

### A.19 Mobilfunksysteme

Dieser Anhang enthält das ehemalige Kapitel 19.3 „Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)“ aus der 4. Auflage des Buches Nachrichtentechnik. In der 5. Auflage wurde es aus der Print-Version gestrichen, da UMTS in Deutschland im Jahr 2021 abgeschaltet wurde.

Die Nummerierung von Unterkapiteln, Bildern und Tabellen wurde aus der 4. Auflage übernommen und mit einem vorangestellten „A.“ wie Anhang versehen.

#### A.19.3 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)

In diesem Abschnitt wird das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) mit seinen Erweiterungen im Überblick dargestellt. Detailliertere Beschreibungen findet man z.B. in [50], [60] oder [62].

Das Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) wurde Ende der neunziger Jahre entwickelt um u.a. Multimediadienste mit Datenraten bis zu 2 Mbit/s zu ermöglichen. Da diese hohen Datenraten zunächst nur mit erheblichem Aufwand realisierbar waren, wurden mit Start der UMTS-Netze in Deutschland (2004) lediglich Datenraten von 384 kbit/s angeboten. Durch die Erweiterungen (siehe Bild A.19.17) um den High Speed Packet Access (HSPA) lassen sich heutzutage Spitzendatenraten von etwa 11 Mbit/s im Uplink (UL) und 28 Mbit/s im Downlink (DL) erzielen. HSPA+, eine Erweiterung die bereits standardisiert ist, beruht auf einer Verdopplung der Trägerbandbreite von 5 auf 10 MHz – als Dual Cell bezeichnet – und der Nutzung der MIMO-Antennentechnik (s.u.) und verspricht Spitzendatenraten von 23 Mbit/s (UL) bzw. 84 Mbit/s (DL). Diese sehr hohen Werte lassen sich allerdings nur unter optimalen Bedingungen erzielen, die noch zu diskutieren sind.

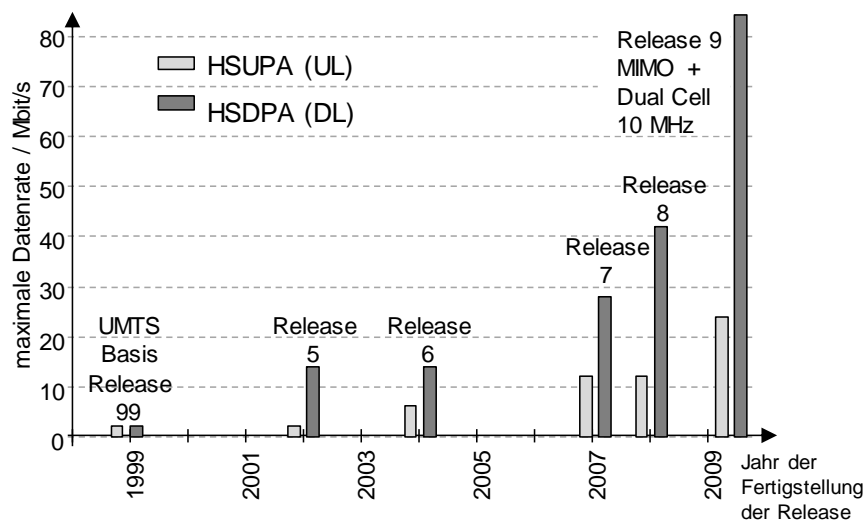


Bild A.19.17: Releases von UMTS bzw. HSPA und die resultierenden Spitzendatenraten. (Die 1. Version des UMTS-Standards, die Release von 1999, entspricht Release 4 in der nachfolgenden Zählweise.)

### A.19.3.1 Frequenzbereiche und Frequenzplanung

Wesentliches Merkmal der UMTS-Übertragungstechnik ist die Verwendung des Codemultiplex-Verfahrens mit einer festen Chip-Rate von  $r_c = 3,84$  Mchip/s. Durch Modulation der Chipfolge entsteht daraus ein Signal mit einer Bandbreite von ca. 4 MHz. Um Störungen zwischen benachbarten Frequenzträgern gering zu halten, wählt man einen Trägerabstand von typischerweise 5 MHz.

UMTS nutzt derzeit vorwiegend Frequenzbänder knapp unterhalb und knapp oberhalb von 2 GHz (siehe Bild A.19.18) und sieht dabei zwei Übertragungsmodi vor:

- den Frequenzduplex-Modus (FDD)
- den Zeitduplex-Modus (TDD, derzeit noch nicht im Einsatz)

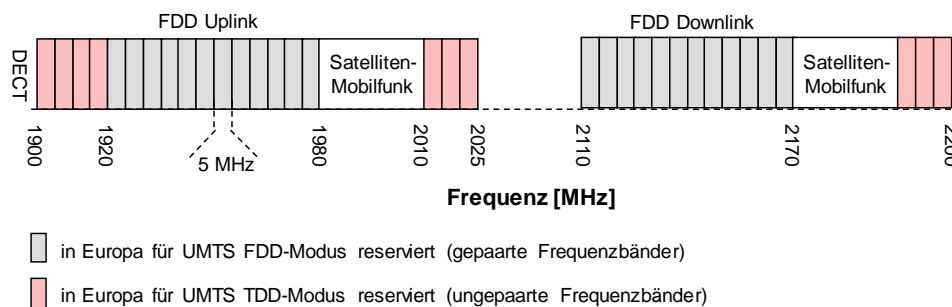


Bild A.19.18: Der primäre UMTS-Frequenzbereich für Europa

Der Frequenzduplex-Modus (FDD) arbeitet mit gepaarten Frequenzträgern (für UL und DL), von denen jeder mittels eines reinen CDMA-Verfahrens in mehrere Codekanäle unterteilbar ist. Der FDD-Modus ist der Hauptübertragungsmodus und für die großflächige Funknetzabdeckung gedacht.

