

A4.1: UMTS - Duplexverfahren

Das Anfang der 1990er Jahre geplante und seit 2004 in Europa verfügbare UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) ist ein sog. Mobilfunksystem der 3. Generation. Es verwendet in beiden Richtungen – *Uplink* und *Downlink* – das Vielfachzugriffsverfahren CDMA (*Code Division Multiple Access*).

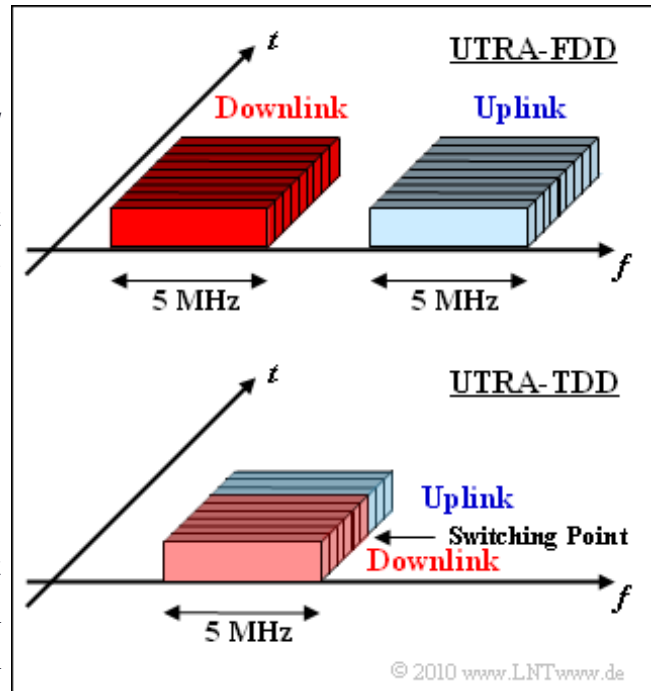
Die Standardisierung sieht im Wesentlichen zwei verschiedene Modi vor:

- **UTRA-FDD** (*UMTS Terrestrial Radio Access Frequency Division Duplex*) mit zwölf gepaarten Frequenzbändern für den Uplink (1920 – 1980 MHz) und den Downlink (2110 – 2170 MHz).
- **UTRA-TDD** (*UMTS Terrestrial Radio Access Time Division Duplex*) stellt vier Kanäle im Frequenzband von 1900 – 1920 MHz bereit und einen weiteren bei 2020 – 2025 MHz.

Für das Frequenzband zwischen 2010 und 2020 MHz gibt es derzeit noch keine Lizenz. Dieses ist aber ebenfalls für UTRA-TDD reserviert.

Die Grafik zeigt schematisch die Frequenzbandbelegungen von UTRA-FDD (oben) und UTRA-TDD (unten). Man erkennt, dass sich die beiden Verfahren sowohl hinsichtlich des Vielfachzugriffs als auch bezüglich der Duplexrealisierung durchaus unterscheiden.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 4.1**.



Fragebogen zu "A4.1: UMTS - Duplexverfahren"

a) Welche der nachfolgenden Aussagen sind zutreffend?

- UMTS ist ein Mobilfunksystem der zweiten Generation.
- UMTS ist ein Mobilfunksystem der dritten Generation.
- UMTS ist ein Mobilfunksystem der vierten Generation.

b) Wie werden „Uplink“ und „Downlink“ bei UTRA–FDD getrennt?

- Die Daten werden zeitlich getrennt übertragen.
- Die Daten werden im gleichen Frequenzband übertragen.
- Die Daten werden in gepaarten Frequenzbändern übertragen.

c) Wie werden „Uplink“ und „Downlink“ bei UTRA–TDD getrennt?

