

Kapitel 8 – UMTS und HSPA

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

Vorlesung Mobilkommunikation Wintersemester 2016/17
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		8.394.492
Group 3G	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		8.408.706
Mannesmann Mobilfunk	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		8.422.920
MobilCom Multimedia	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		8.369.848
T-Mobil	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		8.478.344
VIAG Interkom	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz		8.445.008
debitel Multimedia	ausgeschieden			
Lizenzsumme				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

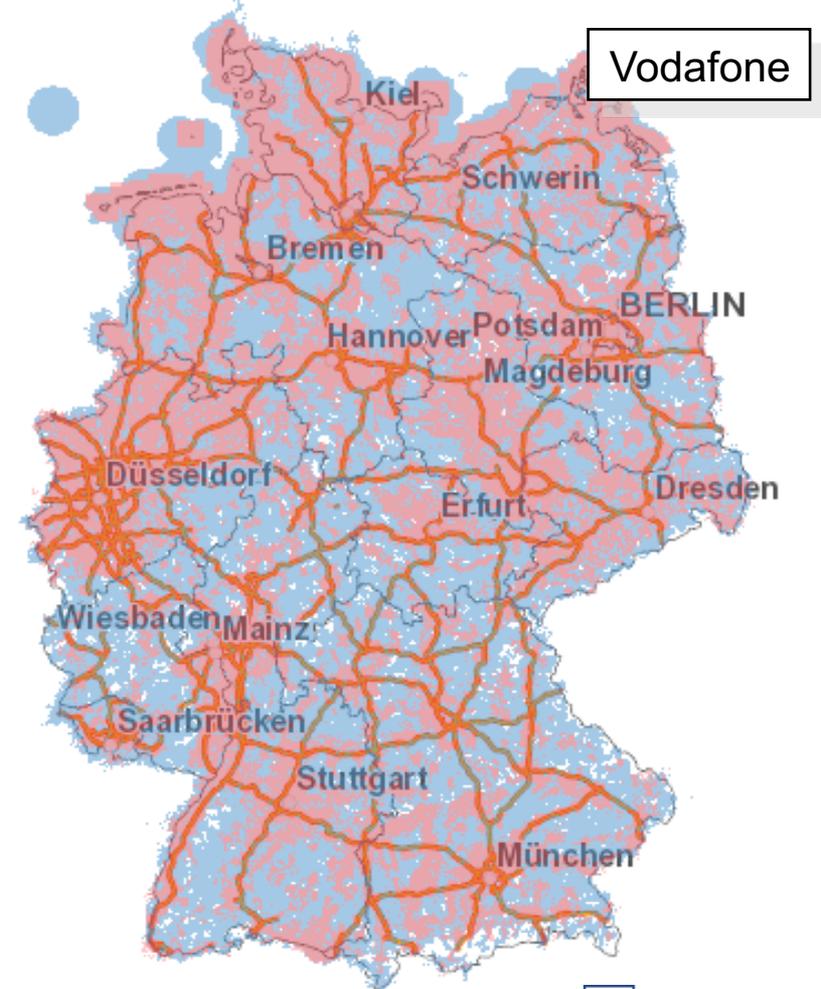
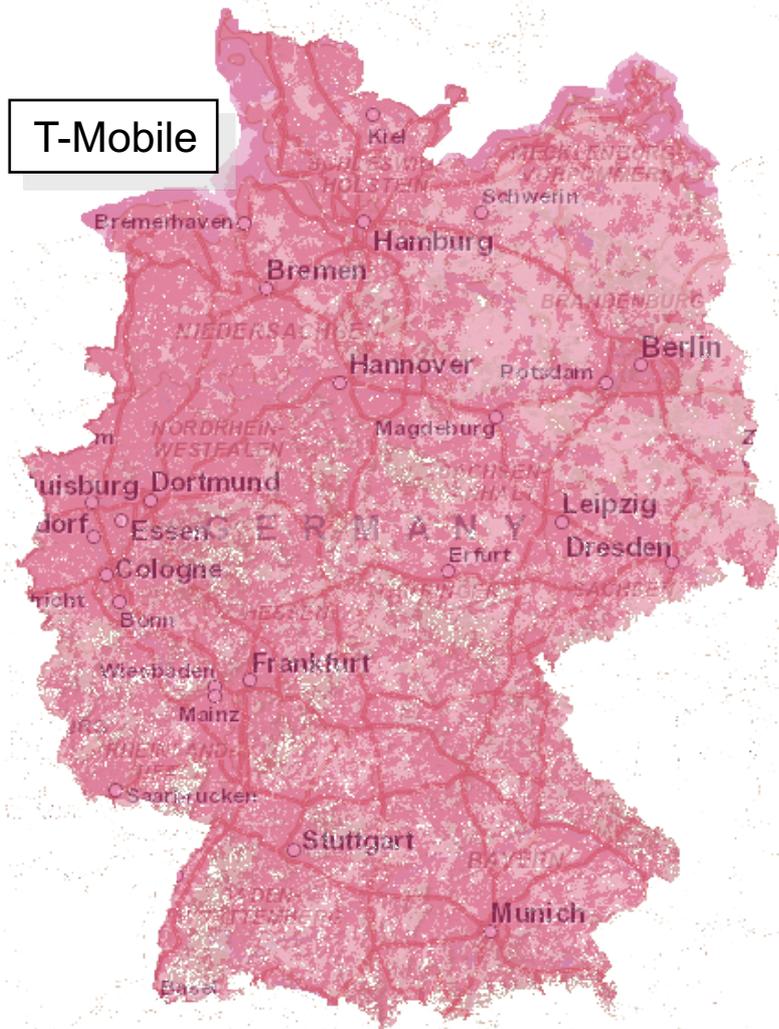
UTRA-TDD

- 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)



[8.20, 8.21]

Stand: Juli 2013 nach Angaben der Betreiber



Von GSM zu UMTS

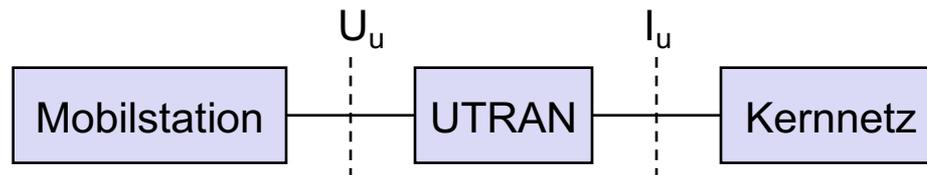
■ Wichtige Neuerungen

- 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 andren Mobilfunknetzen
 - Mobilitätsmanagement falls keine dedizierte Verbindung zwischen Mobilstation und UTRAN besteht
 - Verbindung verschiedener Netze (GSM, ISDN, Internet ...)





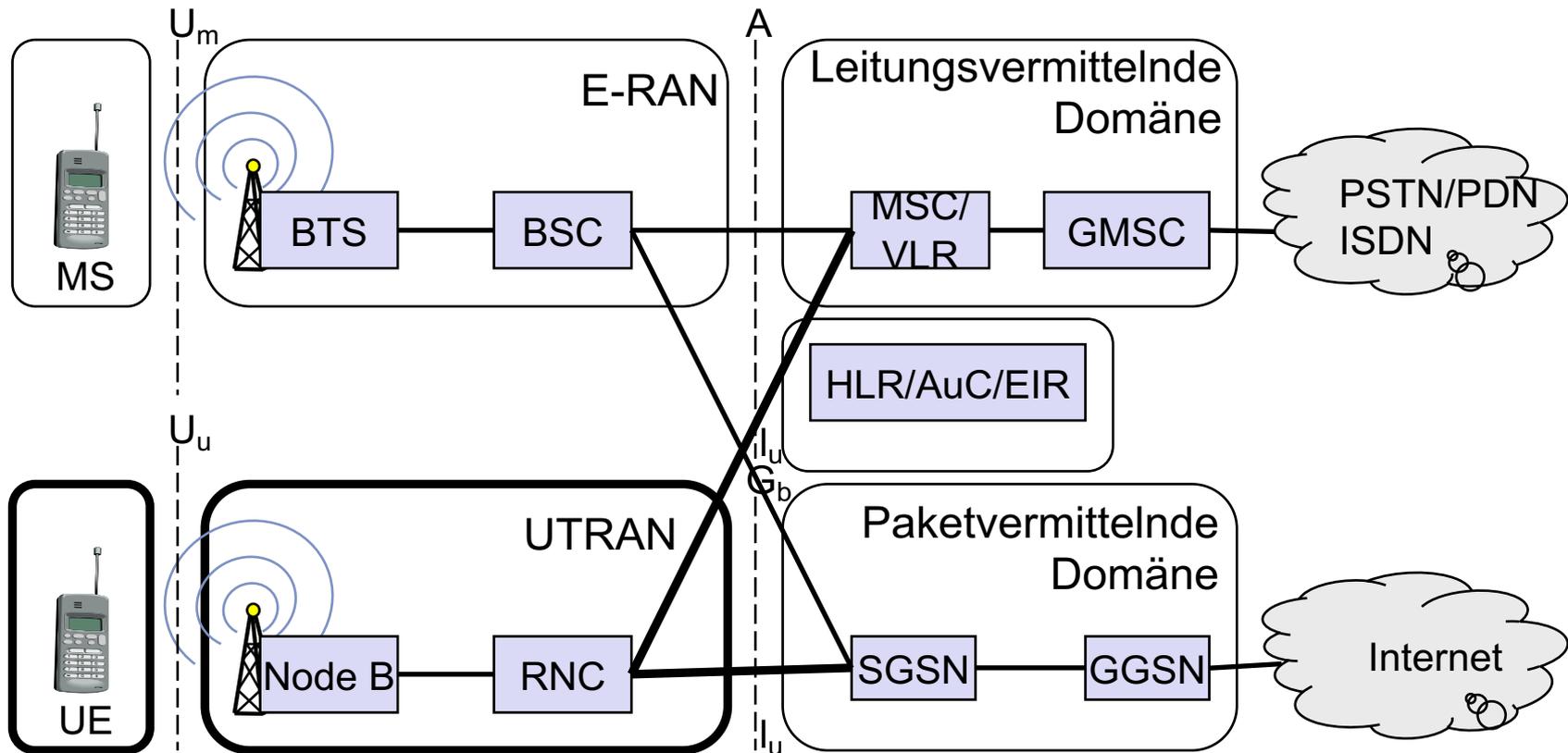
... verschiedene Phasen der Einführung

- 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

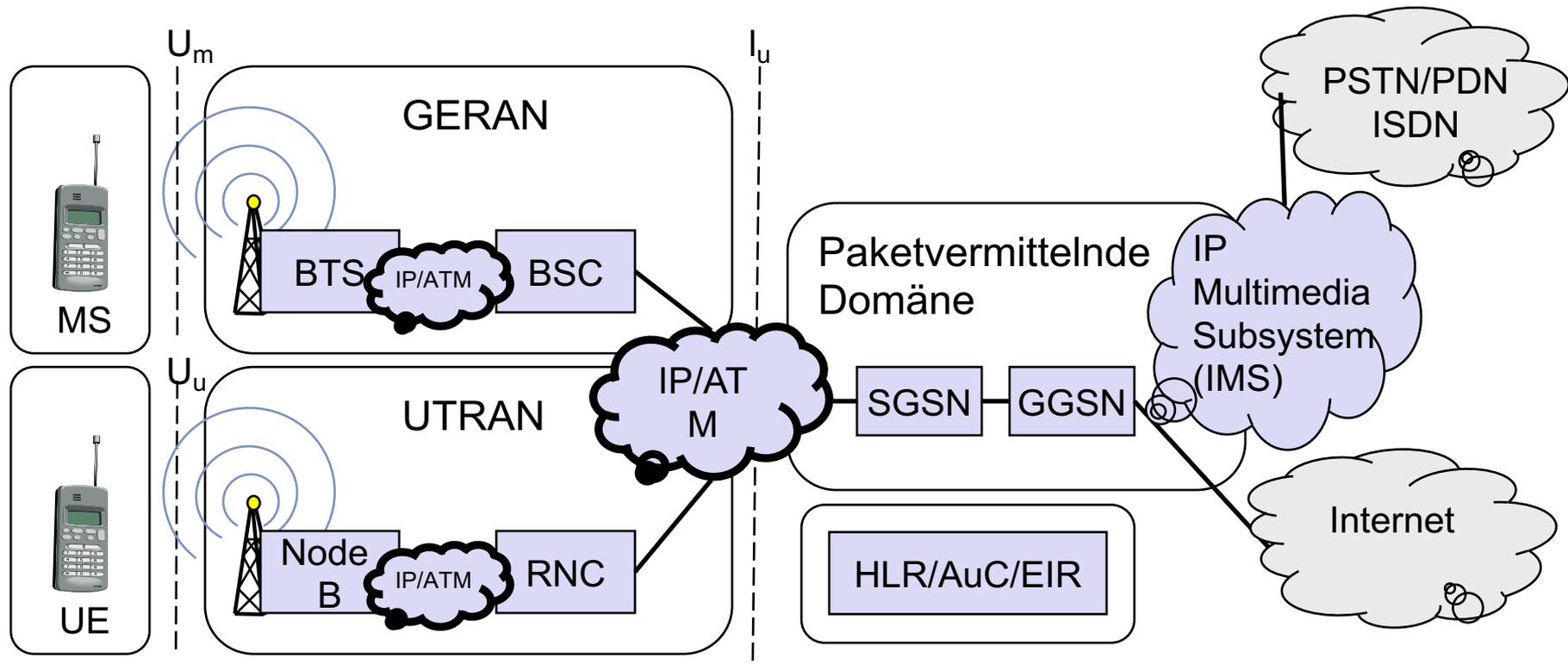
- Neues Zugangsnetz (UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Network)
 - W-CDMA (Wideband CDMA)
 - Kein Zeit- und Frequenzmultiplex
 - Individuelle Codes pro Benutzer





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

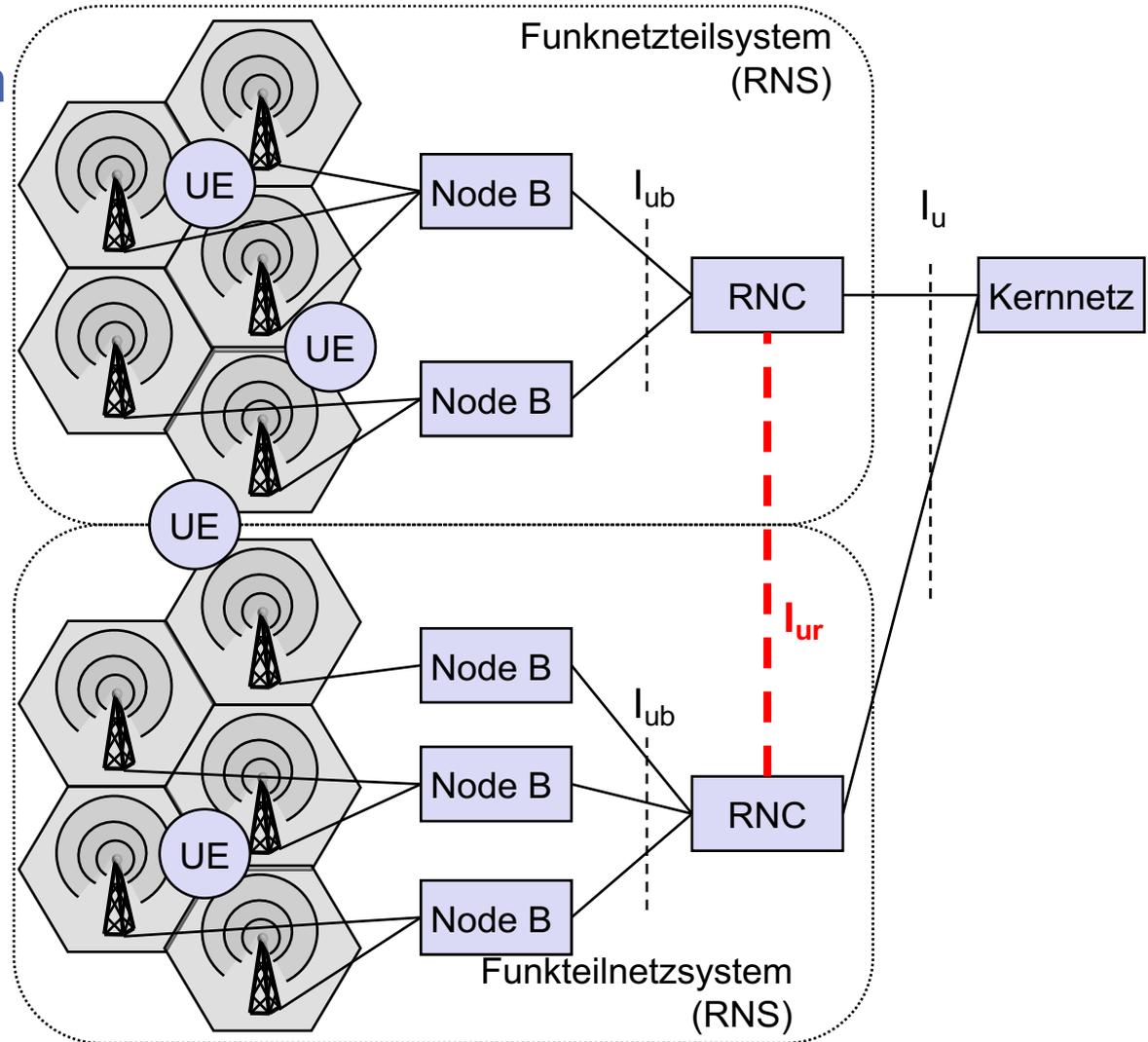
- Radio Network Subsystem - RNS
- UTRAN besteht aus mehreren Funkteilssystemen

■ Node B

- kann FDD, TDD oder beides unterstützen

■ Zelle

- bietet FDD oder TDD



Funktionen des UTRAN I

- **Zugangskontrolle** (Admission Control)
 - Zur Vermeidung von Überlastsituationen
 - Zugangskontrolle für neue Verbindungen
 - Neukonfiguration bestehender Verbindungen
 - Belegung von Ressourcen für Makrodiversität und Handover
 - Im SNRS angesiedelt
- **Staukontrolle**
 - Bei Entstehung von Überlast Überführung des Systems in stabilen Zustand
- **System Information Broadcasting**
 - Verteilen von für den Betrieb erforderlicher Information an Mobilstation
- **Verschlüsselung**
 - Findet auf der Luftschnittstelle statt
 - Sowohl in der Mobilstation als auch im UTRAN angesiedelt

Funktionen des UTRAN II

■ Handover

- Mobilitätsverwaltung an der Luftschnittstelle
- Verbindungsweiterleitung an andere Netze möglich (z.B. GSM)
- Einhaltung einer vom Kernnetz geforderten Dienstgüte
- Sowohl in der Mobilstation als auch im SRNS angesiedelt

■ SRNC-Verlagerung

- Die Rolle von SNRC und DRNC kann sich im Verlauf einer Verbindung ändern
- Wird vom SRNC initiiert