Der Zeitduplex-Modus (TDD) arbeitet in ungepaarten Frequenzbändern. Uplink und Downlink nutzen den gleichen Frequenzträger, sind aber in ihrer Zeitlage getrennt. Bei dem TDD-Modus ist ein Frequenzträger in 15 Zeitschlitz und jeder Zeitschlitz nochmals in mehrere Codekanäle aufgeteilt. Dieser Modus kann in späteren Phasen zur weiteren Kapazitätssteigerung in bestimmten Gebieten genutzt werden – derzeit ist er nicht im Einsatz.

Die vier deutschen Mobilfunkbetreiber haben bei den Versteigerungen der Lizenzen im Jahr 2000 jeweils zwei Duplex-Träger für den FDD-Modus erworben, drei der Betreibergesellschaften noch jeweils einen Träger für den TDD-Modus. Im Frühsommer 2010 wurden in Deutschland weitere Frequenzen versteigert, die auch für UMTS und HSPA genutzt werden können, nämlich in Bändern bei 800 MHz, bei 1800 MHz und bei 2600 MHz. Weitere Erläuterungen gibt es im Abschnitt 19.4 über LTE.

Die meisten der UMTS-Funkzellen in Deutschland sind derzeit mit zwei Duplex-Frequenzträgern ausgestattet. In Funkzellen mit geringer Last ist es zuweilen auch nur ein Träger, dafür verwenden Zellen in Hochlastbereichen auch drei (oder sogar mehr) Träger. Eine typische Frequenz-Konstellation ist in Bild A.19.19 gezeigt. Man erkennt, dass unmittelbar benachbarte Funkzellen i.A. die gleichen Frequenzen verwenden, sodass gegenseitige Störungen groß sind. Dementsprechend benötigt man störteste Übertragungsverfahren. Wesentliche Merkmale dabei sind die Spreiztechnik und das Codemultiplex-Verfahren, das allgemein in Abschnitt 9.7 erläutert wurde und in seiner Ausprägung für UMTS in Abschnitt A.19.3.3 beschrieben ist.

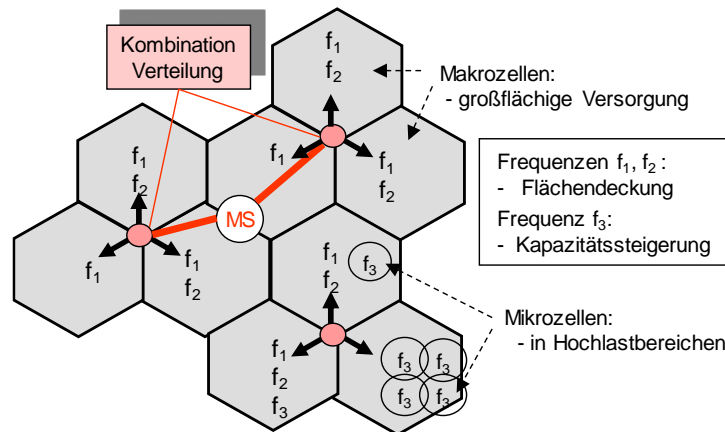


Bild A.19.19: Illustration der Frequenzverteilung und des Soft Handovers in einem UMTS-Netz

### A.19.3.2 UMTS-Systemarchitektur

UMTS besitzt eine ähnliche Systemarchitektur und ähnliche Netzelemente wie GSM (siehe Bild A.19.20). Allerdings gibt es gewisse Unterschiede in der Namensgebung. So entspricht dem Base Station Controller bei GSM der Radio Network Controller bei UMTS. Die Basisstation (oder besser das Base Station Equipment) trägt bei UMTS den etwas seltsam anmutenden Namen NodeB. Mit diesen anderen Namensgebungen sind aber auch strukturelle Unterschiede verknüpft: So kann ein mobiles Endgerät im Soft Handover eine Verbindung zu zwei oder mehr Basisstationen (Node B) besitzen, um einen allmählichen Zellwechsel ohne Unterbrechungszeiten zu bewerkstelligen. Sind diese Basisstationen an unterschiedlichen Radio Network Controller angeschlossen, so müssen diese untereinander verbunden sein, um die einzelnen Signale im Uplink zu kombinieren bzw. um das Signal im Downlink auf die beteiligten Basisstationen aufzuteilen.