- Die Daten werden zeitlich getrennt übertragen.
- Die Daten werden im gleichen Frequenzband übertragen.
- Die Daten werden in gepaarten Frequenzbändern übertragen.

d) Wie groß ist die für UTRA–FDD insgesamt zugewiesene Bandbreite?

$$\text{FDD: } B_{\text{ges}} = \quad \text{MHz}$$

e) Welche Bandbreite belegt hierbei jeder Nutzer nach der Bandspreizung sowohl im Uplink als auch im Downlink?

$$\text{FDD: } B_{\text{user}} = \quad \text{MHz}$$

f) Wie groß ist die Bandbreite eines jeden Nutzers bei UTRA–TDD?

$$\text{TDD: } B_{\text{user}} = \quad \text{MHz}$$

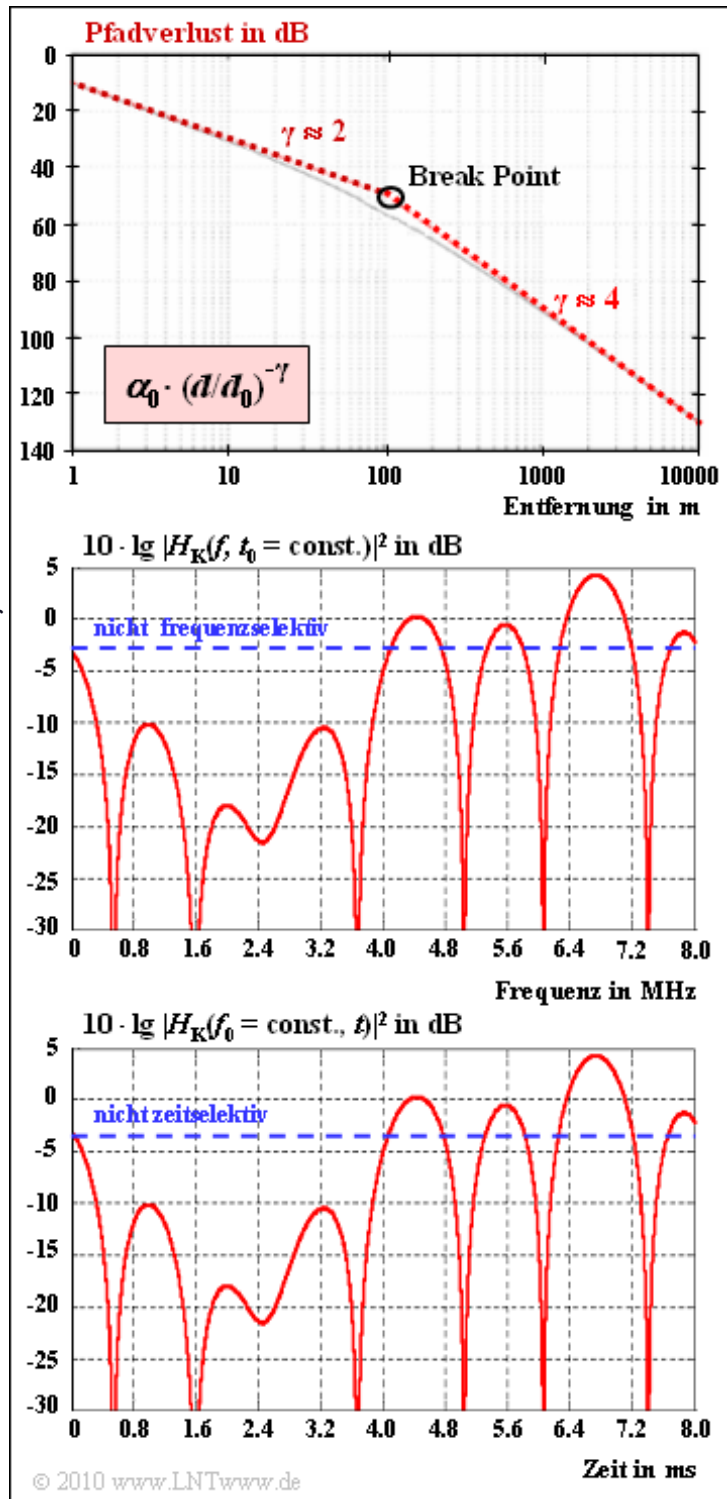
g) Welche Aussagen treffen zu?

- In Europa wird der FDD–Modus verwendet.
- Der TDD–Modus eignet sich für asymmetrische Dienste.

A4.2: UMTS-Funkkanal

Auch bei UMTS gibt es etliche negative Effekte, die man bei der Systemplanung berücksichtigen muss:

- **Interferenzen** durch andere Nutzer, da alle Nutzer gleichzeitig im gleichen Frequenzband versorgt werden.
- **Pfadverlust:** Die Empfangsleistung P_E eines Funksignals nimmt mit der Entfernung d um den Faktor $d^{-\gamma}$ ab.
- **Mehrwegeempfang:** Signal erreicht den mobilen Empfänger nicht nur über den direkten Pfad, sondern auf mehreren Wegen unterschiedlich gedämpft und verschieden verzögert.
- **Dopplereffekt:** Bewegen sich der Sender und/oder der Empfänger, so kann es zu Frequenzverschiebungen der Frequenz kommen abhängig von Geschwindigkeit und Richtung:
 - Welcher Winkel?
 - Aufeinander zu?
 - Voneinander weg?