■ Konfiguration des Funknetzes

■ Funkkanalmessungen

- Überwachung einer Reihe von Parametern an der Luftschnittstelle
 - Z.B. Empfangspegel, Bitfehlerwahrscheinlichkeit, Dopplerverschiebung, aktueller Grad der Synchronisation
- Sowohl in der Mobilstation als auch im UTRAN angesiedelt

Funktionen des UTRAN III

■ Makrodiversität

- Datenströme können über mehrere verschiedene Wege zur Mobilstation gesendet werden
- Daten von einer Mobilstation können an mehreren Basisstationen empfangen und wieder zusammengeführt werden
 - Im SRNC, DRNC oder Node B möglich
- Wird nur im FDD-Modus verwendet
- Im UTRAN angesiedelt

■ Funkträgersteuerung

- Bereitstellung bzw. Auflösung von Funkträgerdiensten für den Auf- und Abbau einer Verbindung sowie bei Handovern

■ Funkbetriebsmittelverwaltung

- Vergabe und Freigabe von Funkressourcen
- Im RNC angesiedelt

Funktionen des UTRAN IV

- **Datenübertragung** auf der Luftschnittstelle
 - Multiplexen von Trägerdiensten und Mobilstationen
 - Segmentieren und Reassemblieren von Nachrichten
 - Bestätigte bzw. unbestätigte Übertragung
- **Leistungssteuerung** (FDD- und TDD-Modus)
 - Steuerung der Sendeleistung
 - Reduktion von Interferenzen
 - Aufrechterhaltung der Verbindungsqualität
 - Basisstationen nutzen Messwerte der Mobilstationen
 - Basisstationen senden Zell- und Systemparameter
- **Kanalkodierung**
 - Systematisches Hinzufügen von Redundanz
 - Kann für verschiedene logische Kanäle und für verschiedene Trägerdienste unterschiedlich sein
- **Zufallszugriff**
 - Slotted-Aloha Protokoll
 - Kollisionsauflösung erforderlich



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

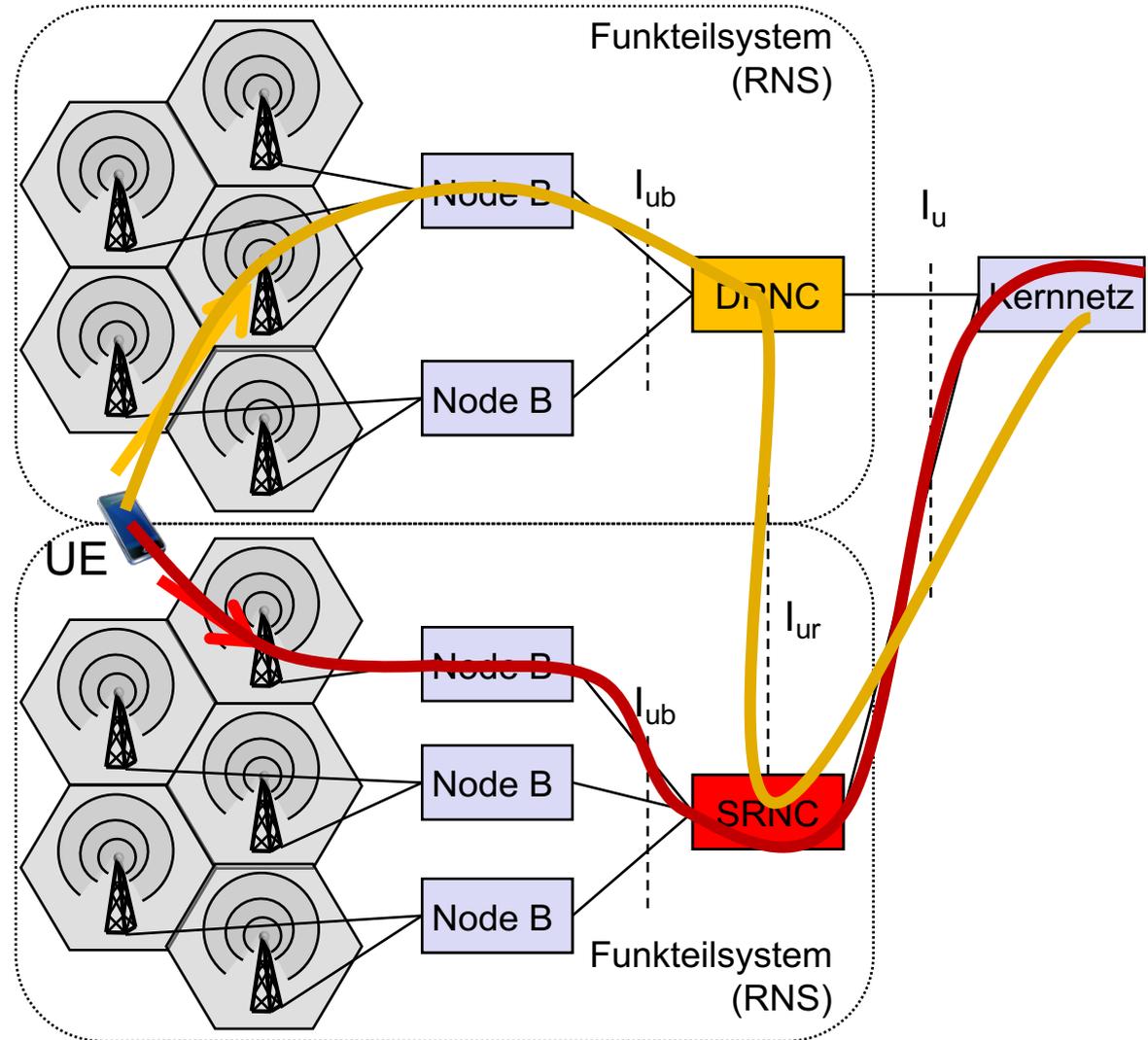
■ Problem

- 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

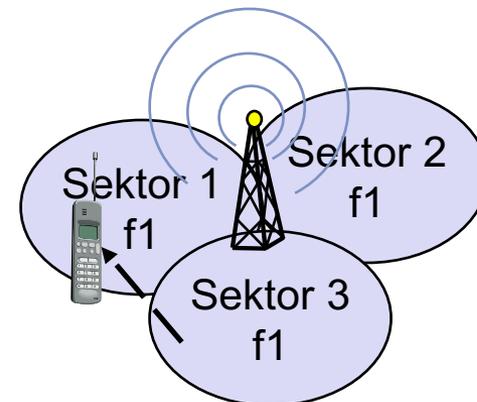
- Verbindung über mehrere Sektorantennen eines Node B

■ 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

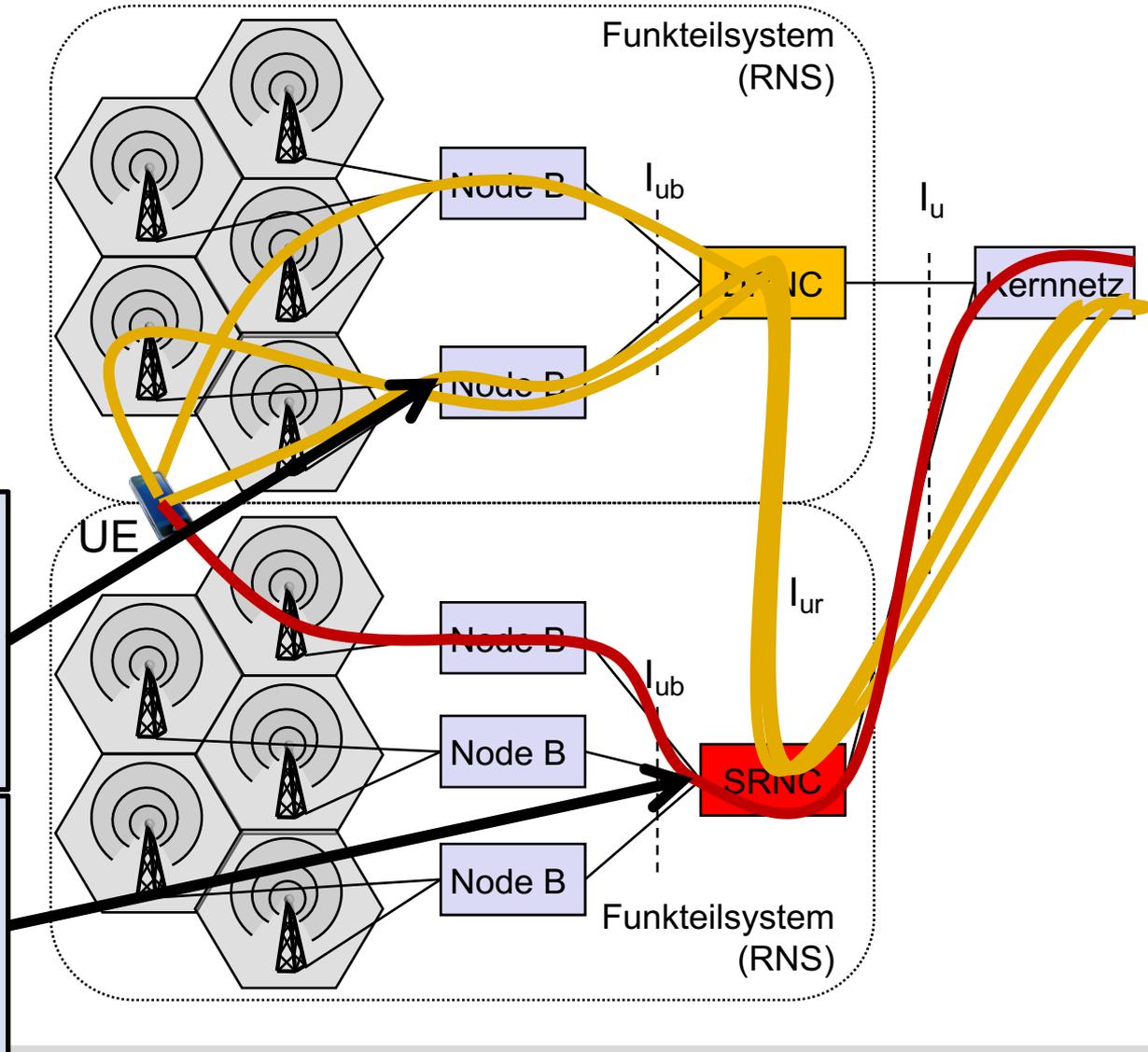


Makrodiversität durch Soft-/Softer-Handover

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)

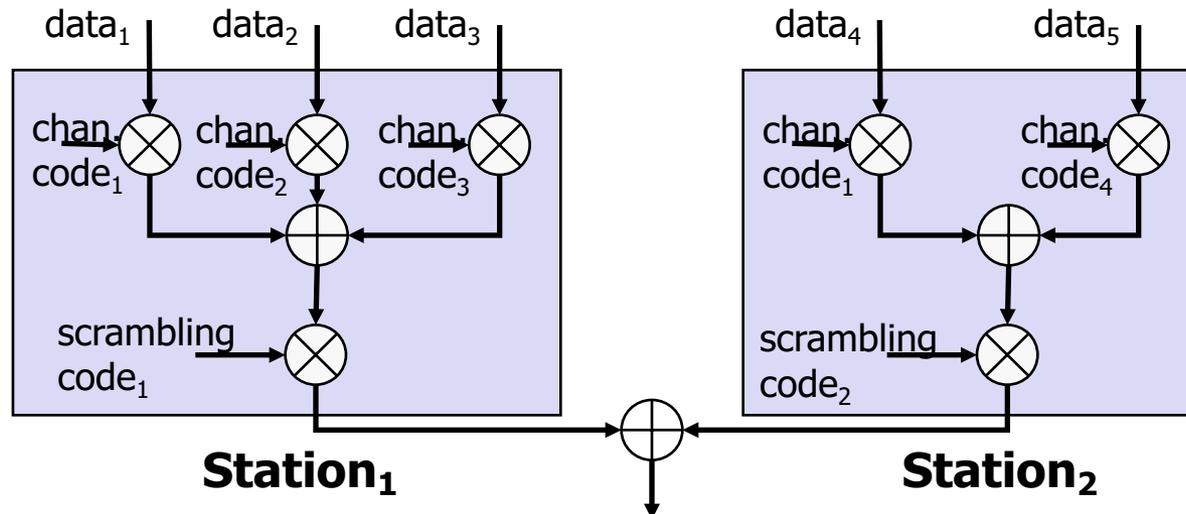
- Mehrfachzugriff durch Kombination aus TDMA und CDMA

■ 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, Folien 45-46)
 - Orthogonal
 - Für gleichen physikalischen Kanal identisch für alle Stationen
- Stations-spezifische Codes (**Scrambling Codes**)
 - Trennung von verschiedenen Stationen (UL) oder Zellen (DL)
 - Quasi-orthogonal



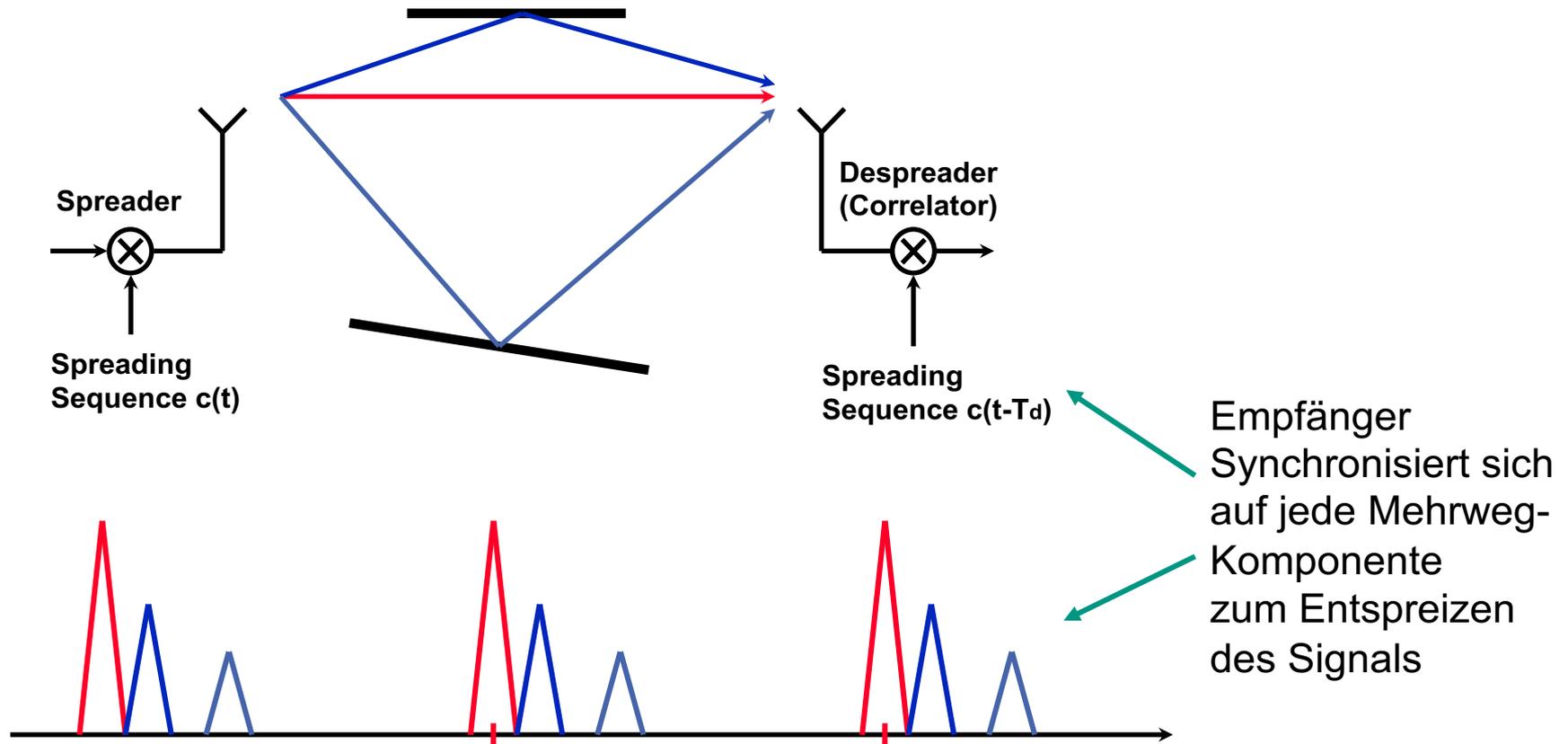
Verwendung der Codes

	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

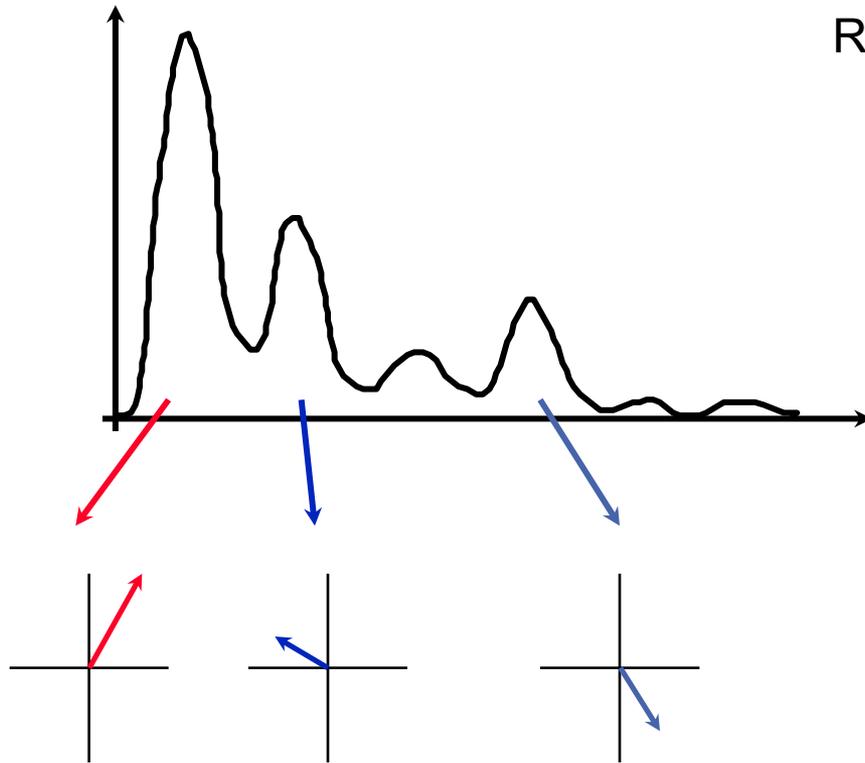
- Vorteil CDMA: Laufzeitdifferenzen bei Mehrwegeausbreitung lassen sich durch Vergleich mit Chipping-Sequenz erkennen