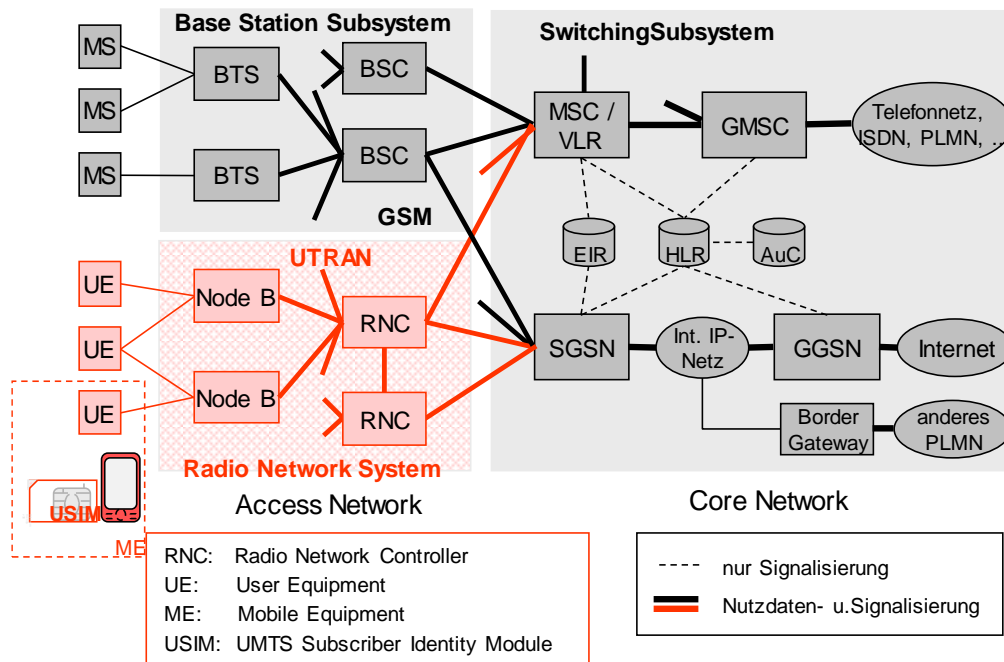


Bild A.19.20: Die UMTS-Systemarchitektur

Daneben gibt es noch weitere Unterschiede zwischen UMTS und GSM die in Tabelle A.19.5 zusammengefasst sind.

Tabelle A.19.5: Hauptunterschiede zwischen UMTS und GSM

	UMTS (FDD-Modus)	GSM
Trägerabstand	5 MHz	0,2 MHz
Duplex-Träger pro Betreiber	ca. 2	50 – 100
Frequenzwiederverwendung	i.a. in benachbarten Zellen	in größerem Abstand
Multiplex	FDM / CDM	FDM / TDM
Leistungsregelung	schnell (alle 0,67 ms)	langsam (alle 0,5 s)
Handover	Soft Handover	Hard Handover
Direkte Verbindung zw. BSC	erforderlich für Soft Handover	nicht vorhanden

### A.19.3.3 Codemultiplex, Übertragungsverfahren und Datenraten bei UMTS

In diesem Abschnitt werden zunächst die Übertragungsverfahren für die Basis-Variante von UMTS vorgestellt, wie sie für Datenraten bis zu 384 kbit/s (oder bis zu höchstens wenigen Mbit/s) zum Einsatz kommen. Die Erweiterung für den High Speed Packet Access HSPA werden im Abschnitt A.19.3.5 gesondert erläutert.

Wie in Abschnitt 9.7 beschrieben, werden beim Codemultiplex-Verfahren die Signale mehrerer Teilnehmer gleichzeitig auf der gleichen Frequenz übertragen. Um dennoch die Trennbarkeit der Nutzsignale am Empfänger zu gewährleisten, wird jedes Bit der Signalbitfolge vor der Modulation mit einem verbindungspezifischen Code-Signal multipliziert, auf das sich Sender und Empfänger beim Verbindungsaufbau geeinigt haben (vgl. Bild 9.14). Durch Multiplikation mit dem zugehörigen Code-Signal am Empfänger lässt sich das gewünschte Signal detektieren, selbst wenn die gesamte Störleistung vor der Spreizung deutlich größer als die Nutzleistung ist. Durch Spreizung erzielt man also eine hohe Störfestigkeit. Allerdings muss das entspreizte Nutzsignal i.a. aus den Störungen herausragen, d.h. man kann nicht beliebig viele Verbindungen auf einer Frequenz unterbringen (vgl. Bild 9.17).

Wie in Abschnitt 9.7 erläutert bestehen die Vorteile des Codemultiplex-Verfahrens und der Spreizung in der Ausmittelung des frequenzabhängigen Kurzzeitschwundes und der Störungen von Teilnehmern in anderen Funkzellen.

Nachteilig wirkt sich jedoch beim Codemultiplex aus, dass Störungen durch Teilnehmer innerhalb der Funkzelle entstehen, die nur durch Zusatzmaßnahmen wie eine schnelle und genaue Sendeleistungsregelung und den sogenannten Soft Handover in den Griff zu bekommen sind.

#### Codemultiplex und Spreizung

Die genaue Ausprägung der Spreiztechnik bei UMTS ist in Bild A.19.21 illustriert (dort konkret für den Downlink, im Uplink gelten ähnliche Prinzipien): Zunächst werden die zu übertragenden Bits abwechselnd auf einen I- und Q-Zweig ähnlich wie bei der in Bild 8.9 gezeigten Phasenmodulation aufgeteilt. Anschließend werden sie mit einem verbindungspezifischen Code  $c$  gespreizt. Diesen Code nennt man den Channelization Code  $c$ .