Im Buch „Mobile Kommunikation“ wurden diese Effekte bereits im Detail behandelt. Die Diagramme vermitteln nur einige wenige Informationen bezüglich

- Pfadverlust (obere Grafik),
- frequenzselektives Fading (Mitte),
- zeitselektives Fading (untere Grafik).

Der Pfadverlust gibt die Verminderung der Empfangsleistung mit der Entfernung d vom Sender an. Oberhalb des sog. *Break Points* gilt für die Empfangsleistung näherungsweise:

$$\frac{P(d)}{P(d_0)} = \alpha_0 \cdot (d/d_0)^{-4}.$$

Entsprechend der oberen Grafik gilt $\alpha_0 = 10^{-5}$ (entsprechend 50 dB) und $d_0 = 100$ m.

Die Leistungsübertragungsfunktion $|H_K(f)|^2$ zu einem gegebenen Zeitpunkt gemäß der mittleren Grafik verdeutlicht frequenzselektives Fading. Die blau-gestrichelt eingezeichnete Horizontale kennzeichnet nichtfrequenzselektives Fading. Frequenzselektives Fading entsteht, wenn die Kohärenzbandbreite B_K sehr viel kleiner als die Signalbandbreite B_S ist. Dabei gilt mit der Mehrwegeverbreiterung (englisch: *Delay Spread*) $T_V \Rightarrow$ Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Verzögerungszeit:

$$B_K \approx \frac{1}{T_V} = \frac{1}{\tau_{\max} - \tau_{\min}}.$$

Die untere Grafik zeigt schematisch die Leistungsübertragungsfunktion $H_K(t)^2$ für eine feste Frequenz f_0 . Schematisch deshalb, weil für das hier betrachtete zeitselektive Fading genau der gleiche Verlauf gewählt wurde wie in der mittleren Grafik für das frequenzselektive Fading (reine Bequemlichkeit der Autoren).

Hier entsteht eine so genannte Dopplerverbreiterung B_D , definiert als Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Dopplerfrequenz. Der Kehrwert $T_D = 1/B_D$ wird als Kohärenzzeit oder auch als Korrelationsdauer bezeichnet. Bei UMTS tritt immer dann zeitselektives Fading auf, wenn $T_D \ll T_C$ (Chipdauer) ist.

Hinweis: Die Aufgabe gehört zum Themengebiet von **Kapitel 4.1**. Die Bandbreite beträgt bei UMTS $B_S = 5$ MHz und die Chipdauer $T_C \approx 0.26$ μ s.

Fragebogen zu "A4.2: UMTS-Funkkanal"

a) Berechnen Sie – ausgehend von der oberen Grafik auf der Angabenseite – den Pfadverlust (in dB) für $d = 5$ km.

Pfadverlust = _____ **dB**

b) Welche Aussagen gelten bezüglich des frequenzselektiven Fadings?

- Dieses entsteht durch Mehrwegeempfang.
- Es entsteht durch Bewegung von Sender und/oder Empfänger.
- Verschiedene Frequenzen werden unterschiedlich gedämpft.
- Ein Echo im Abstand $1\mu\text{s}$ führt zu frequenzselektivem Fading.

c) Welche Aussagen gelten bezüglich des zeitselektiven Fadings?

- Dieses entsteht durch Mehrwegeempfang.
- Es entsteht durch Bewegung von Sender und/oder Empfänger.
- Verschiedene Frequenzen werden unterschiedlich gedämpft.