RAKE Receiver

- Korreliert und bestimmt jede Mehrweg-Komponente einzeln



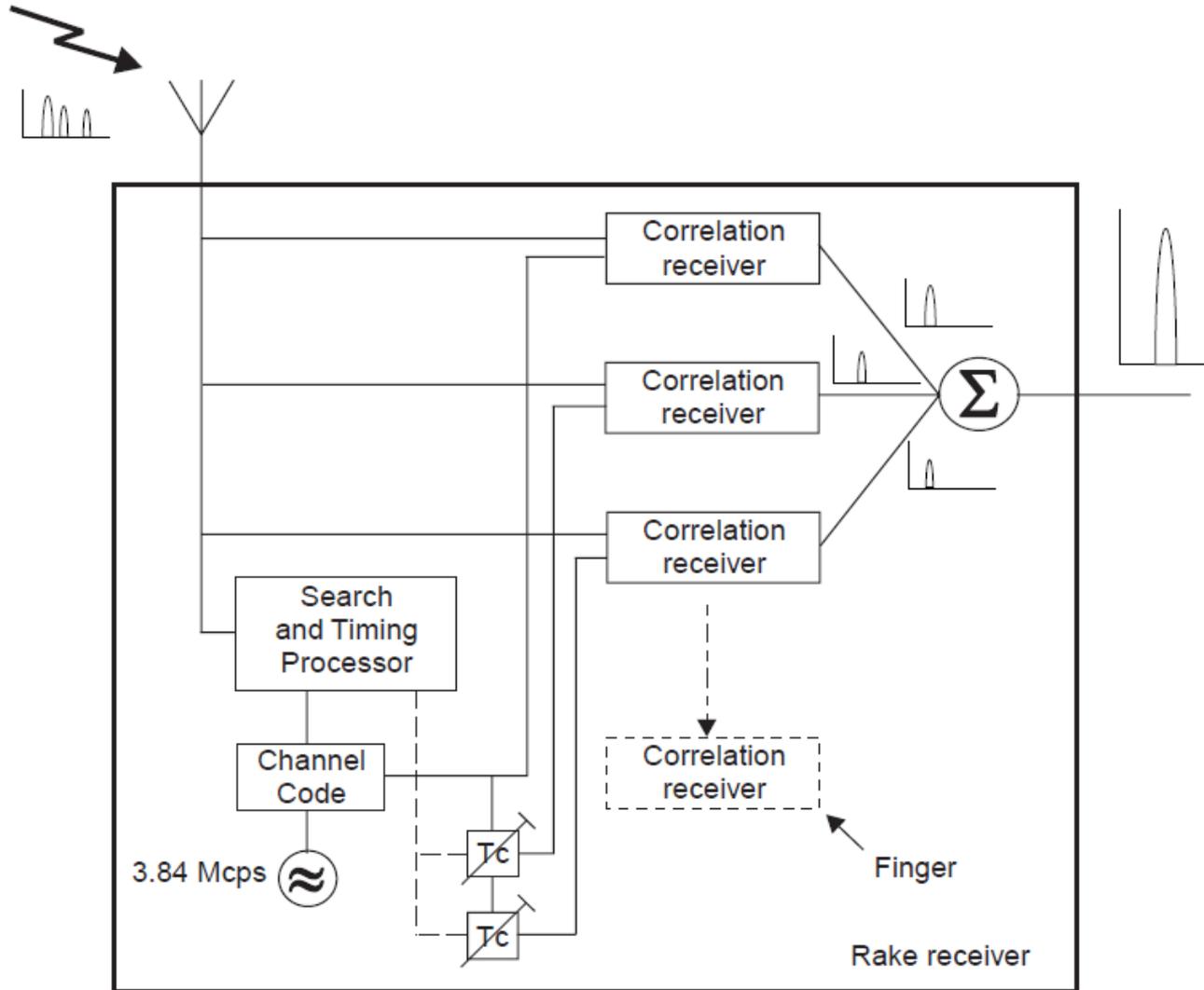
Optimal coherent combining

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

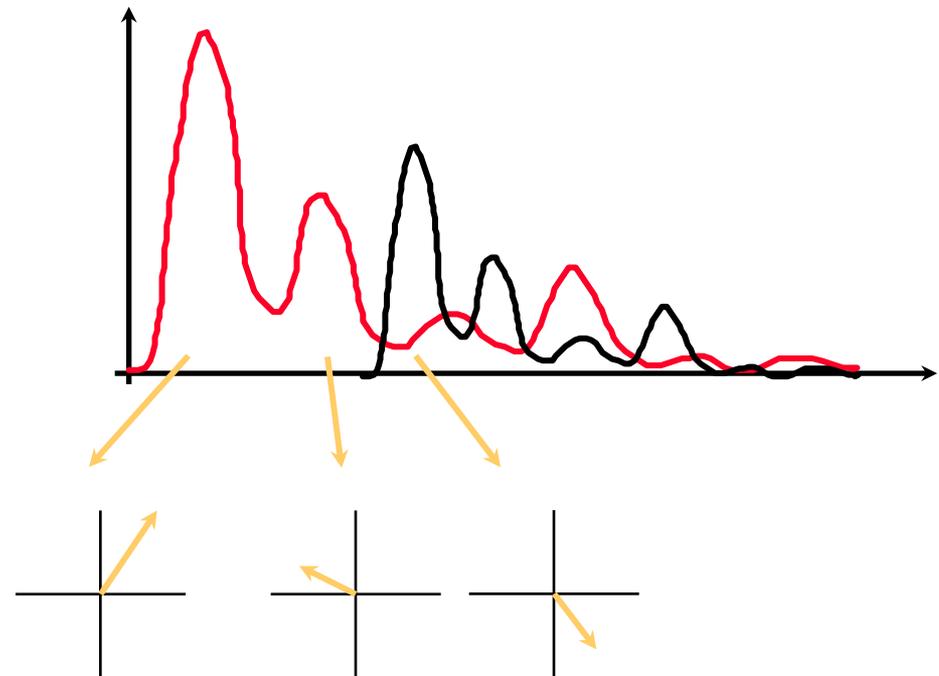
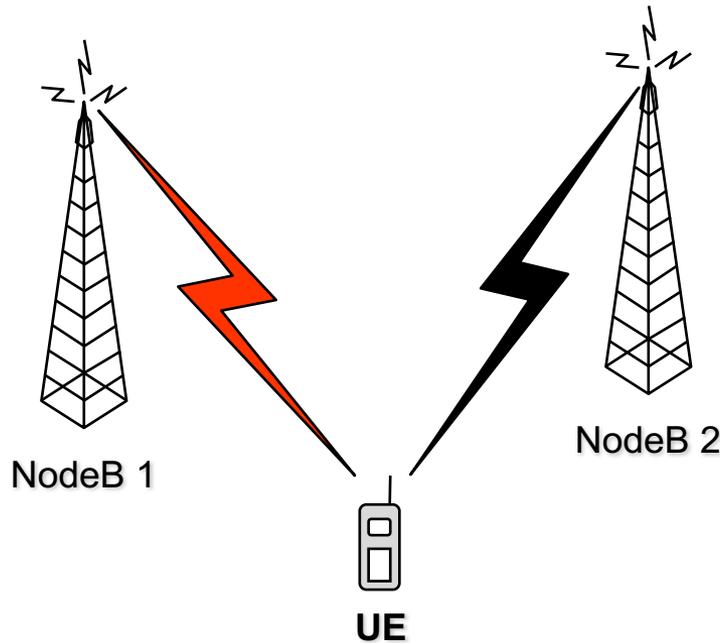




Makrodiversität und Soft Handover (DL)

... auch ermöglicht durch CDMA

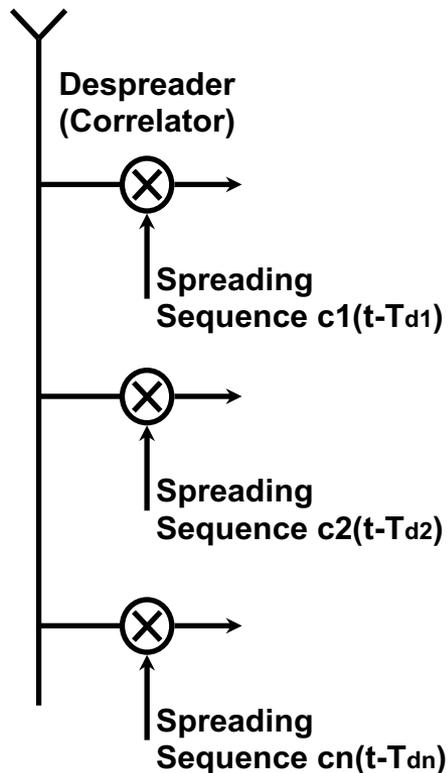
- Mehrere NodeB senden mit selben Code
- Optimale Rekombination im RAKE Receiver (in der MS)





Mehr-Benutzer CDMA (UL)

■ Konventioneller CDMA-Empfänger (NodeB)

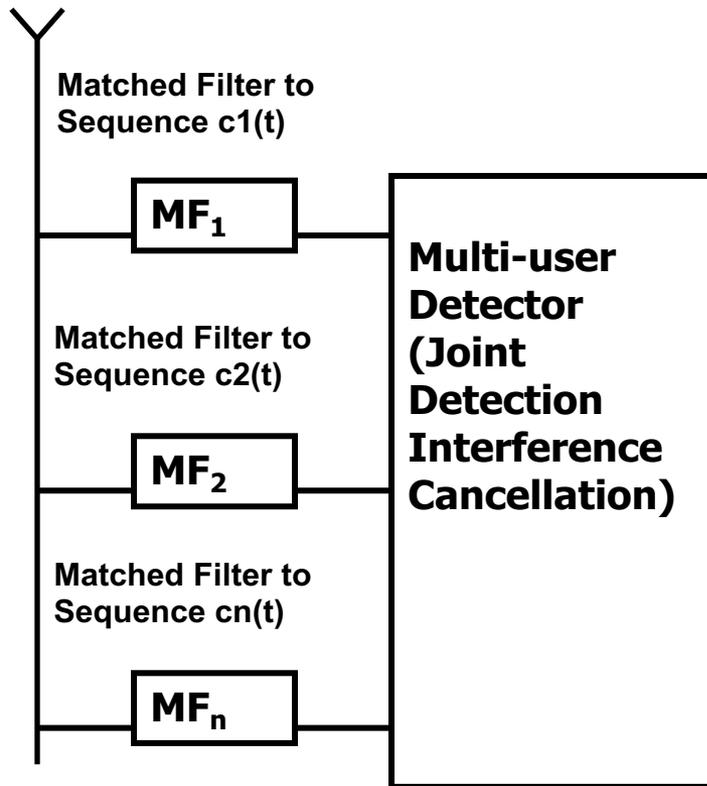


- Kohärente (Amplituden- und Phasen) RF Demodulation in der Base Station
- Separates Entspreizen und Demodulieren jedes Signals in der Base Station
- Ein RAKE Receiver mit K Zeigern pro Benutzer
- Unsynchronisierte Übertragung zwischen den Endgeräten



Interferenz-Unterdrückung (UL)

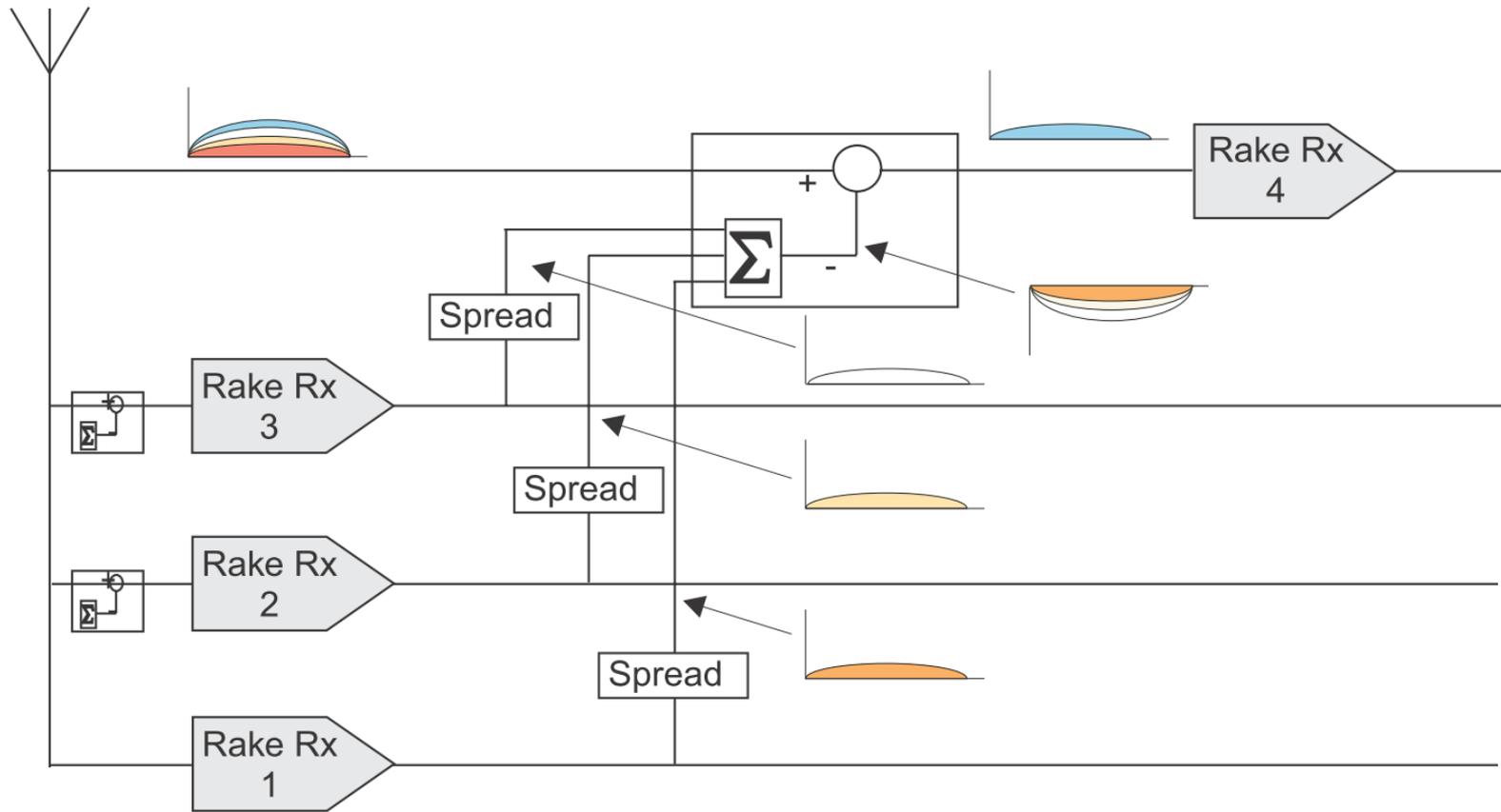
- Mehrbenutzer-Interferenz-Unterdrückung durch gemeinsame Erkennung (**Joint Detection**)



- 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



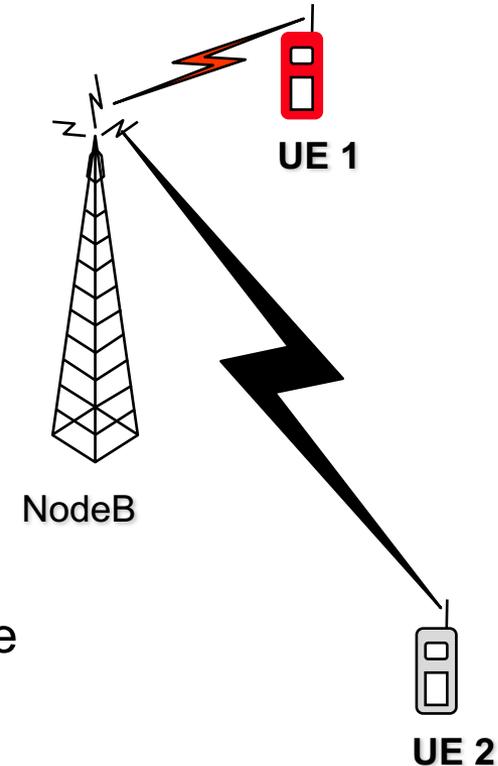
Leistungsregelung (Power Control)

■ Ziel

- Gleiche Empfangsleistung an der Basisstation für alle Mobilstationen

■ Leistungsregelung

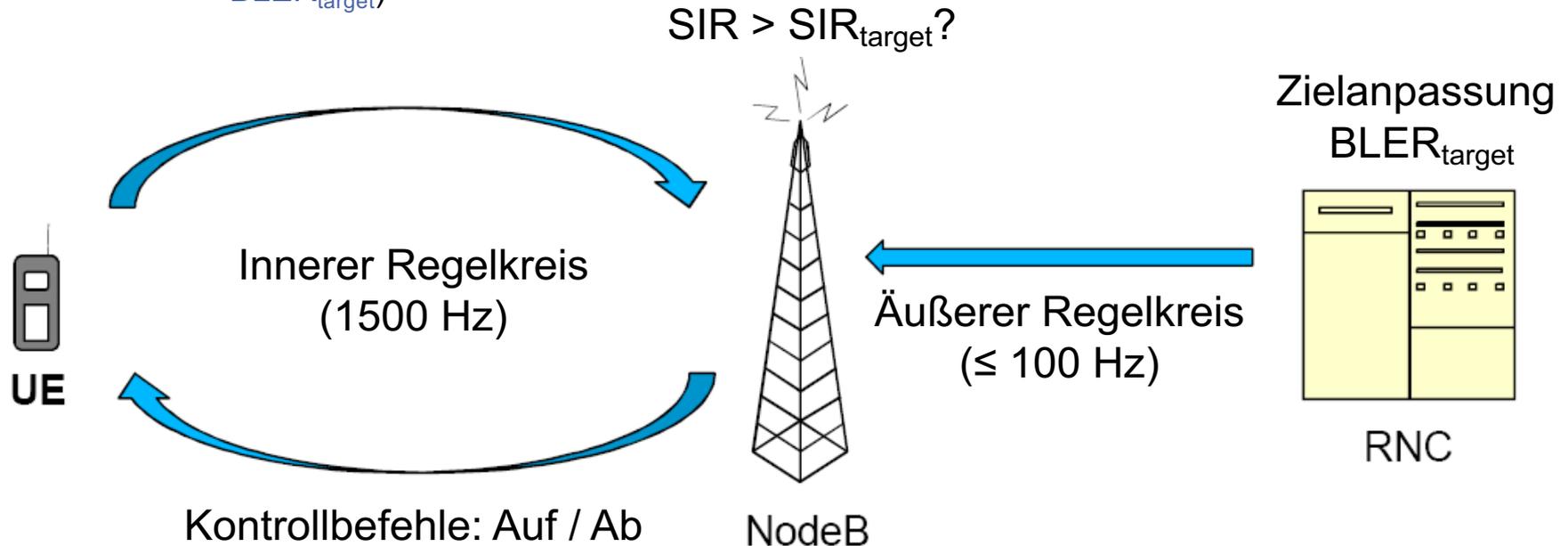
- Anpassung der Sendeleistung der Mobilstationen 1500 mal pro Sekunde
 - In GSM nur ein oder zwei mal pro Sekunde
- Anpassung der Leistungsstärke pro Bit bei allen Mobilstationen
 - Minimierung der Interferenz innerhalb einer Zelle
 - Offener / geschlossener Regelkreis (Open / Closed Loop)
- Berücksichtigung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