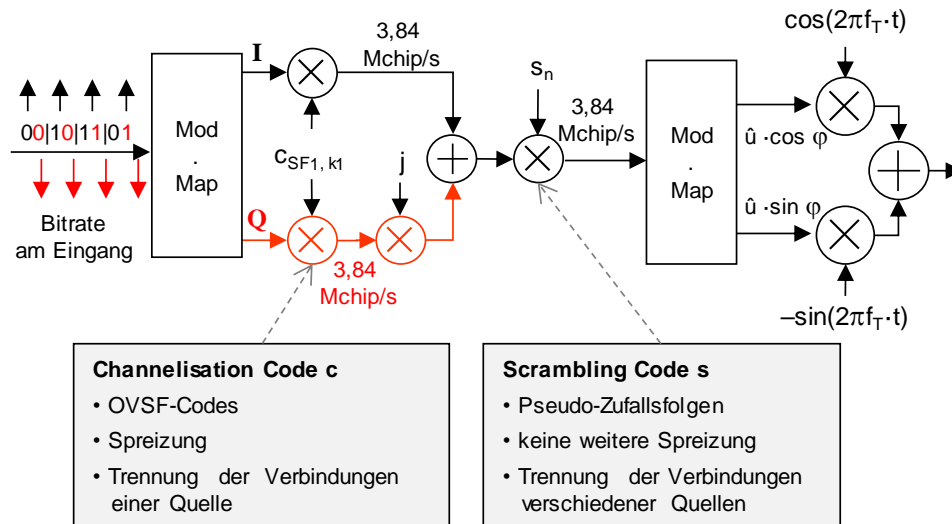


Bild A.19.21: Spreizung, Codemultiplex und Modulation bei UMTS

### Channelization Codes

Verschiedene Verbindungen, die von ein und derselben Quelle ausgehen – also im UL von derselben Mobilstation bzw. im Downlink von derselben Basisstation – müssen unterschiedliche Channelization Codes verwenden. Bei diesen Codes handelt es sich um die in Bild 9.15 illustrierten OVSF-Codes (OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor), wobei je nach Bitrate die Spreizfaktoren  $SF = 4, 8, 16, \dots, 256, 512$  verwendet werden können.

Diese Codes eignen sich nicht gut zur zeitlichen Synchronisierung bzw. zu Taktgewinnung. Zudem verlieren diese Codes, wenn sie von verschiedenen Quellen abgestrahlt werden, ihre Orthogonalität, was zu starken gegenseitigen Störungen führen kann. Daher multipliziert man das Chip-Signal nach der eigentlichen Spreizung noch mit einem so genannten Scrambling Code  $s$  der Chip-Rate 3,84 Mchip/s, was zu keiner weiteren Spreizung führt.

### Scrambling Codes

Diese Codes werden über rückgekoppelte Schieberegister gebildet, eignen sich gut zur zeitlichen Synchronisierung und sind auch noch dann zumindest näherungsweise orthogonal, wenn sie von verschiedenen Quellen asynchron abgestrahlt werden. Ferner gibt es sie in sehr hoher Anzahl, so dass jede Quelle bzw. jeder Sender in einem größeren geografischen Gebiet seinen eigenen spezifischen Scrambling Code bekommen kann. Für den Downlink werden beispielsweise daraus 512 so genannte Primary Scrambling Codes (PSC) ausgewählt, so dass in einem großen Gebiet jede Funkzelle ihren eigenen PSC erhalten und dadurch identifiziert werden kann.

### Spreizfaktoren und Bitraten

Um nun zu berechnen, welche Datenrate in UMTS erzielbar ist, ist folgendes zu beachten:

In UMTS kann man Dienste mit unterschiedlicher Bitrate  $r_b$  durch Verwendung verschiedener Spreizfaktoren  $SF$  realisieren.

Gemäß Abschnitt 8.3.4 gilt  $SF = r_c/r_b$ , wobei  $r_c$  die Chip-Rate ist. Löst man diese Gleichung nach der Bitrate bzw. Datenrate  $r_b$  auf, so erhält man  $r_b = r_c/SF$ . Bei fester Chip-Rate  $r_c = 3,84$  Mchip/s ergibt sich somit eine eindeutige Beziehung zwischen der Bitrate und dem Spreizfaktor: Bei hoher Bitrate – also kleiner Bitdauer – nutzt man kurze Codesignale entsprechend niedriger Spreizfaktoren, bei

kleinen Bitraten lange Codes mit großem Spreizfaktor  $SF$ . Beachtet man ferner, dass die Bits vor der Spreizung abwechselnd auf einen I- und Q-Zweig gegeben werden (siehe Bild A.19.21), so erhält man beispielhaft die in Tabelle A.19.6 zusammengefassten Relationen zwischen Bitrate und Spreizfaktor.

Tabelle A.19.6: Bitraten und Spreizfaktoren bei UMTS

Bitrate am Eingang E	Bitrate im I- bzw Q-Zweig	Spreiz-Faktor	Chip-Rate	Max. Anzahl Verbindungen
1920 kbit/s	960 kbit/s	4	3840 kchip/s	$4 - 1 = 3$
480 kbit/s	240 kbit/s	16	3840 kchip/s	$16 - 1 = 15$
60 kbit/s	30 kbit/s	128	3840 kchip/s	$128 - 1 = 127$
30 kbit/s	15 kbit/s	256	3840 kchip/s	$256 - 2 = 254$

Da es bei einem gegebenen Spreizfaktor  $SF$  genauso viele, also  $SF$ , verschiedene OVVSF-Codes gibt (siehe Bild 9.7), lassen sich pro Funkzelle beispielsweise höchstens 4 Verbindungen mit je 1920 kbit/s, 16 Verbindungen mit je 240 kbit/s oder 128 Verbindungen mit je 60 kbit/s realisieren (insgesamt also in allen Fälle 7680 kbit/s). Bei starken Störungen kann die Zahl der jeweils realisierbaren Verbindungen jedoch geringer ausfallen, da das entspreizte Signal die Störleistungen um einen bestimmten Betrag übersteigen muss (vgl. Bild 9.17). Dabei ist zu beachten, dass eine UMTS-Funkzelle derzeit i.A. zwei Träger besitzt (Verdopplung der Kapazität) und in allen umliegenden Zellen die gleichen Frequenzen verwendet werden (starke Störungen).

### Steuerungskanäle und Kanalkonstellationen

Ferner ist zu beachten, dass in jeder Funkzelle Steuerungskanäle vorgesehen müssen, wie z.B. der

- Broadcast Channel (BCH) zum Senden von Systeminformationen
- Paging Channel (PCH) zum Suchen von Teilnehmer bei ankommenden Rufen
- Random Access Channel (RACH) für Zugriffsversuche bzw. Kanalanforderungen
- Common Pilot Channel (CPICH), der eine wesentliche Rolle bei der Zellwahl spielt und auf dem die Mobilstationen Empfangspegel- und qualitätsmessungen für die eigene und Nachbarzellen ausführen,

Diese Kanäle niedriger Datenrate erhalten Codes mit hohem Spreizfaktor (zumeist  $SF = 256$ ), so dass nicht die komplette Kapazität der Funkzelle für die Nutzdatenübertragung zur Verfügung steht.