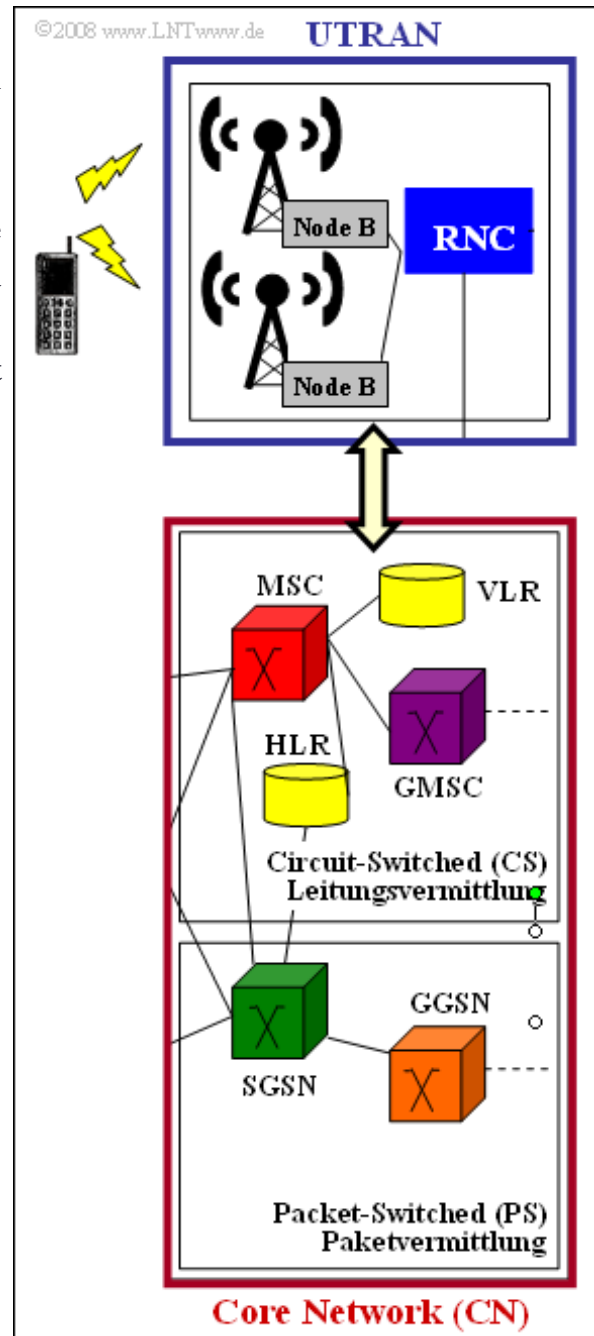
A4.3: UMTS–Zugangsebene

Die Abbildung zeigt das UMTS–Zugangsnetz mit den beiden Hauptblöcken:

- **UTRAN** ⇒ *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (obere Grafik): Diese überwacht die Funkübertragung zwischen Funknetzebene und Transportebene,
- **Core Network** (CN, untere Grafik): Diese ist zuständig für die Vermittlung der Daten innerhalb des UMTS–Netzes.

In der Aufgabe sollen einige der in der Abbildung verwendeten Abkürzungen erklärt werden.

Hinweis: Die Aufgabe gehört zu **Kapitel 4.2**.



Fragebogen zu "A4.3: UMTS–Zugangsebene"

a) Welche Vermittlungsarten werden von UMTS unterstützt?

- nur Leitungsvermittlung,
- nur Paketvermittlung,
- sowohl Leitungsvermittlung als auch Paketvermittlung.

b) Was beinhaltet UTRAN?

- die Basisstationen,
- den *Radio Network Controller*,
- das *Mobile Service Switching Center*.

c) Welche Register werden bei Leitungsvermittlung benötigt?

- das *Home Location Register*,
- das *Visitor Location Register*,
- das GPRS–Register.

d) Welche der folgenden Aussagen sind zutreffend?

- GMSC und GGSN leiten zu anderen Datennetzen weiter.
- Beide sind nur bei Leitungsvermittlung aktiv.
- SGSN hat eine ähnliche Funktion wie MSC und HLR.

A4.4: Zellulare UMTS-Architektur

Um ein flächendeckendes Netz mit geringer Sendeleistung und ausreichender Frequenzökonomie zu ermöglichen, werden bei UMTS – wie auch bei GSM – Funkzellen eingerichtet.

Für einfache Systemuntersuchungen geht man dabei von hexagonalen Zellen wie in der Grafik angedeutet aus. In Realität sind die Funkzellen unterschiedlich groß und zudem an die vorliegende Topologie und die Infrastruktur des Versorgungsgebietes angepasst.