Leistungsregelung: Geschlossener Regelkreis

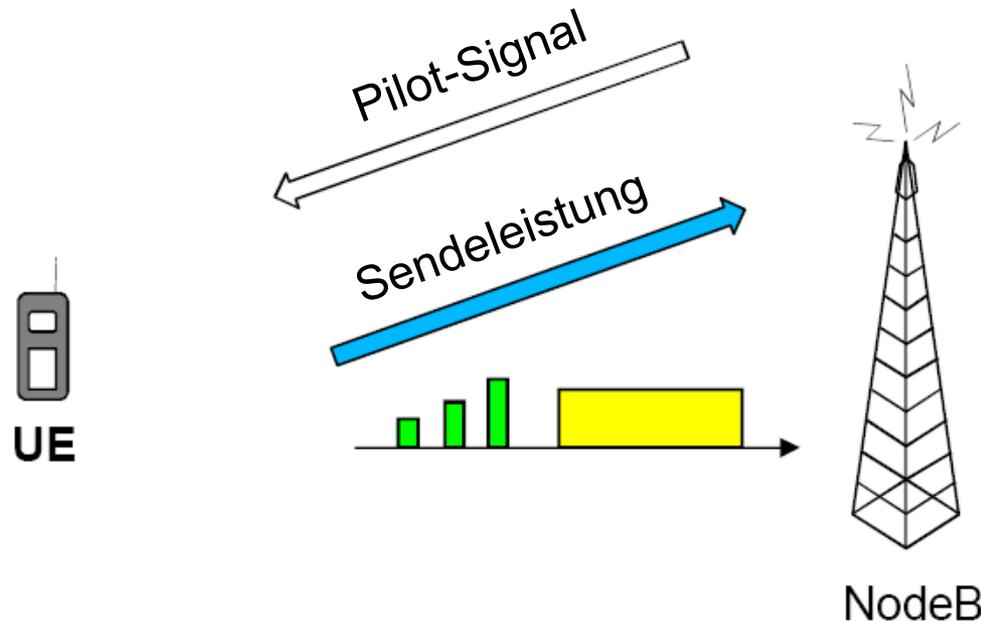
- Verwendet auf bi-direktionalen Kanälen (z.B. dedizierten Datenkanälen)
- Zwei Teile
 - Innerer Regelkreis (Inner Loop Power Control)
 - Empfänger generiert Auf-/Ab-Befehle um Leistung des Senders inkrementell zu verändern
 - Gesendeter Befehl hängt von aktueller SIR und gewünschter SIR_{target} ab
 - 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**)





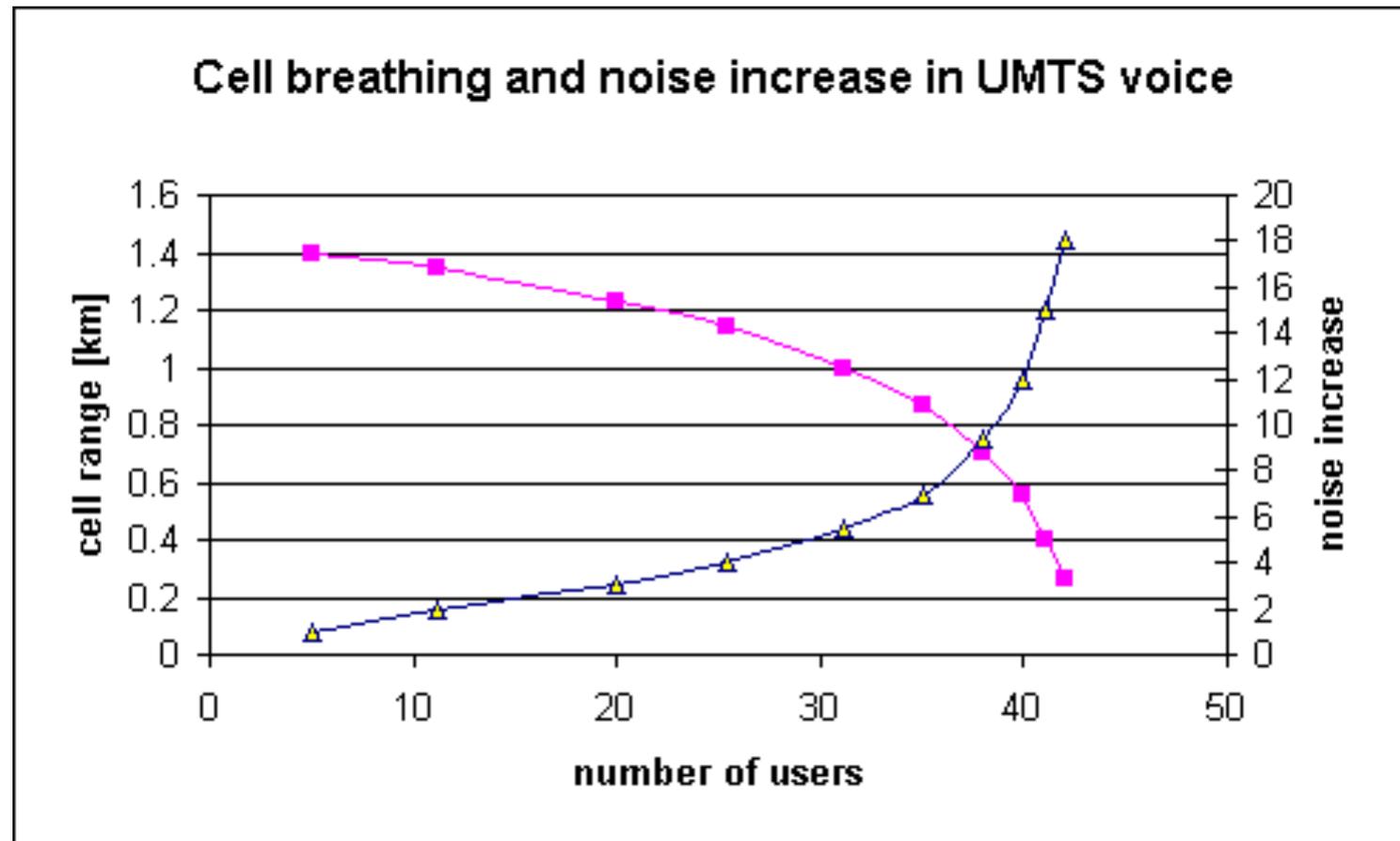
Zellatmung



- 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

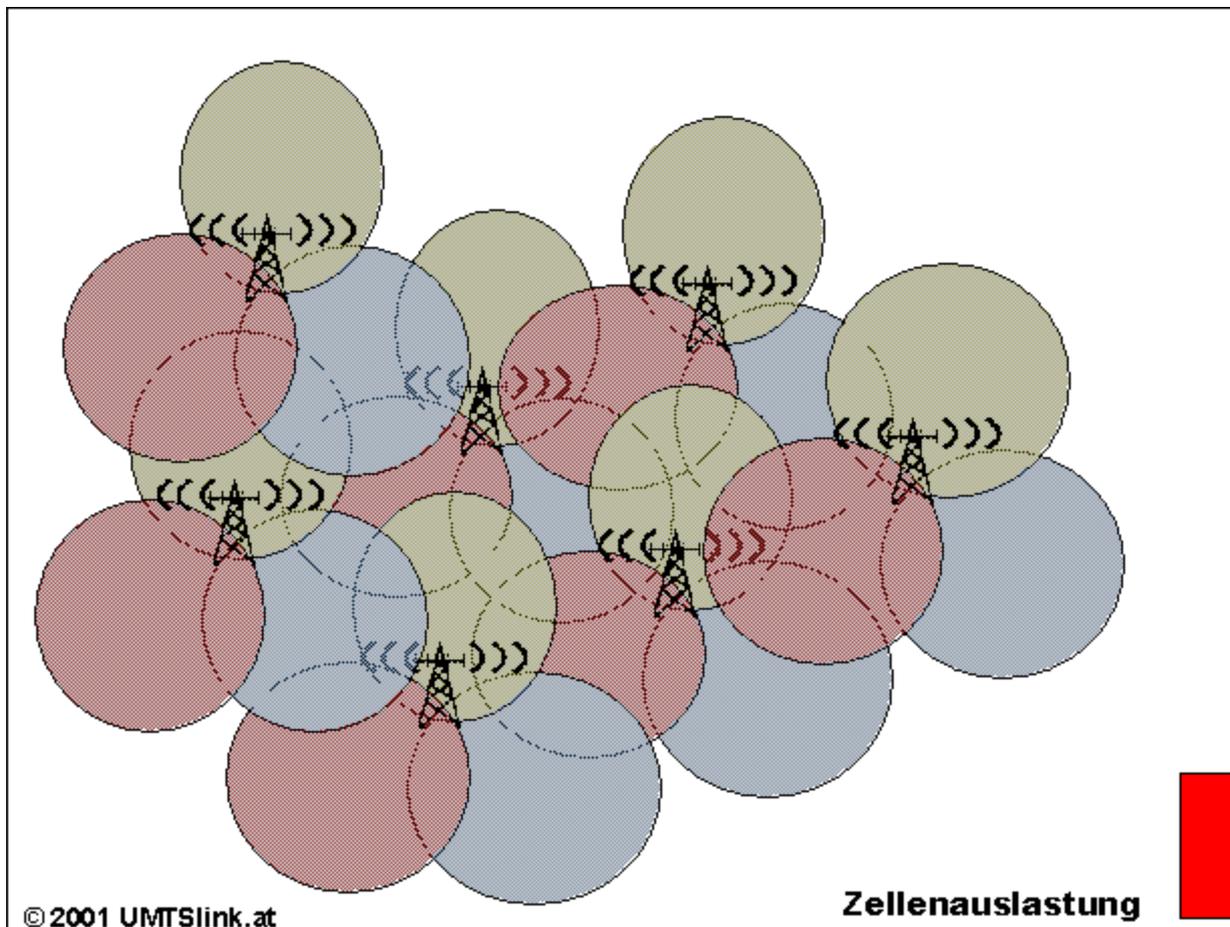


Zellatmung: Beispiel





Zellatmung: Beispiel



Kanalstruktur auf der Luftschnittstelle

■ Logische Kanäle

- Welcher Typ von Information wird übertragen?

■ Transportkanäle

- Zuordnung zwischen logischen und physikalischen Kanälen

■ Physikalische Kanäle

- Übertragungsmedium

Kanalstruktur auf der Luftschnittstelle

- Strukturierung in der physikalischen Schicht
 - Übertragung so genannter Transportblöcke
- Zwei Arten von Transportkanälen
 - Dedizierte Transportkanäle
 - Können über einen physikalischen Kanal eindeutig einer Mobilstation zugeordnet werden
 - **Dedizierter Kanal** (Dedicated Channel – **DCH**)
 - Bidirektionaler Kanal; exklusiv einer Mobilstation zugeordnet
 - Datenrate kann alle 10 ms geändert werden
 - **Schneller Uplink Kanal** (Fast Uplink Signalling Channel – **FAUSCH**)
 - Benutzt Mobilstation, um mitzuteilen, dass sie einen neuen dedizierten Kanal benötigt
 - Existiert nur im Uplink und nur bei FDD
 - **ODMA dedizierter Kanal** (ODMA Dedicated Channel – **ODCH**)
 - ODMA: Opportunity Driven Multiple Access
 - Im TDD-Modus kann Mobilstation als Relay dienen
 - ODCH wird dann zum Transport von Daten genutzt
 - Bidirektionaler Kanal
 - Datenrate kann alle 10 ms angepasst werden

Transportkanäle

- Gemeinsame Transportkanäle
 - Adressierung zur Unterscheidung der Mobilstationen erforderlich
 - Random Access Channel (RACH)
 - Alle Mobilstationen konkurrieren um diesen Kanal
 - Zufallszugriff
 - Übermittlung nicht-zeitkritischer Steuer- und Nutzdaten
 - ODMA Random Access Channel (ORACH)
 - Zufallszugriff im Relay-Betrieb
 - Broadcast Channel (BCH)
 - Rundsenden von Systeminformation in einer Zelle
 - Existiert nur im Downlink; hat feste Datenrate
 - ...

Physikalische Kanäle im FDD-Modus

- Kanal charakterisiert durch
 - Mittenfrequenz und Spreizcode
- Dedizierte physikalische Kanäle
 - **Uplink Dedicated Physical Data Channel (DPDCH)**
 - Übertragung von Nutzdaten, Mobilitätsmanagement etc.
 - Schicht-1-Verbindung besitzt mehrere oder keinen DPDCH
 - Existiert nur auf dem Uplink
 - **Dedicated Physical Control Channel (DPCCH)**
 - Steuerung der Datenübertragung
 - Übertragung von Information der physikalischen Schicht
 - Existiert nur auf dem Uplink
 - Jede Schicht-1-Verbindung besitzt genau einen DPCCH
 - **Dedicated Physical Channel (DPCH)**
 - Erfüllt Aufgaben von DPDCH und DPCCH auf dem Downlink
 - Existiert nur auf dem Downlink

Physikalische Kanäle im FDD-Modus

- Gemeinsame physikalische Kanäle
 - Synchronization Channel (SCH)
 - Zellsuche und Synchronisation der Mobilstationen
 - Existiert nur im Downlink
 - Common Control Physical Channel (CCPCH)
 - Verteildienste im Downlink
 - Common Pilot Channel (CPICH)
 - Unterstützung der Makrodiversität
 - Verteilung der gleichen vordefinierten Codesequenz in verschiedenen Zellen
 - Physical Random Access Channel (PRACH)
 - Trägt den RACH
 - Zufallszugriff, Übertragung kleiner Datenmengen
 - ...

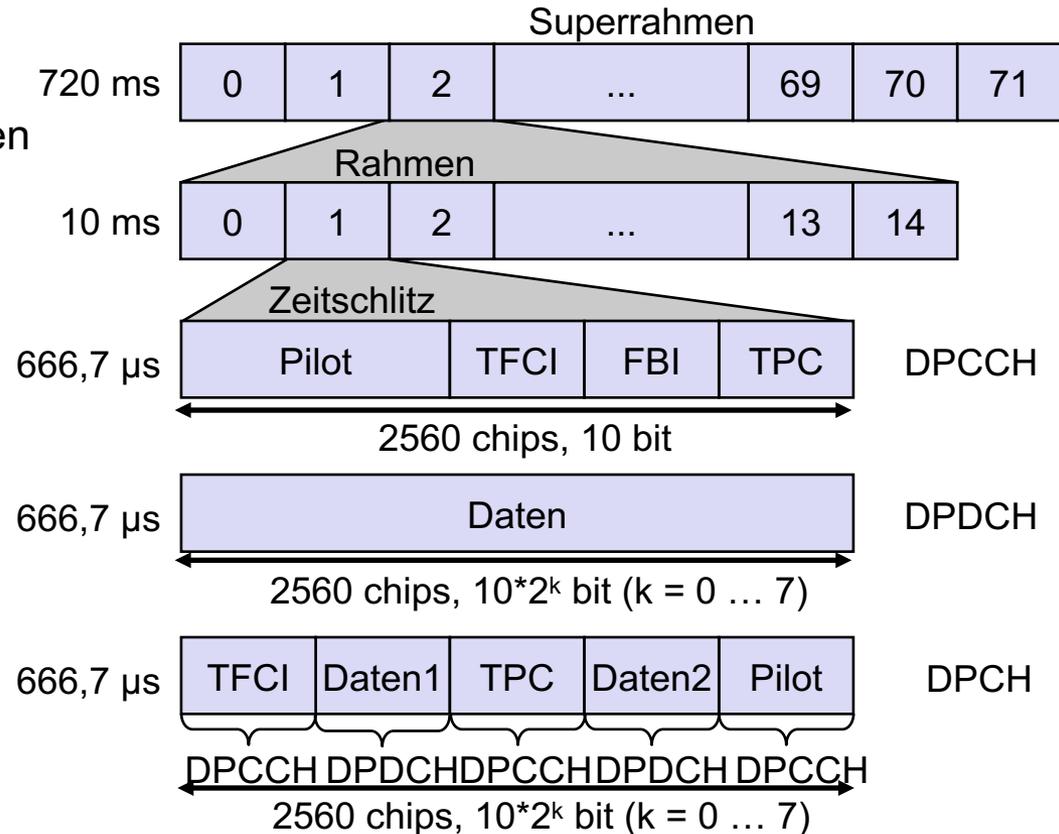
Rahmenstruktur bei FDD

■ Abbildung der physikalischen Kanäle auf einheitliche Rahmenstruktur

- Burstaufbau für die dedizierten Kanäle
- Je 15 Bursts formen 10ms langen Rahmen
- 72 Rahmen bilden einen Superrahmen

■ Informationen in den Bursts

- Pilot
 - Bekannte Bitfolge
 - Liefert Bewertung des Kanals
- TPC (Transmit Power Control)
 - Regeln der Sendestärke
- TFCI (Transport Format Combination Indicator)
 - Signalisiert Format der Transportblöcke
- FBI (Feedback Information)
 - Nur im Uplink



Logische Kanäle

- Erbringen die Dienste der MAC-Schicht

- Gegliedert in
 - Kontrollkanäle
 - Z.B. für Synchronisation, Broadcast, Paging
 - Verkehrskanäle
 - Übertragung von Nutzdaten