Dementsprechend ist die Anzahl der Verbindungen bei einem gegebenen Spreizfaktor geringer als  $SF$ , wie das Bild A.19.22 zeigt. Ferner lassen sich natürlich auch Verbindungen unterschiedlicher Bitrate und Spreizfaktoren gleichzeitig realisieren, wobei es gewisse Regeln für die Auswahl der jeweiligen Codes gibt. Das Bild A.19.22 zeigt beispielhaft einige typische Konstellationen  $K_1, \dots, K_5$ . Dabei ist es auch möglich Codes zu bündeln, d.h. einem Teilnehmer mehrere Code-Kanäle zuzuteilen. So kann ein Teilnehmer 3 Code-Kanäle mit Spreizfaktor  $SF = 4$  erhalten und so eine Bitrate von  $3 \cdot 1920 \text{ kbit/s} = 5760 \text{ kbit/s}$  erzielen.

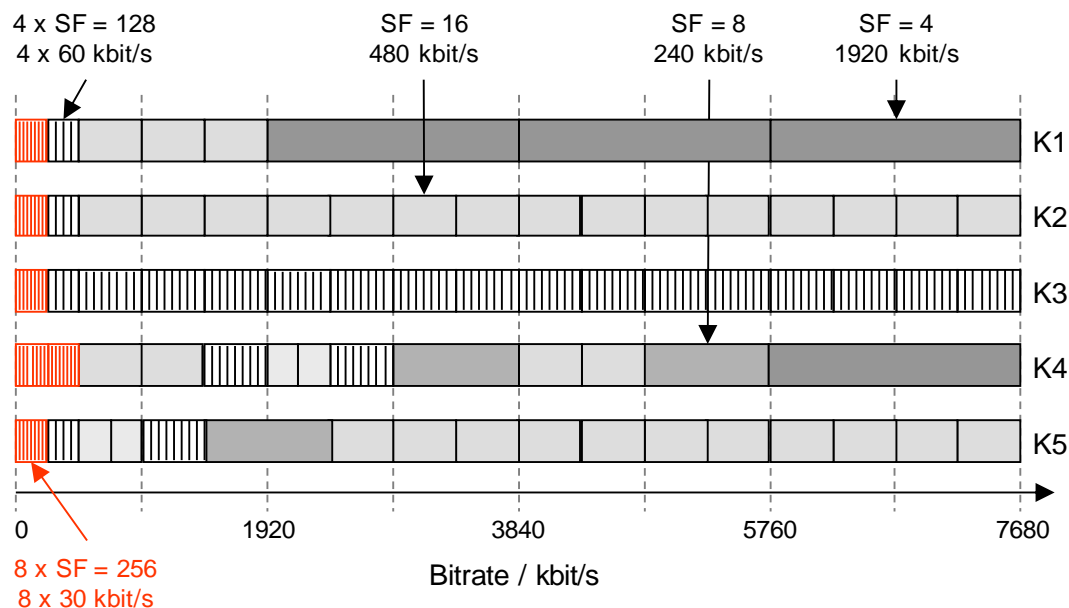


Bild A.19.22: Beispiele für mögliche Konstellationen für die Code- und Ressourcenzuteilung auf einem UMTS-Träger

In der Basis-Ausführung von UMTS beträgt also die maximale Brutto-Bitrate für eine Verbindung 5,76 Mbit/s.

Zu betonen ist, dass es sich bei diesem Wert und den in Tabelle 19.6 angegebenen Bitraten um die jeweils maximal möglichen Brutto-Datenraten handelt. Nutzdatenraten liegen häufig deutlich darunter, da ein großer Teil der Bits für Fehlererkennungs- und Korrekturzwecke sowie für Steuerungsaufgaben (Header) verwendet werden muss.

### Sprachdienst

Dieser Sachverhalt ist beispielhaft in Bild A.19.23 für die Sprachübertragung illustriert. Sprache wird in Blöcken von 20 ms übertragen. Diesen Zeitraum bezeichnet man als Transmission Time Interval TTI. Für andere Dienste als Sprache ist auch ein TTI von 10, 20, 40 oder 80 ms möglich. Bei 244 Sprachbits pro 20 ms ergibt sich eine Nutz- bzw. Sprachdatenrate von 12,2 kbit/s. Durch Hinzufügen von insbesondere Bits für Fehlererkennungs- und Korrekturzwecke aber auch Steuerungsaufgaben (Header) entsteht eine Bitrate von 60 kbit/s, die mit OVSF Codes mit  $SF = 128$  gespreizt werden.

Auf der untersten physikalischen Schicht wird die Übertragung in Zeitschlitzen (Time Slots) strukturiert. Ein Time Slot hat eine Dauer von  $\frac{2}{3}$  ms = 667  $\mu$ s. 15 Time Slots werden zu einem Radio Frame (Funkrahmen) der Dauer 10 ms zusammengefasst. In jedem Time Slot werden die folgenden physikalischen Steuerungsinformationen eingebaut:

- Pilot-Symbole zur zeitlichen Synchronisierung und zur Unterstützung der Demodulation
- TPC-Symbole (Transmission Power Control), um eine schnelle Sendeleistungsregelung durchführen zu können (nächster Abschnitt)
- einen Transport-Format-Indicator, der angibt, nach welchem Schema die Daten zusammengepackt und codiert sind bzw. wie das Interleaving erfolgt ist.