Es gibt drei unterschiedliche Typen von Funkzellen mit einem hierarchischen Aufbau:

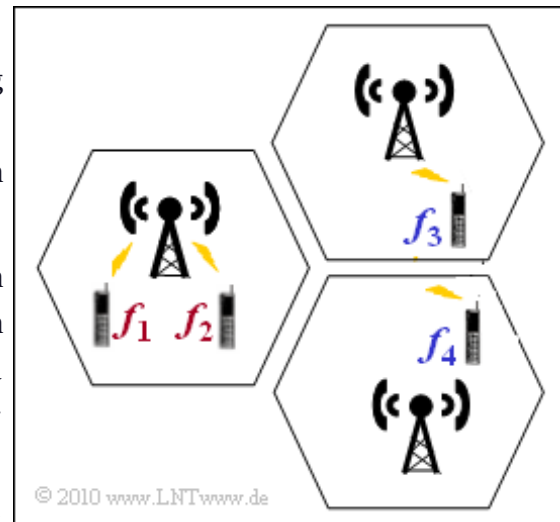
- **Makrozellen:** 4 bis 6 km Durchmesser, Geschwindigkeiten bis zu 500 km/h erlaubt.
- **Mikrozellen:** 1 bis 2 km Durchmesser, maximal zulässige Geschwindigkeit 120 km/h.
- **Pikozelle:** Durchmesser bis 100 m, viele Teilnehmer, extrem hohes Datenaufkommen.

Eine Makrozelle kann möglicherweise eine Vielzahl von Mikro- und Pikozellen überlagern. Für eine Mikrozelle beträgt die maximale Datenrate 384 kbit/s für die maximale Geschwindigkeit von 120 km/h. Mit den maximal zulässigen Datenraten in einer Makrozelle und einer Pikozelle beschäftigt sich die Teilaufgabe (a).

Im Zusammenhang mit der zellularen Struktur von UMTS werden häufig Begriffe verwendet, die in dieser Aufgabe erklärt werden sollen:

- Intrazellinterferenz und Interzellinterferenz,
- Zellatmung,
- Handover.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 4.2**.



Fragebogen zu "A4.4: Zellulare UMTS-Architektur"

a) Welche der nachfolgenden Aussagen sind zutreffend?

- UMTS (2 GHz) hat größere Funkzellen als GSM (900 MHz).
- Größere Datenrate in einer Makrozelle als in einer Mikrozelle.
- Größere Datenrate in einer Pikozone als in einer Mikrozone.

b) Sind die folgenden Aussagen hinsichtlich *Interferenzen* richtig?

- Intrazellinterferenzen entstehen, wenn mehrere Teilnehmer in der gleichen Zelle den gleichen Frequenzkanal benutzen.
- Interzellinterferenzen entstehen, wenn die gleiche Frequenz von Teilnehmern in verschiedenen Zellen benutzt wird.
- Im dargestellten Szenario kommt es zu Intrazellinterferenzen, wenn die Frequenzen f_1 und f_2 gleich sind.
- Im dargestellten Szenario kommt es zu Interzellinterferenzen, wenn die Frequenzen f_3 und f_4 gleich sind.

c) Was versteht man unter *Zellatmung*?

- Nimmt die Anzahl der aktiven Teilnehmer in der Zelle zu \Rightarrow größere Interferenzleistung, wird der Zellenradius verkleinert.
- Die Versorgung der Teilnehmer am Rande einer ausgelasteten Zelle übernimmt eine weniger belastete Nachbarzelle.
- Zellatmung beschreibt einen Mechanismus zur bestmöglichen Anpassung der Datenrate an den aktuellen Datenverkehr.

d) Welche der folgenden Aussagen zum *Handover* sind zutreffend?

- Ziel ist, den Übergang eines mobilen Teilnehmers von einer Zelle zur anderen als unterbrechungsfrei erscheinen zu lassen.
- Von *Hard Handover* spricht man dann, wenn die Verbindung schlagartig zu einer anderen Verbindung umgeschaltet wird.
- Bei *Soft Handover* erfolgt die Weitergabe eines Teilnehmers von einer Basisstation zu einer anderen allmählich.

A4.5: PN-Modulation

Die Grafik zeigt das Ersatzschaltbild der PN-Modulation (engl. *Direct Sequence Spread Spectrum*, abgekürzt DS-SS) im äquivalenten TP-Bereich. $n(t)$ ist AWGN-Rauschen.