- ... Abbildung auf Transportkanäle und von diesen auf physikalische Kanäle

10.5 Sicherheit in UMTS

■ Authentifikation

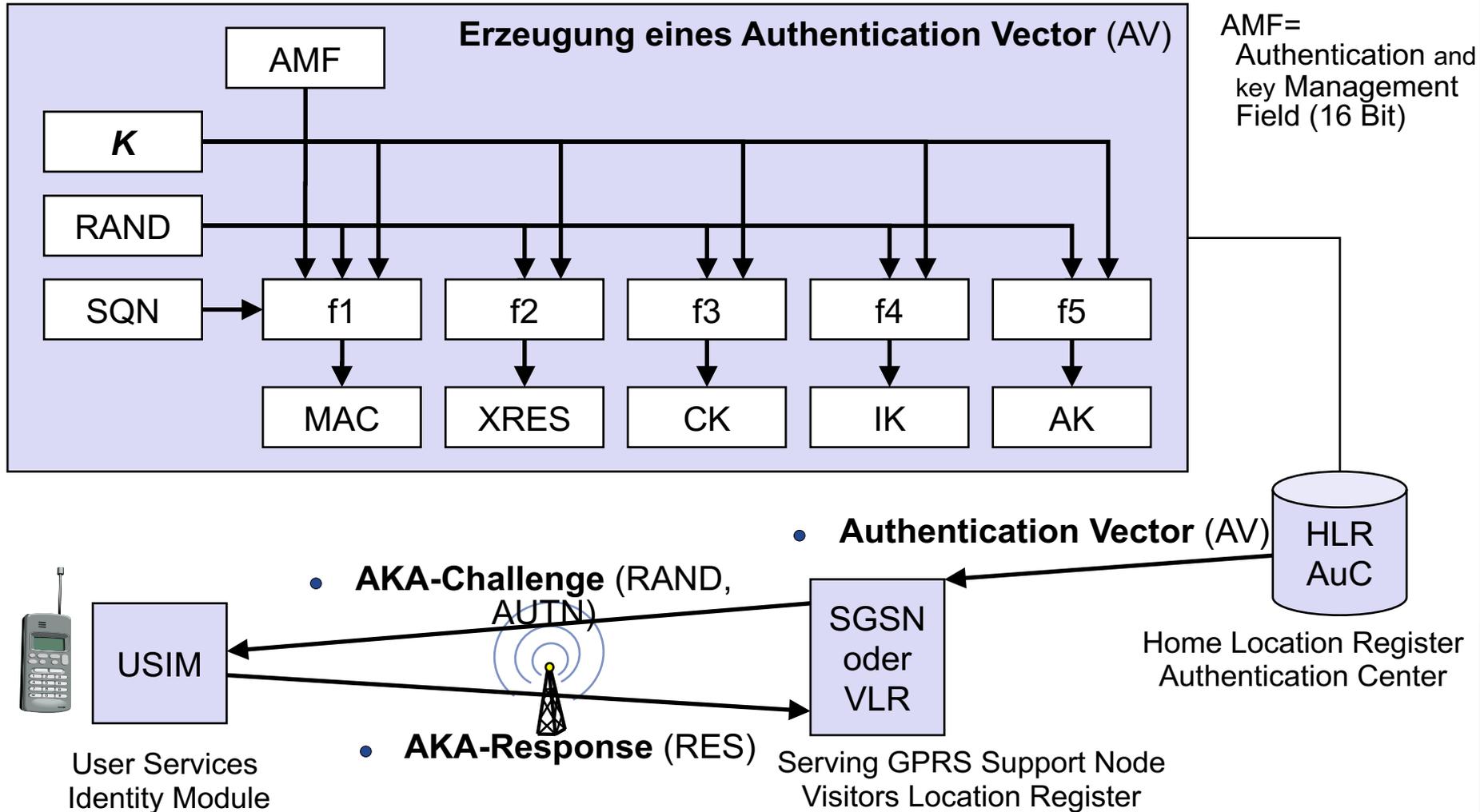
- Geheimer Schlüssel K (Master Key)
 - nur dem USIM in der Mobilstation und dem HLR/AuC bekannt
- Authentifizierung im VLR oder SGSN
 - Fordern **Authentisierungsvektoren (AV)** beim HLR/AuC an.
 - RAND (random challenge) zur Authentifikation des Teilnehmers
 - XRES (expected response) zur Authentifikation des Teilnehmers
 - CK (cipher key) zum Schutz der Vertraulichkeit
 - IK (integrity key) zum Schutz der Integrität
 - AUTN (authentication token) zur Authentifikation des Netzes
 - Mobilstation (USIM) erhält RAND und AUTN
 - Prüft AUTN
 - Berechnet RES auf die Herausforderung RAND
 - VLR bzw. SGSN erhalten RES zurück
 - Vergleich mit XRES

■ Integrität und Vertraulichkeit

- Auf Anordnung des MSC/VLR oder SGSN
 - Verschlüsselung bzw. Integritätsschutz zwischen Mobilstation und RNC über RLC-Schicht mit CK bzw. IK

Authentifikation in UMTS

■ Authentication and Key Agreement (AKA) in UMTS



Authentifikation in UMTS

- Funktionen für Authentication and Key Agreement
 - f1: Berechnung eines MAC (Message Authentication Code)
 - f2: Berechnung von XRES
 - f3, f4, f5: Berechnung eines Schlüssels aus einer Zufallszahl
 - \oplus XOR, \parallel Konkatenation
- Erzeugen eines AV (5-Tupel) im HLR/AuC
 - Erzeugen einer zufälligen Sequenznummer SQN (einmal am Anfang)
 - Erzeugen einer zufälligen Herausforderung RAND (pro AV)
 - AMF (authentication and key management field)
 - z.B. zur Unterscheidung mehrerer alternativer Algorithmen
 - $MAC = f1_K (SQN \parallel RAND \parallel AMF)$
 - $XRES = f2_K (RAND)$
 - $CK = f3_K (RAND)$
 - $IK = f4_K (RAND)$
 - $AK = f5_K (RAND)$, anonymity key, um SQN zu anonymisieren
 - $AUTN = ((SQN \oplus AK) \parallel AMF \parallel MAC)$
 - $AV = (RAND \parallel XRES \parallel CK \parallel IK \parallel AUTN)$

Authentifikation in UMTS

■ Operationen im USIM

- Empfangen von RAND und AUTN vom VLR oder SGSN
- $AK = f5_K(RAND)$
- $SQN = (SQN \oplus AK) \oplus AK$
- $XMAC = f1_K(SQN || RAND || AMF)$, expected MAC
- Vergleichen von XMAC mit MAC (aus AUTN)
 - Falls ungleich, ist Authentifikation des Netzes fehlgeschlagen
 - Zelle wird von der Mobilstation als gesperrt angesehen
- Prüfung, ob Sequenznummer im erwarteten Bereich liegt
- $RES = f2_K(RAND)$
- Antwort an VLR oder SGSN mit RES
- $CK = f3_K(RAND)$
- $IK = f4_K(RAND)$

■ Operationen im VLR bzw. SGSN

- Empfangen von RES vom USIM
- Vergleichen von RES mit XRES (aus AV vom HLR/AuC)
 - Falls ungleich, ist Authentifikation des Teilnehmers fehlgeschlagen

10.6 IP Multimedia Subsystem (IMS)

- Spezifikation zur Beschreibung der Architektur für die Implementierung von **Telefon- und Multimedia-Diensten** in Next Generation Networks

- Ziel: Nutzung der im Internet verfügbaren Dienste innerhalb von zellularen Netzen
 - Konvergenz von Sprache, Video und Daten in einem zellularen, IP-basierten Netz
 - Schließt Lücke zwischen Zellularen und IP-Netzen

- Entwicklung
 - Erstmals definiert in 3GPP Release 5
 - Session Initiation Protocol (SIP) als Signalisierungsprotokoll festgelegt
 - Parallel dazu Definition eines anderen IMS von 3GPP2
 - Nord-amerikanischer und asiatischer Raum
 - Interoperabilität zu IMS von 3GPP



10.7 WLAN-Integration – Ansätze

■ Zwei grundlegende Ansätze

■ Tight Coupling

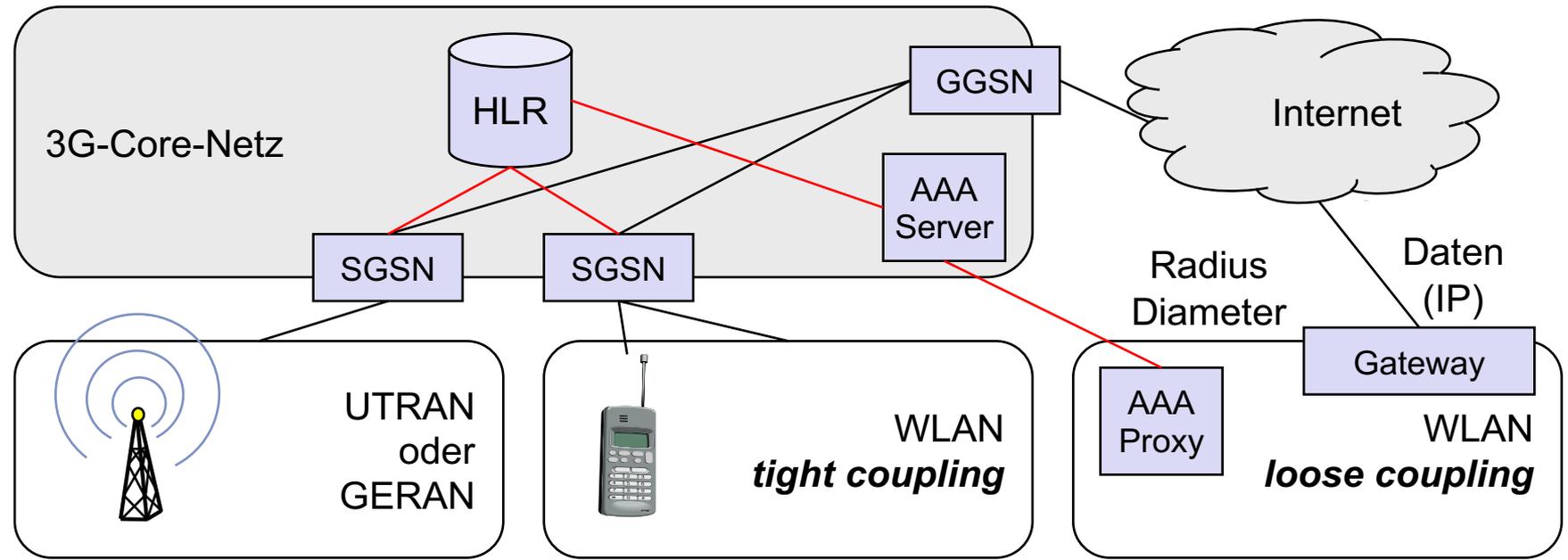
- WLAN als zusätzliches Zugangsnetz in UMTS
- Über eine I_u-Schnittstelle mit Kernnetz verbunden
- Problem: erfordert kompletten 3G-Protokollstack im WLAN

■ Loose Coupling

- WLAN als getrenntes Zugangsnetz
- direkt mit dem Internet verbunden
- gekoppelt über AAA (Authentication, Authorization, Accounting)

■ In UMTS Release 6 wird Loose Coupling umgesetzt

WLAN-Integration – Architektur



10.8 HSPA

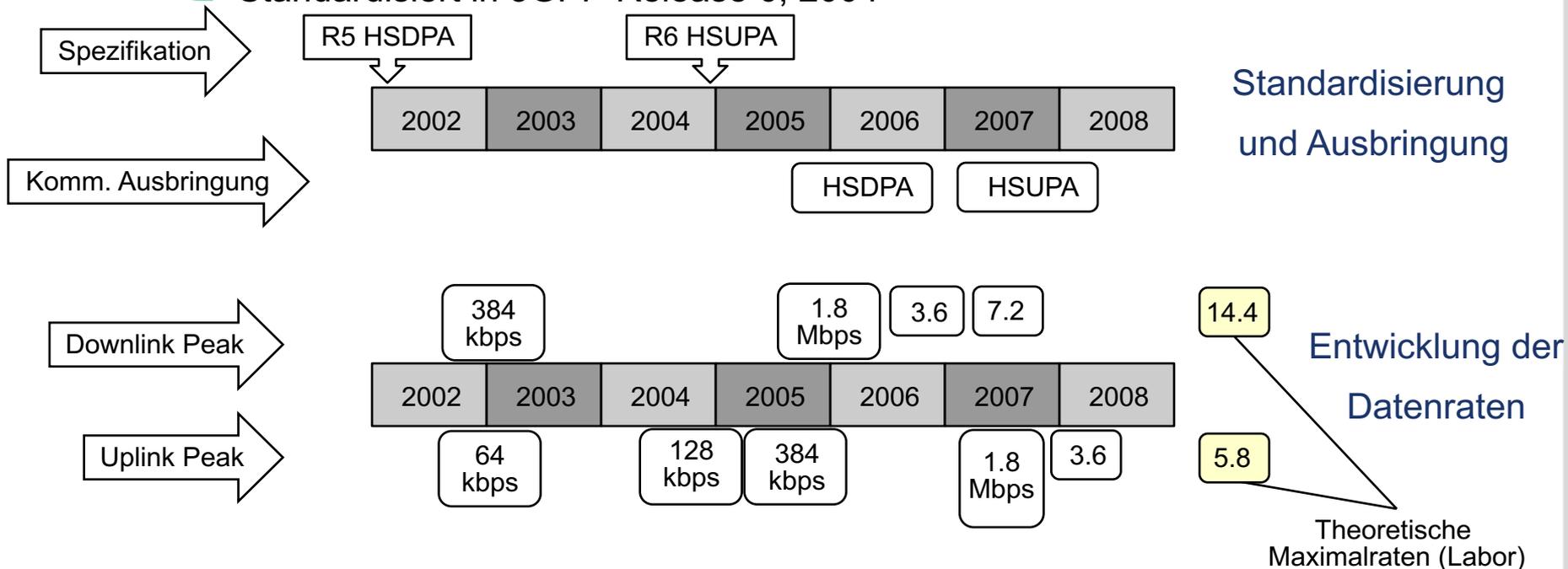
High Speed Packet Access, bestehend aus

HSDownlinkPA

- Standardisiert in 3GPP Release 5, 2002

HSUplinkPA

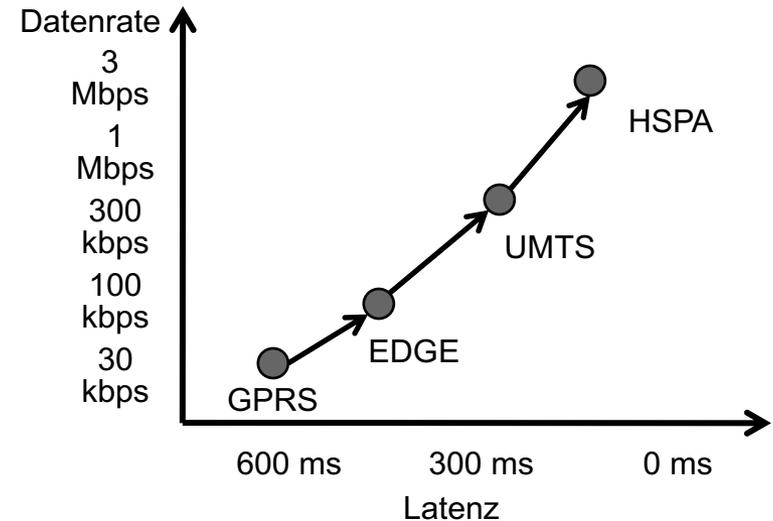
- Standardisiert in 3GPP Release 6, 2004



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

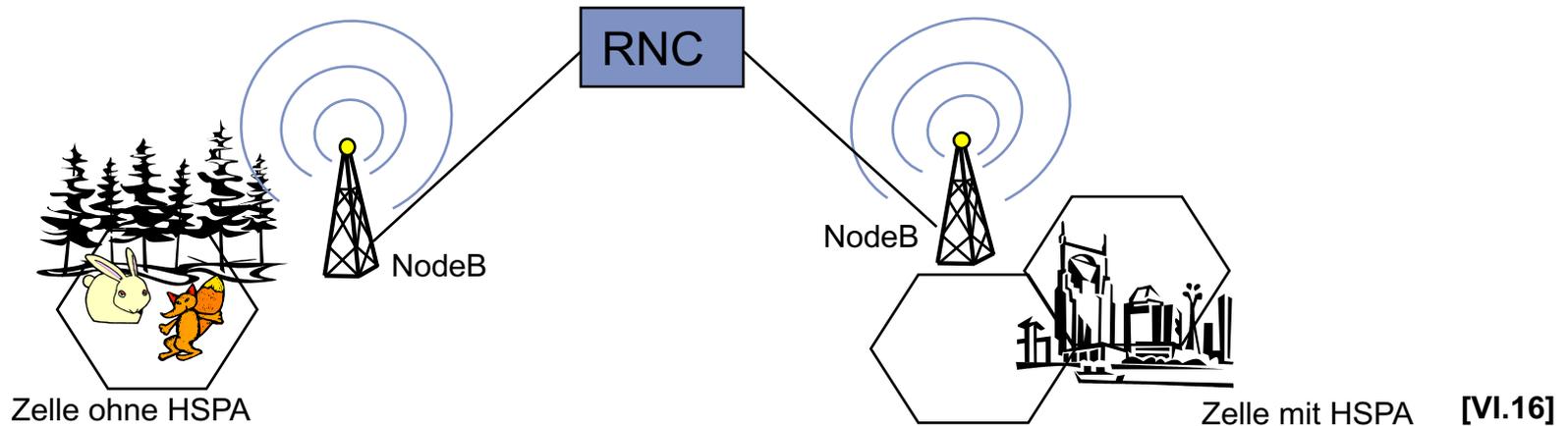
■ Beispiele Vodafone Stand Juli 2013





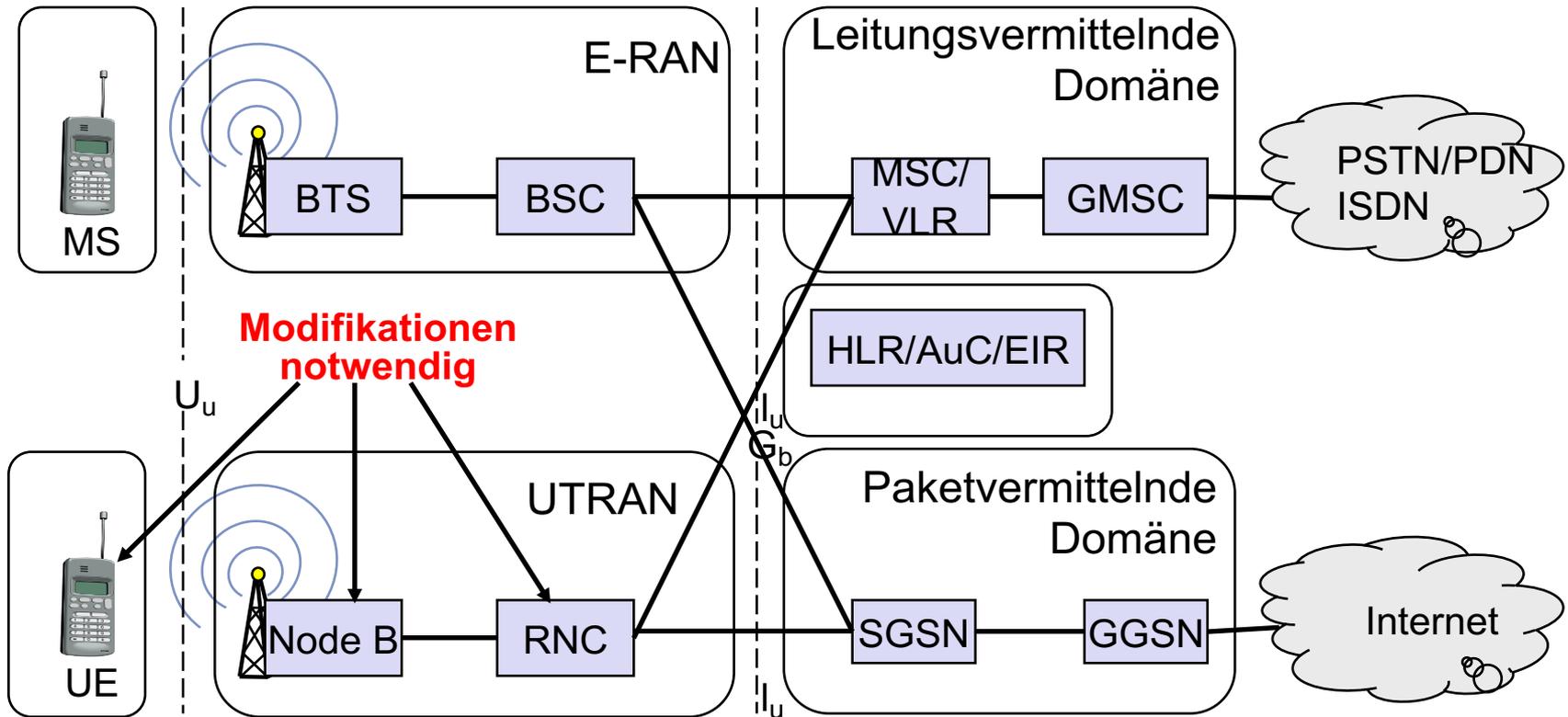
HSPA: Umrüstung der Architektur

- 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)