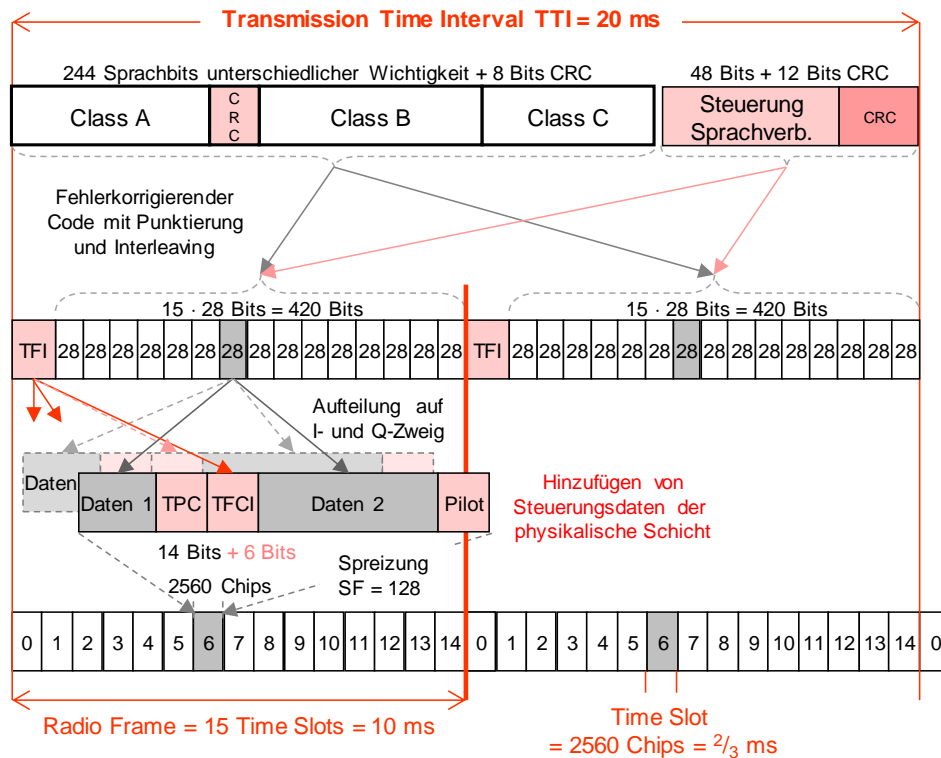


Bild A.19.23: Sprachübertragung bei UMTS

**Internet-Dienst bei einer Rate von 384 kbit/s**

Für einen Dienst mit einer etwas höheren Datenrate von beispielsweise 384 kbit/s nutzt man ein Transmission Time Interval von  $TTI = 10 \text{ ms}$ . Durch Hinzufügen von Bits für Fehlererkennungs- und Korrekturzwecke (Turbo-Code der Rate 1/3 mit Punktierung) und Steuerungsaufgaben (Header) entstehen aus den zunächst 3840 Bits pro TTI dann 9600 Bits pro 10 ms, also pro Radio Frame. Dies entspricht einer Bitrate von 960 kbit/s, so dass OVSF-Codes mit Spreizfaktor  $SF = 8$  zum Einsatz kommen. Um unter der Verwendung dieses Dienstes (3840 Bits pro  $TTI = 10 \text{ ms}$ ) ein IP-Paket von 1500 Bytes = 12000 Bits im DL zu übertragen, würde dieses vom Radio Network Controller in 4 Rahmen zerlegt, an die Basisstation (NodeB) weitergeleitet, die dann die Codierung übernimmt und die codierten Rahmen in 4 TTIs an das User Equipment UE überträgt. Die Übertragung der Rahmen kann durch ein selektives ARQ-Verfahren geschützt werden (siehe Abschnitt 8.6.2), das zwischen RNC und UE wirkt, der NodeB dient nur als Relais.

**A.19.3.4 Schnelle Leistungsregelung und Soft Handover**

Beim Codemultiplex muss man sicherstellen, dass alle Verbindungen beim Empfänger mit nahezu gleicher Signalleistung ankommen. Würde die Empfangsleistung einer Verbindung sehr viel größer sein als die der anderen Verbindungen, so würde diese starke Verbindung alle anderen (die auf der gleichen Frequenz liegen) überdecken, so dass sie nicht dekodiert werden könnten. Eine sehr hohe Empfangsleistung an der Basisstation könnte z.B. von einer Mobilstation in geringer Entfernung stammen. Damit die Verbindung dieser MS nicht die anderen Verbindungen von weiter entfernten Mobilstationen überdeckt, muss die nahe MS in ihrer Sendeleistung deutlich (teilweise mehr als 60 dB) reduziert werden. Da sich weiterhin der Empfangspegel aufgrund des Kurzzeitschwundes sehr schnell um 20 – 30 dB ändern kann, muss auch die Sendeleistungsregelung (engl. Power Control) sehr schnell, d.h. innerhalb von Millisekunden erfolgen. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben gibt es daher innerhalb der Daten eines jeden Zeitschlitzes, also alle 667  $\mu\text{s}$ , ein TPC-Feld, in dem die



Basisstation (NodeB) der Mobilstation abhängig von den Empfangsbedingungen befiehlt, den Sendepiegel um einen bestimmten Wert (z.B. 1 dB) zu erhöhen oder zu erniedrigen.

Im Übergangsbereich zwischen zwei oder mehr Zellen, die in CDMA-Systemen i.a. die gleichen Frequenzen verwenden, könnte eine MS starke Störungen in all diesen Zellen verursachen. Daher kontrolliert und versorgt man solche MS von allen (meistens sind es zwei oder drei) zugehörigen Basisstationen (siehe Bild 19.19).

