt Leistungsregelung bei UMTS eine so große Rolle?
- 8.9 Erläutern Sie die verschiedenen Arten der Leistungsregelung!
- 8.10 Was sind die wichtigsten Neuerungen von HSPA in technischer Hinsicht?
- 8.11 Beschreiben Sie die flexible Kanalzuteilung in HSPA?
- 8.12 Was sind Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Scheduling-Strategien?
- 8.13 Was wird bei Adaptiver Codierung bzw. Modulation jeweils adaptiert?
- 8.14 Welche Typen von Sendewiederholungen gibt es in Hybrid ARQ?

Referenzen und weiterführende Literatur

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

Referenzen und weiterführende Literatur (2)

- [8.9] www.rschlichte.de
- [8.10] <http://www.extratainment.com>
- [8.11] <http://www.logicacmg.com/pdf/telecom/Mmsguide.pdf>
- [8.12] <http://www.3gpp.org>
- [8.13] <http://umtslink.at/cgi/bin/reframer.cgi?../UMTS/zellatmung.htm>
- [8.14] <http://de.wikipedia.org>
- [8.15] <http://www.bitcom.org>
- [8.16] <http://www.elektronik-kompendium.de>
- [8.17] H. Holma, A. Toskala (Eds.), HSDPA/HSUPA For UMTS – High Speed Radio Access for Mobile Communications, Wiley Verlag, 2006
- [8.18] H. Holma, A. Toskala (Eds.), WCDMA For UMTS – HSPA Evolution and LTE, Wiley Verlag, 4. Auflage 20078
- [8.19] D. Astély et al., LTE the Evolution of Mobile Broadband, IEEE Communications Magazine, April 2009
- [8.20] <http://www.dailywireless.org/2009/08/21/4-billion-gsm-users-sept-2009/>
- [8.21] <http://www.t-mobile.de>
- [8.22] <http://www.vodafone.de>