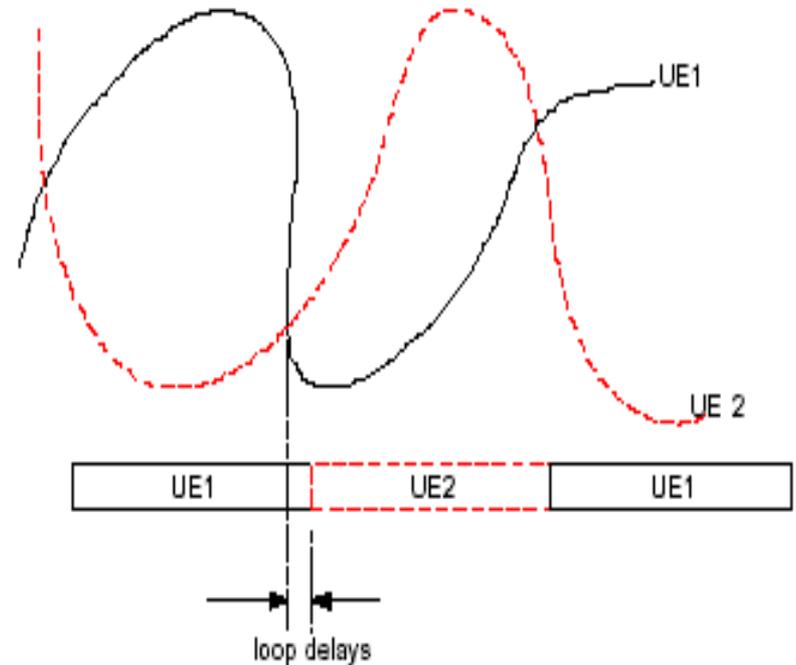
- QPSK: bei minderer Kanalqualität (Datenrate wie UMTS)
- 16QAM: bei sehr guter Kanalqualität (doppelte UMTS-Datenrate)
- FEC: Adaptive Kodierung (Forward Error Correction) mit Hybriden Quittungen (Hybrid ARQ)

■ 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

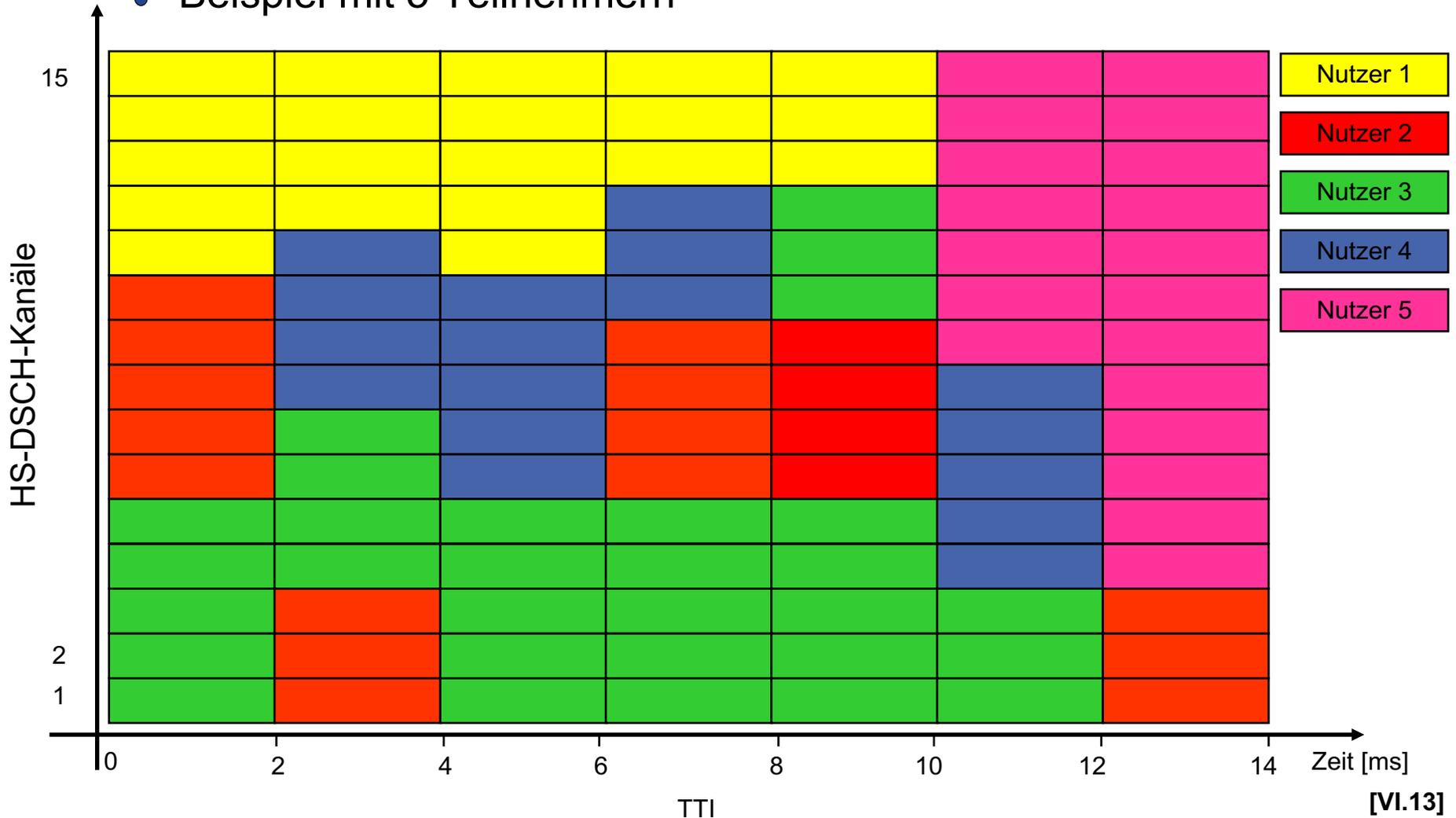
High Speed - Downlink Shared Channel (HS-DSCH)

- 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)

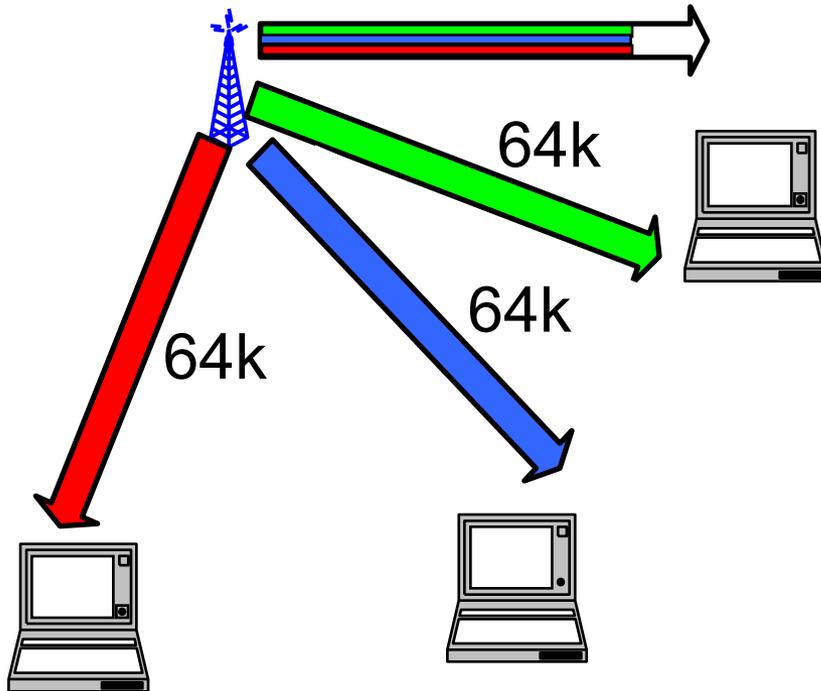
- Wird alle 2ms via auf speziellem Kontrollkanal (**High Speed-Dedicated Physical Control Channel, HS-DPCCH**) an Node-B signalisiert
- Integerwert zwischen 0 und 30 spiegelt sog. **Transport Format Resource Combination (TFRC)** wider, gegeben durch
 - Modulation
 - Spreizfaktor des Channelization Codes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



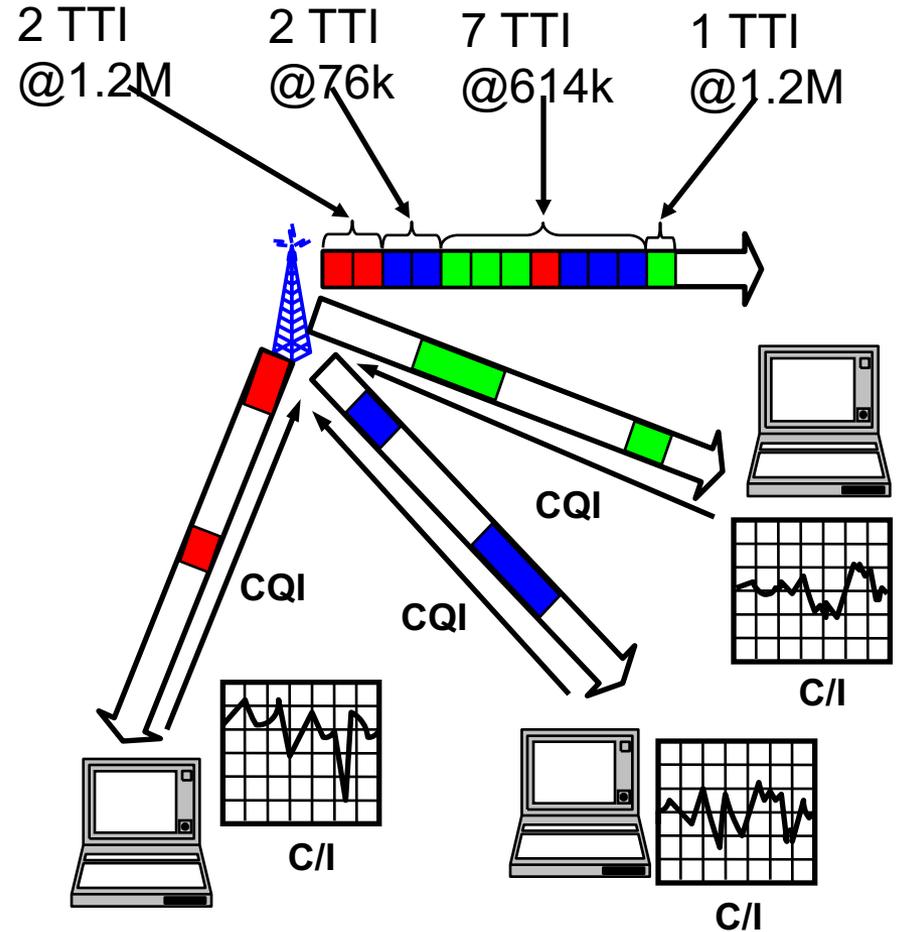
HSDPA Fast Scheduling

3G (Rel.99)
mit dedizierten Kanälen

Hier: Kein schnelles Kanalqualitäts-Feedback

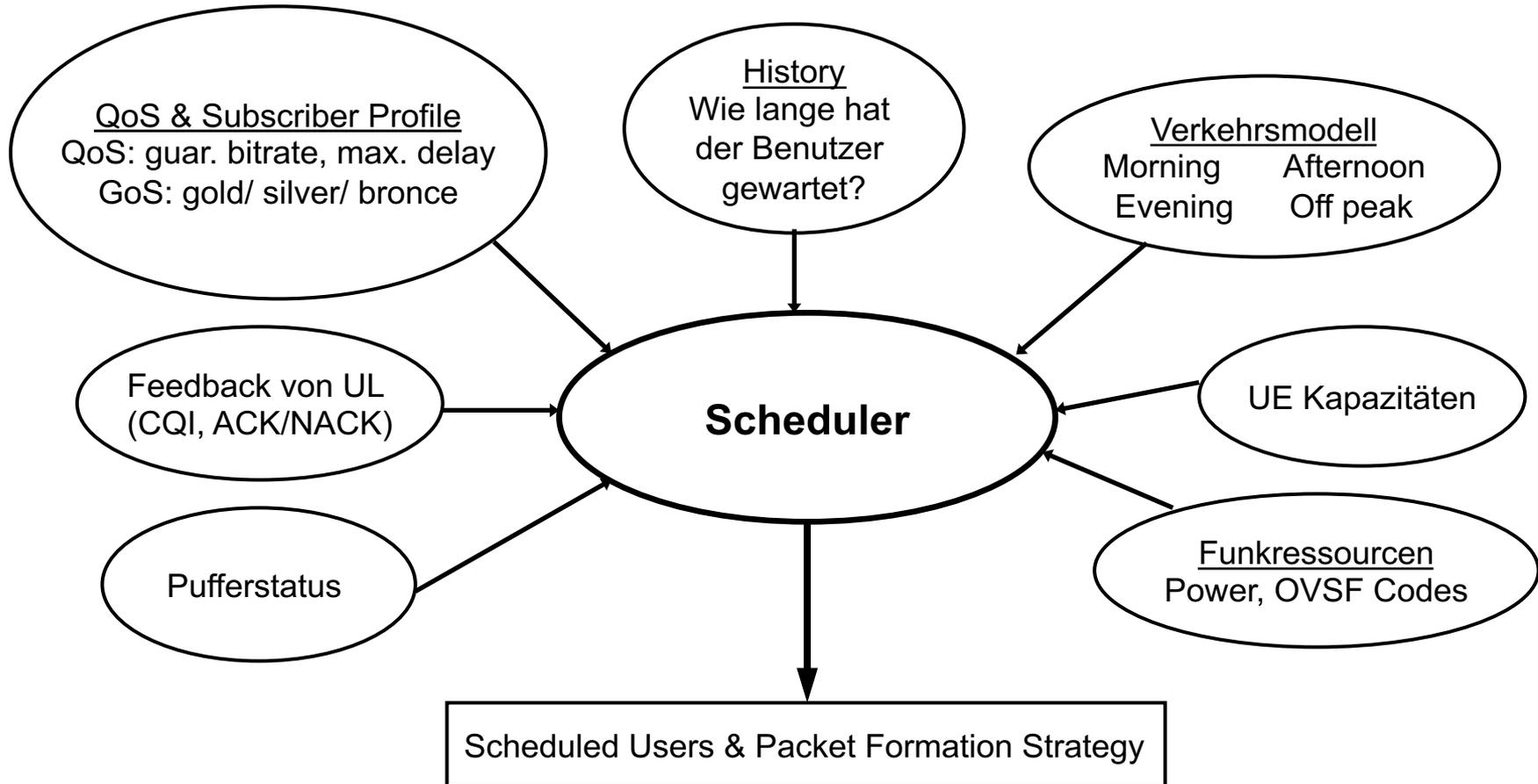


3G mit Highspeed Feedback/Scheduling auf geteilten Kanälen

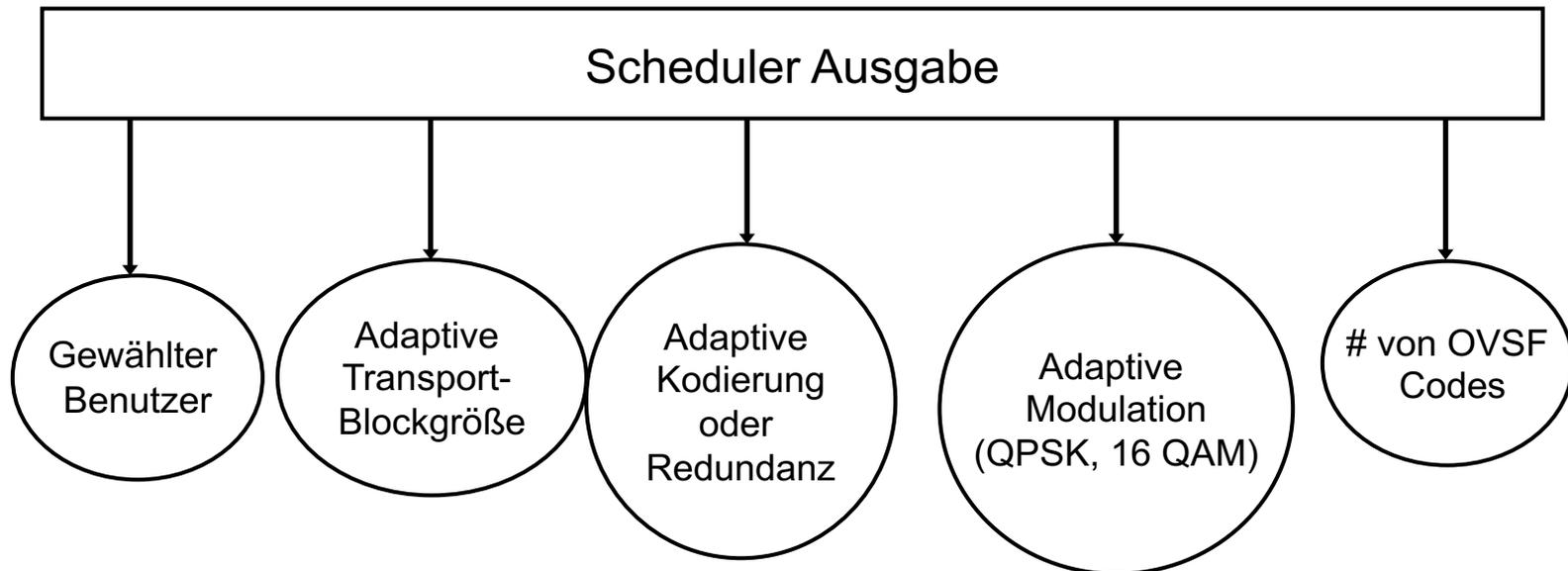




Eingaben des Scheduler



Ausgaben des Scheduler



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



Klassische Scheduling Ansätze

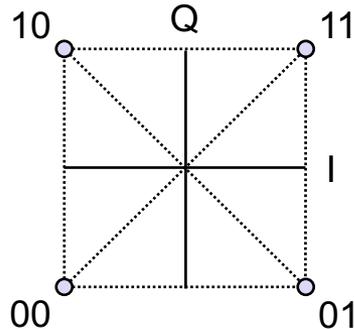
- **Round Robin:** Aufruf jedes Benutzers nacheinander
 - Vorteile ⊕
 - Faire Zeitzuteilung (bei gleicher Länge der Zeitschlitz)
 - Sehr einfacher Ansatz
 - Nachteile ⊖
 - Geringer Zellen- und Benutzerdurchsatz
- **Best Effort:** Wähle Benutzer mit bester Kanalqualität
 - Vorteile ⊕
 - Einfach zu implementieren und höchster Durchsatz
 - Nachteile ⊖
 - Aushunger (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