Im Übergangsbereich zwischen Zellen besitzt eine MS gleichzeitig Verbindungen zu zwei (oder mehr) Basisstationen. Dieses Verfahren nennt man Soft Handover.

Gegenüber einem Hard Handover, bei dem beim Aufbau der Verbindung zur neuen Basisstation die Verbindung zur „alten“ BS unterbrochen wird, bringt der Soft Handover zwar einen höheren Aufwand mit sich, doch auch einen entscheidenden Vorteil: Da die gleichen Daten über mehrere Verbindungen empfangen werden, kann der Empfänger schnell die stärkste Verbindung auswählen bzw. die verschiedenen Signale kombinieren.

### A.19.3.5 High Speed Packet Access

Um die Datenraten innerhalb eines UMTS-Netzes zu erhöhen, hat man Verbesserungen bzw. Erweiterungen an den Übertragungsverfahren und -protokollen vorgenommen [60, 62]. Die entsprechenden Übertragungsmöglichkeiten werden als

- High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)
- High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

bezeichnet.

Die folgenden Erläuterungen konzentrieren sich auf HSDPA, im Uplink bei HSUPA werden jedoch ähnliche Prinzipien verwendet.

#### Code-Bündelung, Modulation und Datenraten

HSDPA verwendet Codekanäle mit einem festen Spreizfaktor von  $SF = 16$  von denen es auf einem Träger (nach Abzug von Steuerungskanälen) maximal 15 Stück gibt (vgl. Konstellation K2 in Bild A.19.22); die Bitrate auf einem solchen elementaren Kanal beträgt gemäß Tabelle A.19.6  $r_b = 480$  kbit/s.

Für eine Verbindung können mehrere solcher Codekanäle gebündelt werden, maximal bis zu 15 Stück, so dass eine maximale Bitrate von 7,2 Mbit/s resultiert. Die dabei verwendete Modulation ähnelt einer QPSK (siehe Bild A.19.21), bei der 2 Bits zu einem Symbol zusammengefasst werden. Bei HSDPA wurden die Modulationsstufen um die 16-QAM und 64-QAM erweitert, bei denen vier bzw. sechs Bits zu einem Symbol zusammengefasst werden. Auf diese Weise lässt sich die Bitrate nochmals um einen Faktor 2 bzw. 3 auf 14,4 Mbit/s bzw. 21,6 Mbit/s steigern lässt.

Zu betonen ist jedoch, dass bei dieser hohen Datenrate eine höherwertige Modulation verwendet und komplett auf Fehlerschutz verzichtet werden muss. Die Verbindung ist damit äußerst störanfällig. Ferner wird ein kompletter Träger in der Funkzelle benötigt. Dabei ist zu beachten, dass eine UMTS-Funkzelle derzeit maximal zwei Träger besitzt und in allen umliegenden Zellen die gleichen Frequenzen verwendet werden.

### MIMO und Dual Cell zur Steigerung der Datenrate

Weitere Steigerungen der Datenraten sind durch Verwendung von 2x2-MIMO-Verfahren (vgl. Abschnitt 9.9) sowie durch den so genannten Dual-Cell-Mechanismus möglich, bei dem einer Verbindung zwei Frequenzträger zugeteilt werden. Der Name rührt daher, dass verschiedene Frequenzträger bei UMTS als logisch verschiedene Funkzellen angesehen werden, selbst wenn sie von der gleichen Antenne abgestrahlt werden. Inzwischen sind auch Erweiterungen auf Triple Cell und Quadruple Cell standardisiert.

### Short Transmission Time Interval und Hybrid-ARQ-Verfahren

Die deutlich gesteigerten Datenraten erfordern auch einige Änderungen bei den Intervallen für die Datenrahmen sowie für die Protokolle bei den ARQ-Verfahren. Das Transmission Time Interval TTI wurde auf 2 ms verkürzt; man spricht auch vom Short Transmission Time Interval STTI. Dies hat mehrere Vorteile:

- Bei kürzeren Datenrahmen ist die Fehlerwahrscheinlichkeit geringer. Immerhin enthält einen Datenrahmen bei einem TTI = 2 ms und einer Bitrate von 7,2 Mbit/s noch 14400 Bits = 1800 Bytes.
- Das Übertragungsverfahren kann schneller an die Übertragungsbedingungen angepasst werden (im Takt von 2 ms).
- Etwaige fehlerhafte Datenrahmen können schneller wiederholt werden.
- Insgesamt sinken dadurch Verzögerungszeiten.

Als ARQ-Verfahren verwendet man ein Hybrid-ARQ-Verfahren (HARQ) mit Incremental Redundancy oder Soft Combining (siehe Abschnitt 8.6.4). Um nicht durch das Warten auf Bestätigungen (ACK) oder Nicht-Bestätigungen (NACK) beim Übertragen ausgebremst zu werden, können mehrere (bis zu 8) HARQ-Prozesse parallel laufen. Um in diesem schnelleren Zeittakt von 2 ms reagieren zu können, spielt sich das HARQ-Verfahren zwischen User Equipment und NodeB ab, und nicht – wie bei dem ursprünglichen Verfahren – zwischen UE und Radio Network Controller.