Unten ist das TP-Modell der binären Phasenmodulation (BPSK) skizziert.

Das Tiefpass-Sendesignal $s(t)$ ist nur aus Gründen einheitlicher Darstellung

gleich dem rechteckförmigen Quellensignal $q(t) \in \{+1, -1\}$ mit Rechteckdauer T gesetzt ist. Die Funktion des Integrators kann wie folgt geschrieben werden:

$$d(\nu T) = \frac{1}{T} \int_{(\nu-1)T}^{\nu T} b(t) dt.$$

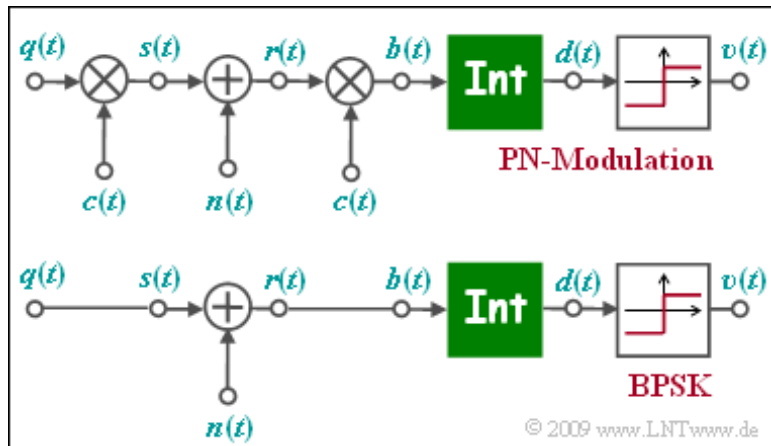
Die beiden Modelle unterscheiden sich durch die Multiplikation mit dem ± 1 -Spreizsignal $c(t)$ bei Sender und Empfänger, wobei von $c(t)$ lediglich der Spreizgrad J bekannt ist. Für die Lösung dieser Aufgabe ist die Angabe der spezifischen Spreizfolge (M-Sequenz oder Walsh-Funktion) nicht von Bedeutung.

Zu untersuchen ist, ob sich das untere BPSK-Modell auch bei PN-Modulation anwenden lässt und ob die BPSK-Fehlerwahrscheinlichkeit

$$p_B = Q\left(\sqrt{\frac{2 \cdot E_B}{N_0}}\right)$$

auch für die PN-Modulation gültig ist, bzw. wie die angegebene Gleichung zu modifizieren ist.

Hinweis: Die Aufgabe gehört zum **Kapitel 4.3**. Das bei UMTS eingesetzte CDMA-Verfahren firmiert auch unter der Bezeichnung „PN-Modulation“. Die in dieser Aufgabe verwendete Nomenklatur richtet sich zum Teil nach dem **Kapitel 5.2** im Buch „Modulationsverfahren“.



Fragebogen zu "A4.5: PN-Modulation"

a) Welche Detektionssignalwerte sind bei BPSK möglich (ohne Rauschen)?

- $d(vT)$ ist gaußverteilt.
- $d(vT)$ kann die Werte +1, 0 und -1 annehmen.
- Es sind nur die Werte $d(vT) = +1$ und $d(vT) = -1$ möglich.

b) Welche Werte sind bei PN-Modulation im rauschfreien Fall möglich?

- $d(vT)$ ist gaußverteilt.
- $d(vT)$ kann die Werte +1, 0 und -1 annehmen.
- Es sind nur die Werte $d(vT) = +1$ und $d(vT) = -1$ möglich.

c) Welche Modifikation muss am BPSK-Modell vorgenommen werden, damit es auch für die PN-Modulation anwendbar ist?

- Das Rauschen $n(t)$ muss durch $n'(t) = n(t) \cdot c(t)$ ersetzt werden.
- Die Integration muss nun über $J \cdot T$ erfolgen.
- Die Rauschleistung muss um den Faktor J vermindert werden.

d) Welche Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_B ergibt sich für $10 \lg \cdot (E_B/N_0) = 6$ dB bei PN-Modulation? Bei BPSK gilt in diesem Fall: $p_B \approx 2.3 \cdot 10^{-3}$.