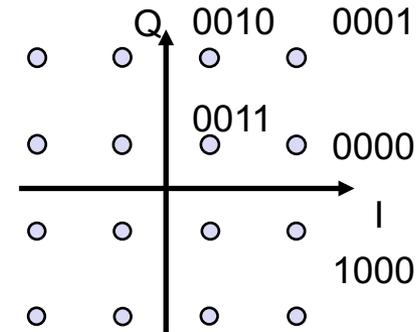
Zur Erinnerung: Modulationsverfahren (siehe auch Kapitel 2)

■ 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

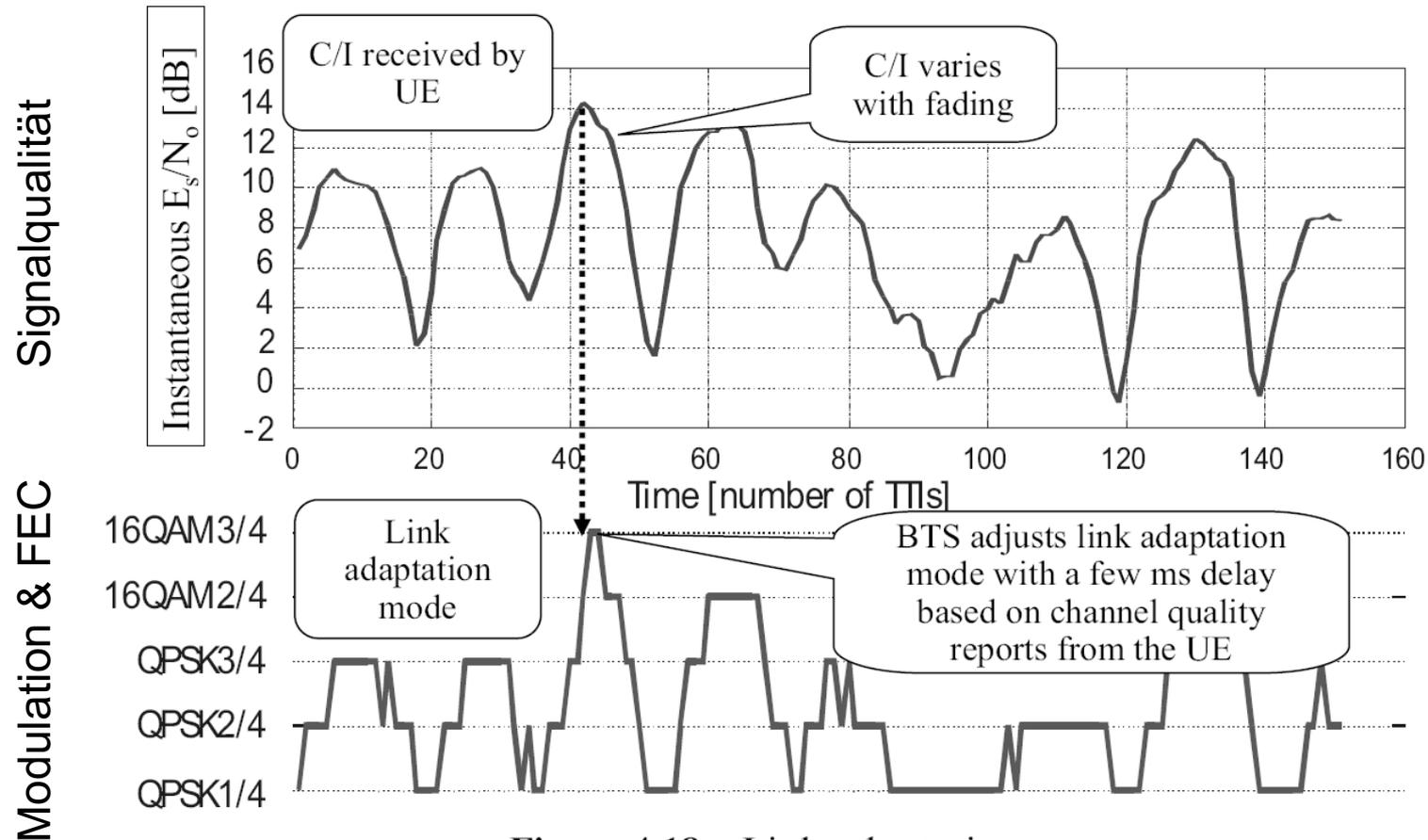


Figure 4.18 Link adaptation.

Quelle: [VI.17]



HSDPA Resultierende Datenraten

■ Einfluss von AMC und Kanalzuteilung auf Datenraten:

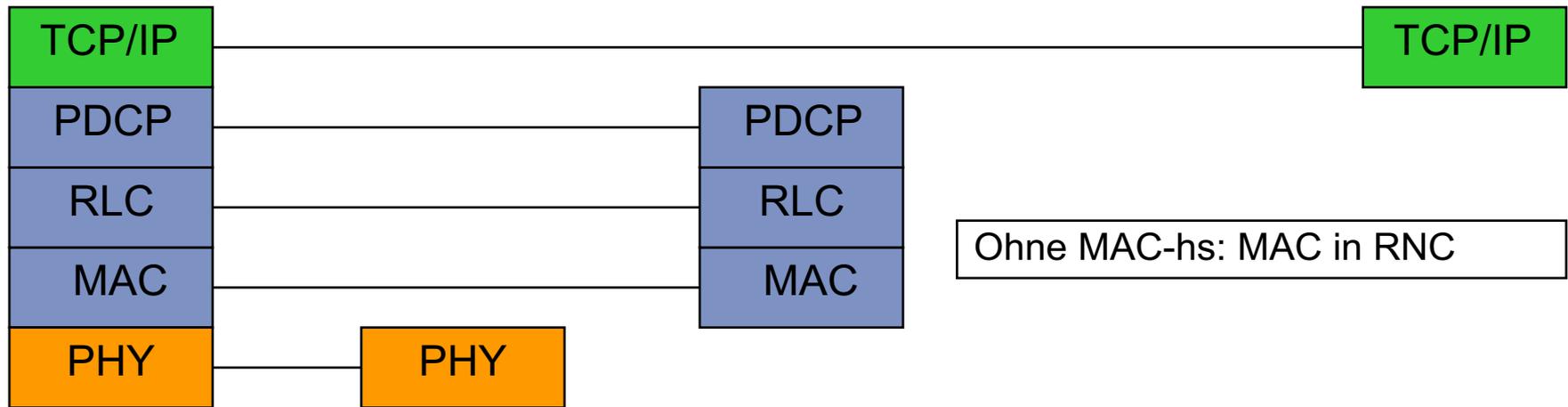
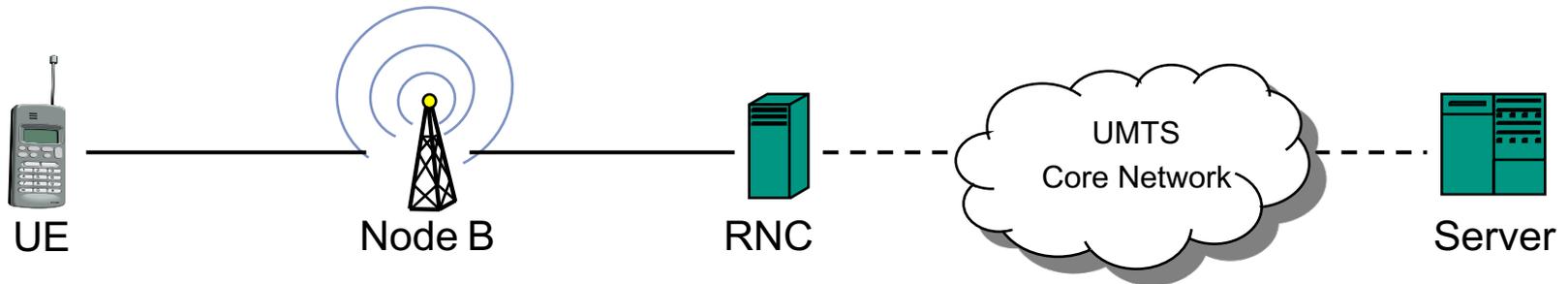
Modulation	FEC-Rate	5 Kanäle	10 Kanäle	15 Kanäle
QPSK	1/4	0,6 MBit/s	1,2 MBit/s	1,8 MBit/s
	2/4	1,2 MBit/s	2,4 MBit/s	3,6 MBit/s
	3/4	1,8 MBit/s	3,6 MBit/s	5,4 MBit/s
16 QAM	2/4	2,4 MBit/s	4,8 MBit/s	7,2 MBit/s
	3/4	3,6 MBit/s	7,2 MBit/s	10,8 MBit/s
	4/4	4,8 MBit/s	9,6 MBit/s	14,4 MBit/s

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:

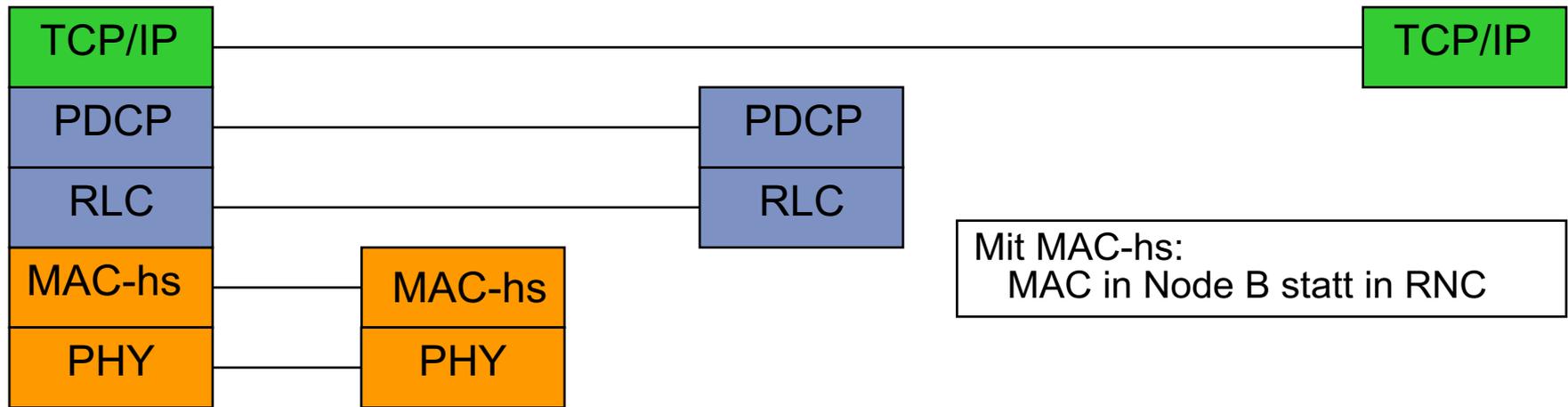
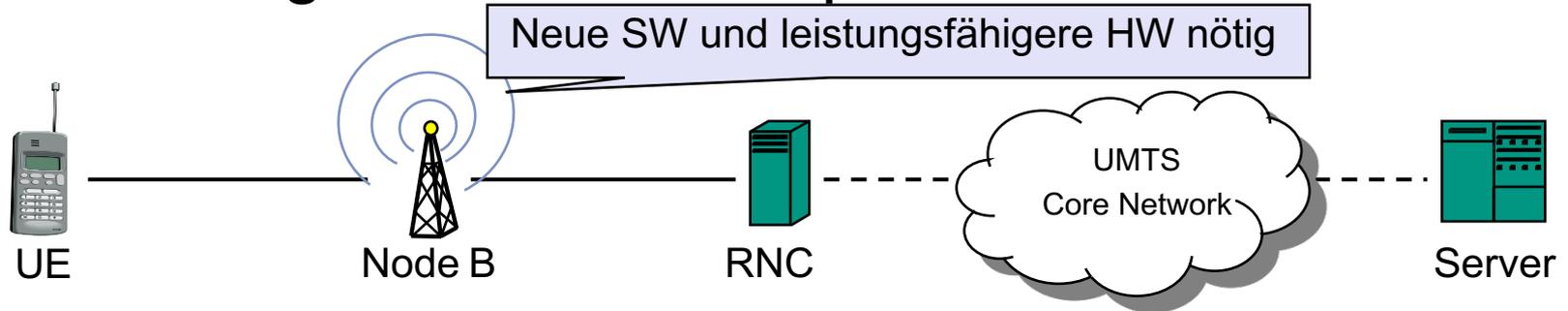


PDCP: Packet Data Convergence Protocol
RLC: Radio Link Control



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

■ Neuerung im Protokollstapel durch MAC-hs:

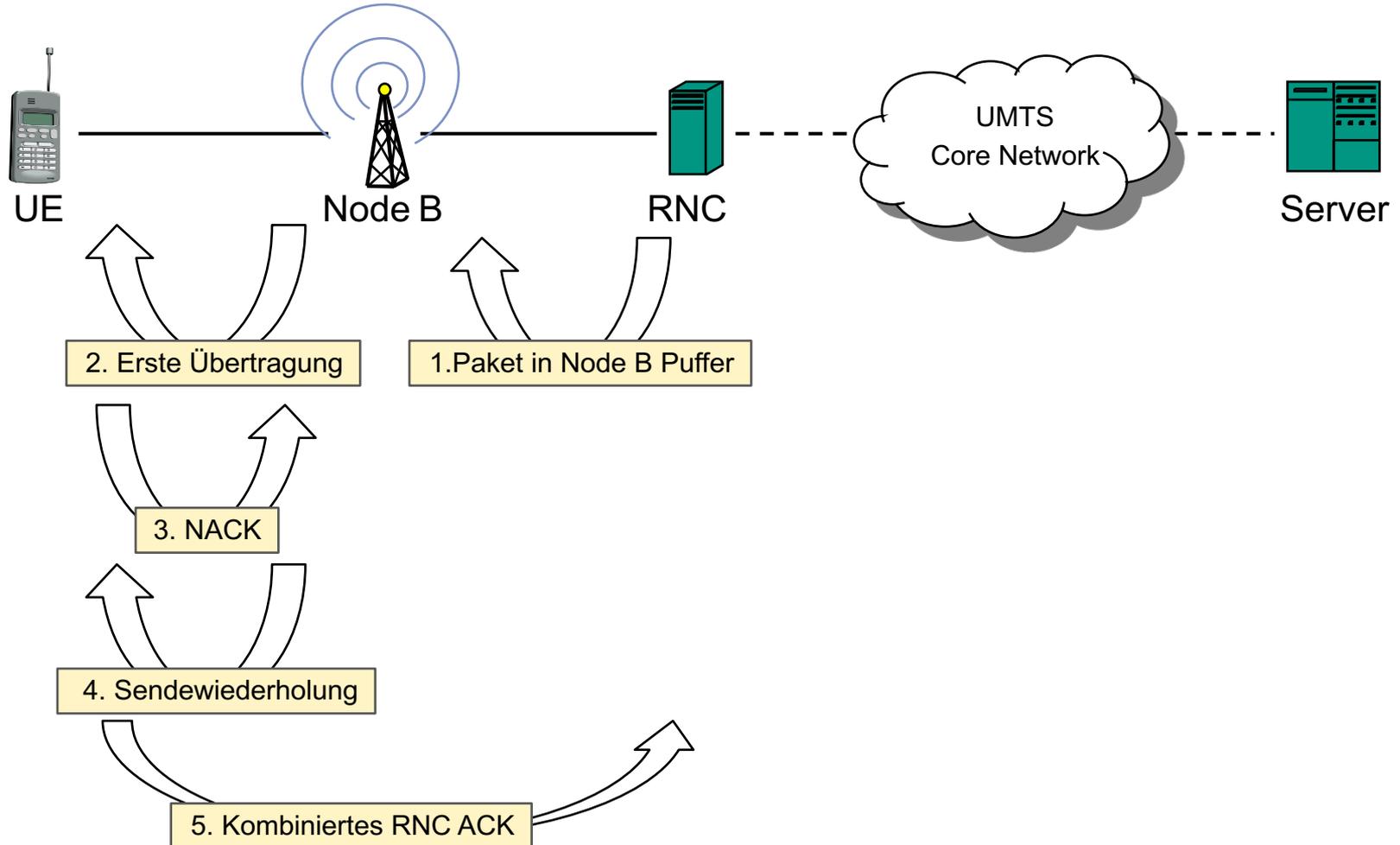


PDCP: Packet Data Convergence Protocol
RLC: Radio Link Control



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



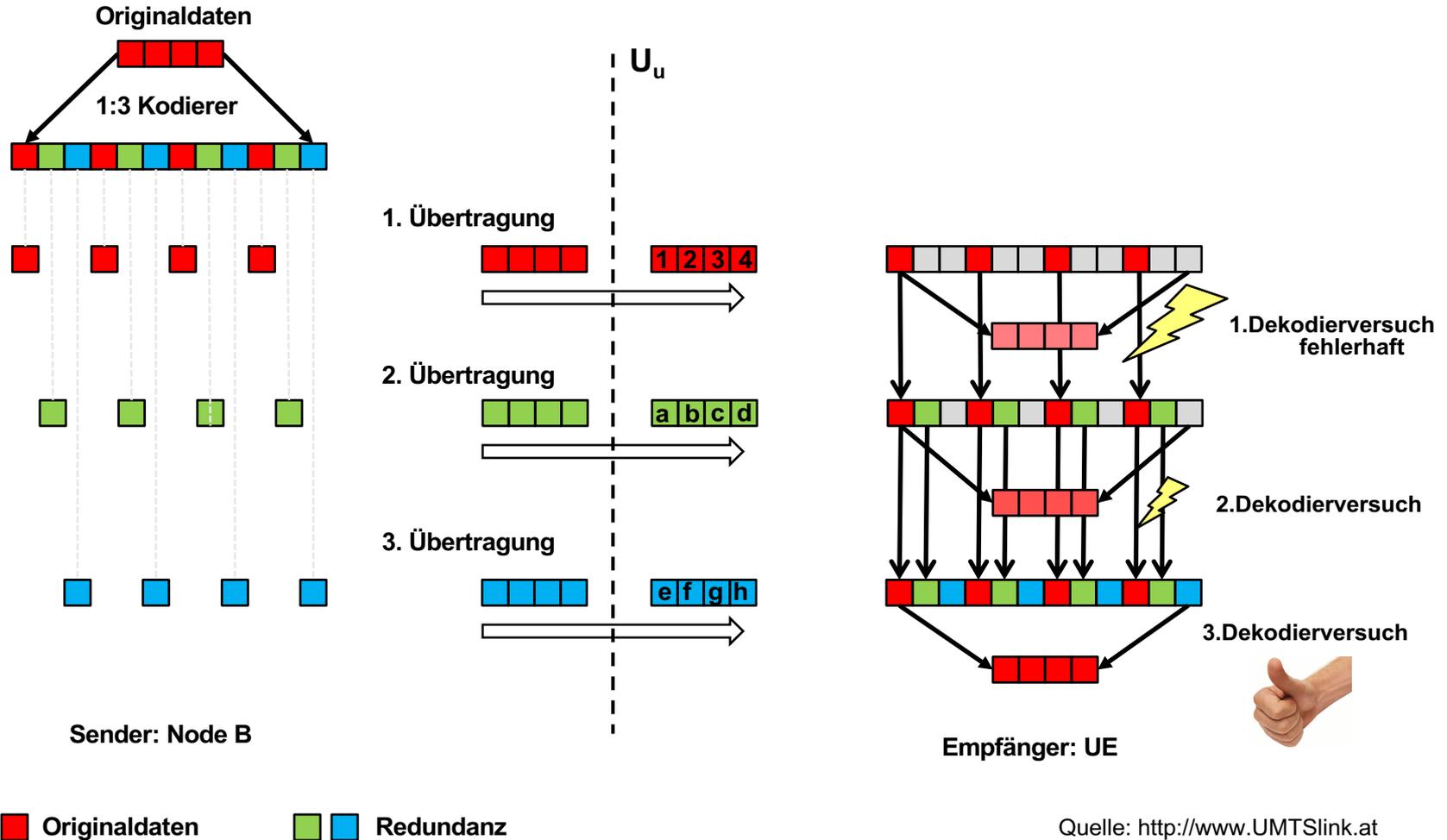
Hybrid Automatic Repeat Request

- 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



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

■ Motivation

- Nachdem Downlink-Kapazitäten durch HSDPA stark gestiegen waren, sah man auch Notwendigkeit für Verbesserung des Uplinks