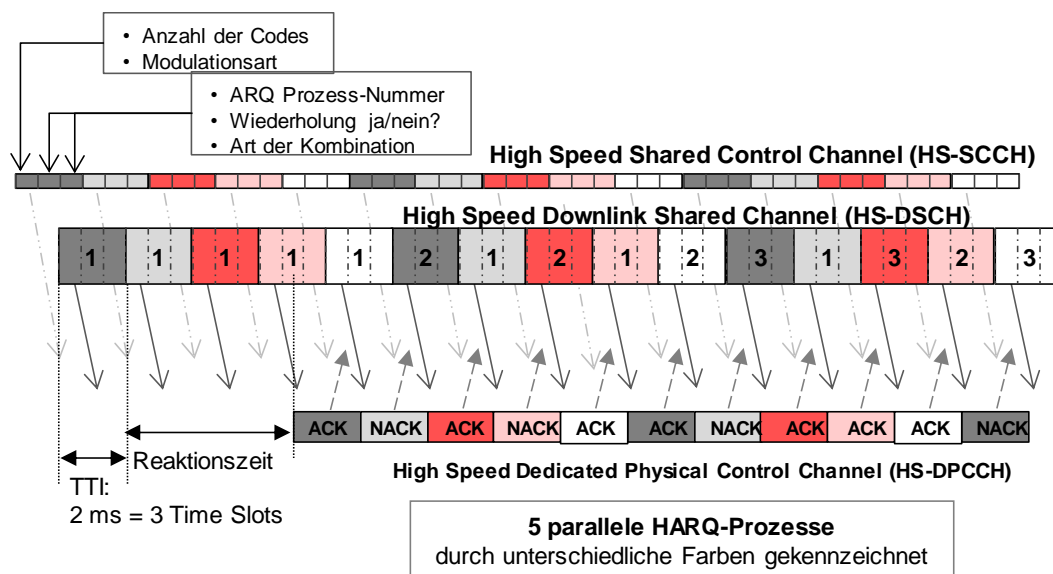


Bild A.19.24: Illustration der Zuweisung von Codes und Modulationsverfahren bei HSDPA sowie des ARQ-Verfahrens

In Bild A.19.24 ist der Prozess des Zuweisens von Codes und Modulationsverfahren sowie der ARQ-Prozess illustriert. Das Bild A.19.25 zeigt ein Beispiel, wie die Ressourcen einer Funkzelle sehr schnell und flexibel auf mehrere unterschiedliche Verbindungen aufgeteilt werden können. Dabei ist

zu beachten, dass nicht jede Mobilstation 15 Codekanäle bündeln kann (eventuell nur maximal 5) und auch nicht jedes TTI nutzen kann (sondern eventuell nur jedes zweite oder dritte).

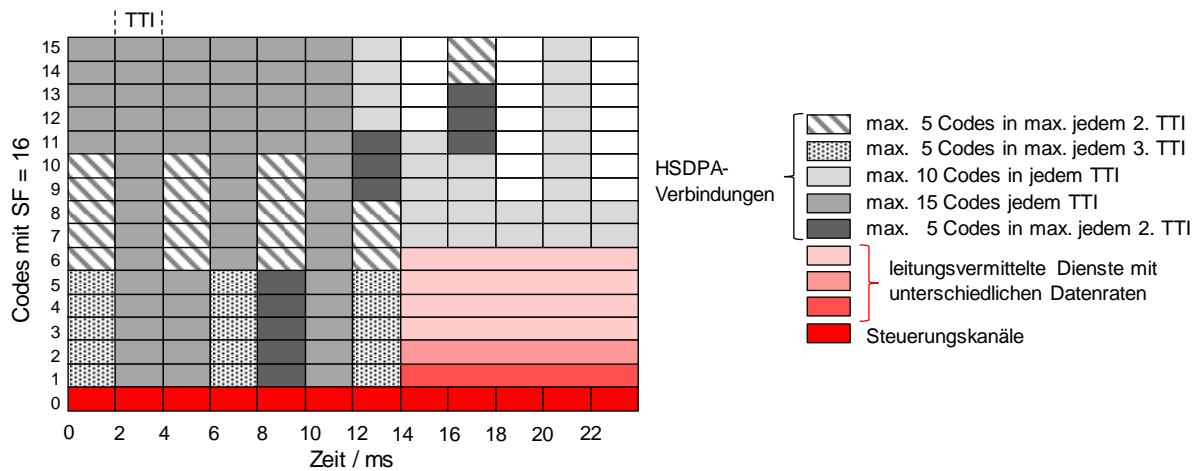


Bild A.19.25: Illustration der schnellen Ressourcen-Zuteilung und Code-Bündelung bei HSDPA und mehreren verschiedenen Verbindungen

Die Tabelle A.19.7 gibt einen auszugsweisen Überblick über verschiedene Kategorien von Mobilstationen und die damit unter günstigsten Bedingungen im Downlink erzielbare Bitrate.

Tabelle A.19.7: Kategorien von Mobilstationen und deren maximale Bitrate

Kategorie	Max. Codes	maximale Modulation	TTI Abstand	Code-Rate	MIMO	Dual-Cell	Max. Bitrate [Mbit/s]
1, 2	5	16-QAM	3	3/4		-	1,2
3, 4	5	16-QAM	2	3/4		-	1,8
5, 6	5	16-QAM	1	3/4		-	3,6
7, 8	10	16-QAM	1	3/4		-	7,2
10	15	16-QAM	1	1/1		-	14,0
11	5	QPSK	2	3/4		-	0,9
12	5	QPSK	1	3/4		-	1,8
13	15	64-QAM	1	5/6		-	17,6
14	15	64-QAM	1	1/1		-	21,1
19	15	64-QAM	1	5/6	2x2	-	35,3
20	15	64-QAM	1	1/1	2x2	-	42,2
21	15	16-QAM	1	5/6	-	ja	23,4
22	15	16-QAM	1	1/1	-	ja	28,0
23	15	64-QAM	1	5/6	-	ja	35,3
24	15	64-QAM	1	1/1	-	ja	42,2
27	15	64-QAM	1	5/6	2x2	ja	70,6
28	15	64-QAM	1	1/1	2x2	ja	84,4
29	15	64-QAM	1	1/1	-	Triple-Cell	63,3