■ Realisierung

- Eher als Erweiterung zu sehen
- Architektur bleibt unangetastet mit Ausnahme
 - der Endgeräte (UE)
 - des Node B

■ Alle Änderungen erweitern Release 99

- Bestehende Infrastruktur kann weitergenutzt werden

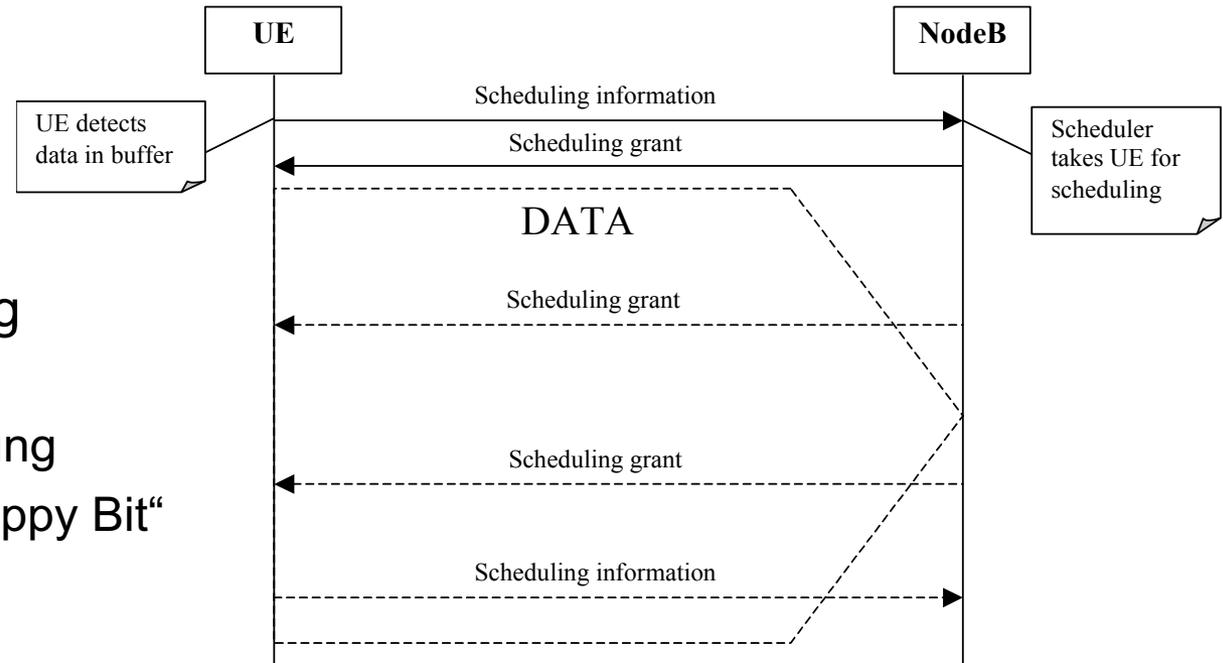


HSUPA: E-DCH

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



E-DCH Scheduling



- UE sendet Scheduling Information

- MAC-e Signalisierung
- Auf E-DPCCH: „Happy Bit“

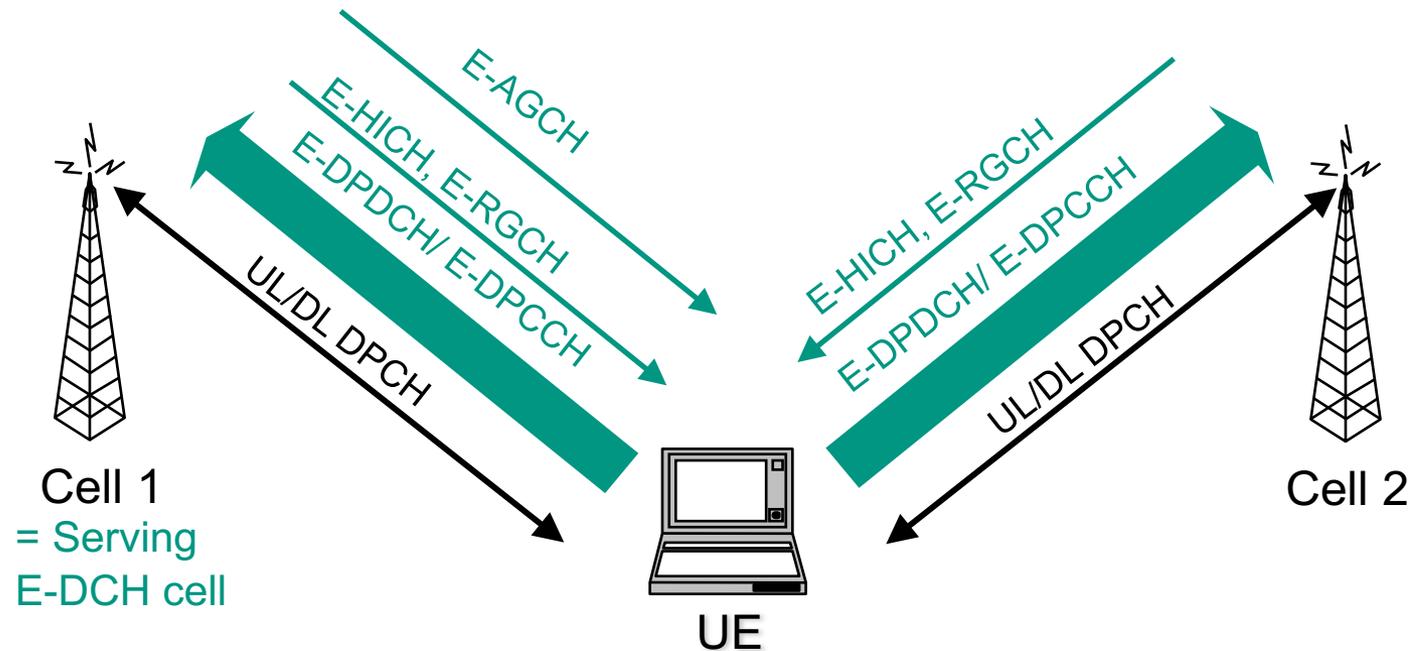
- Node B reserviert Ressourcen

- Absolute/Relative Scheduling Zusagen
- Algorithmen im Standard offengelassen

- Abhängig von Zusagen entscheidet UE

- Wählt in jeder TTI Menge der zu übertragenden E-DCH Daten
- Algorithmen in UMTS Standard voll beschrieben

UMTS Kanal mit E-DCH



Rel-6 E-DCH (in SHO)

- UL PS service (DTCH)
- UL Signalling (DCCH)

R99 DCH (in SHO)

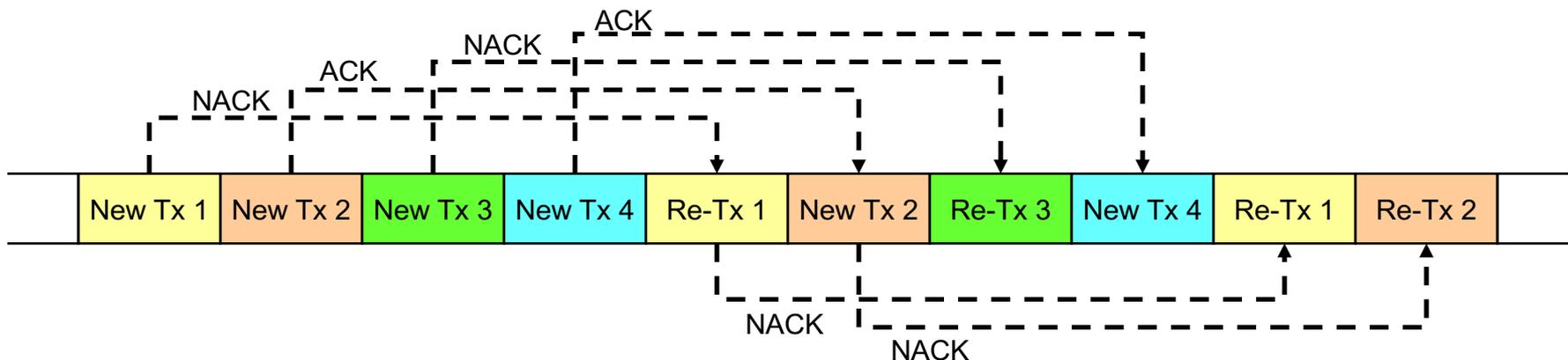
- ◆ UL/DL signalling (DCCH)
- ◆ UL/DL CS Sprache/ Daten

Rel-5 HS-DSCH (nicht gezeigt)

- ◆ DL PS service (DTCH)
- ◆ DL signalling (Rel-6, DCCH)

Hybride ARQ Operation

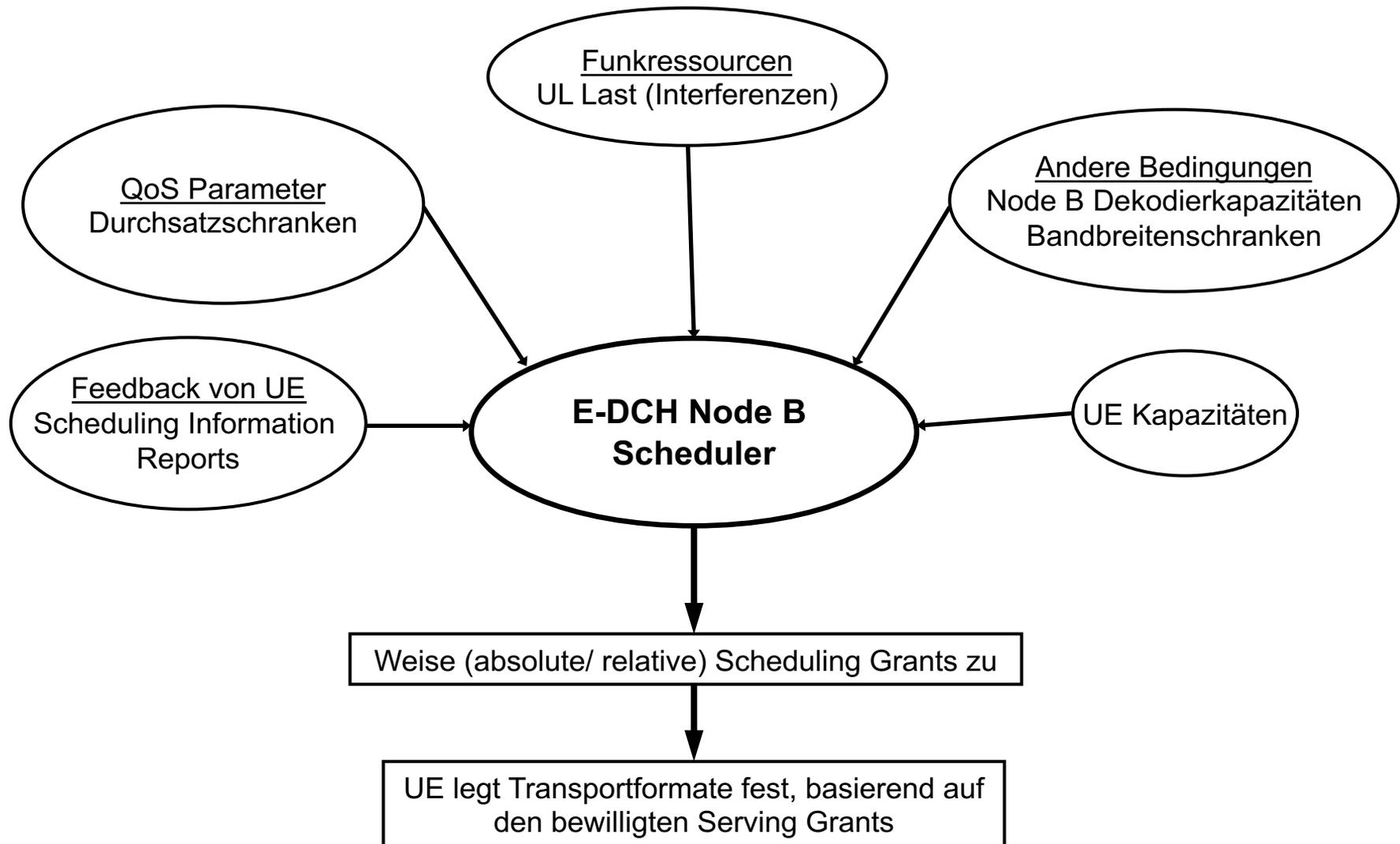
- N parallele HARQ mit Stop-and-Wait
 - Anzahl N zur ununterbrochenen E-DCH Übertragung
 - 10 msec TTI: 4
 - 2 msec TTI: 8
- Synchrone Übertragungen
 - Sendewiederholung von MAC-e PDE folgt auf vorangegangene HARQ Übertragung nach $N \text{ TTI} = 1 \text{ RTT}$
 - Inkrementelle Redundanz durch Ratenanpassung
- Max. # HARQ Sendewiederholungen in HARQ Profil spezifiziert



Scheduling Information

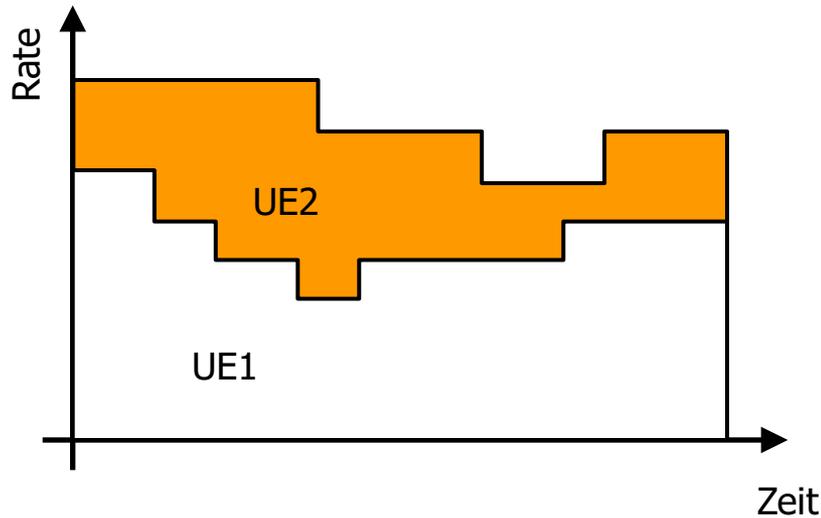
- Happy Bit Signalisierung
- Einzelnes Bit als Status auf E-DPCCH in jeder TTI
- Kriterien
 - Setze auf „Unhappy“ wenn UE mehr Daten senden darf als im existierenden Serving Grant angegeben
 - Sonst setze auf „Happy“
- Scheduling Informationen
- Inhalt eines MAC-e Reports
 - Detailliertere Information (logische Kanäle, Pufferstatus, UE Sendeleistung)
 - Weniger frequentiv (z.B. alle 100 ms)
- Parameter von RRC gesetzt (z.B. Intervalle, Kanäle für Report)

HSUPA Scheduling



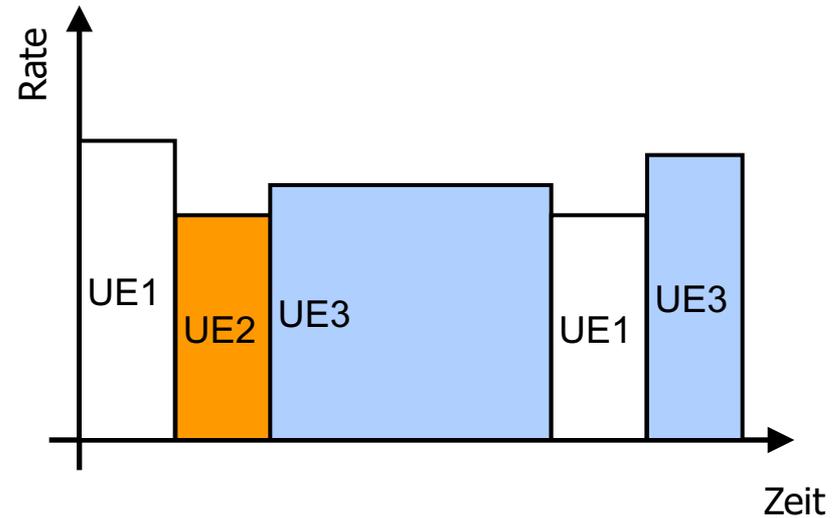
E-DCH Scheduling Optionen

Raten-Scheduling



- UEs gleichzeitig aktiv
- Datenrate wird inkrementell erhöht/verringert durch relative SGs
- Keine Synchronisation zwischen UEs nötig
- Lastvariationen können gering gehalten werden
- Für niedrige bis moderate Datenraten

Zeit-Scheduling



- UEs werden durch absolute SGs an- und ausgeschaltet
- UEs sollten synchronisiert sein
- Lastvariationen können hoch sein
- Für (sehr) hohe Datenraten

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 Folienerstellung 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-kompodium.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>