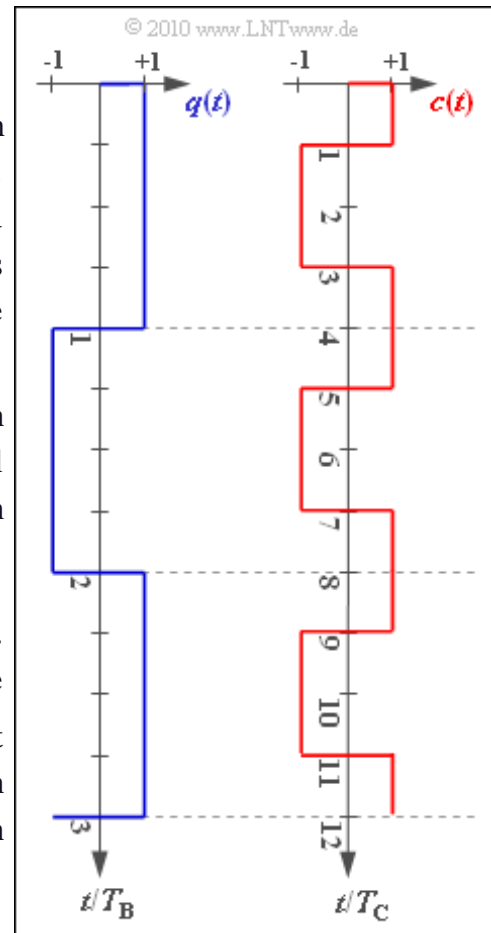
- Je größer J gewählt wird, desto kleiner ist p_B .
- Je größer J gewählt wird, desto größer ist p_B .
- Es ergibt sich unabhängig von J stets der Wert $2.3 \cdot 10^{-3}$.

Z4.5: Zur Bandspreizung bei UMTS

Bei UMTS/CDMA wird die sog. PN-Modulation angewandt. Das rechteckförmige Digitalsignal $q(t)$ wird dabei mit dem Spreizsignal $c(t)$ multipliziert und ergibt das Sendesignal $s(t)$. Dieses ist um den Spreizfaktor J höherfrequenter als $q(t)$, und man spricht von *Bandspreizung*. Beim Empfänger wird das gleiche Spreizsignal $c(t)$ phasensynchron zugesetzt und damit die Bandspreizung rückgängig gemacht \Rightarrow *Bandstauchung*.

Die Grafik zeigt beispielhafte Signalverläufe von $q(t)$ und $c(t)$. In Teilaufgabe e) wird nach Sendechips gefragt. Zum Beispiel bezeichnet das „Sendechip“ s_3 den konstanten Signalwert von $s(t)$ im Zeitintervall $2 T_C \dots 3 T_C$.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich meist auf das **Kapitel 4.3**. Zur Berechnung der Chipdauer T_C wird auf die Theorieseite **Physikalische Kanäle** im Kapitel 4.2 verwiesen. Dort findet man unter anderem die Information, dass auf dem so genannten *Dedicated Physical Channel* (DPCH) in 10 Millisekunden genau $15 \cdot 2560$ Chips übertragen werden.



Fragebogen zu "Z4.5: Zur Bandpreizung bei UMTS"

a) Welche Aussagen sind richtig?

- Bei UMTS ist die Bitdauer T_B fest vorgegeben.
- Bei UMTS ist die Chipdauer T_C fest vorgegeben.
- Beide Größen hängen von den Kanalbedingungen ab.

b) Geben Sie die Chipdauer T_C und die Chiprate R_C im Downlink an.

$$T_C = \quad \mu\text{s}$$

$$R_C = \quad \text{Mchip/s}$$

c) Welcher Spreizfaktor ist aus der Grafik auf der Angabenseite ablesbar?

$$J =$$

d) Welche Bitrate ergibt sich bei diesem Spreizfaktor?

$$R_B = \quad \text{kbit/s}$$

e) Welche Werte haben die „Chips“ des Sendesignals?

$$s_3 =$$

$$s_4 =$$

$$s_5 =$$

$$s_6 =$$

A4.6: OVSF-Codes

Die Spreizcodes für UMTS sollen

- alle zueinander orthogonal sein, um gegenseitige Beeinflussung der Teilnehmer zu vermeiden,
- möglichst flexibel sein, um unterschiedliche $J \Rightarrow$ Spreizfaktoren zu realisieren.

Ein Beispiel hierfür sind die sog. **Codes mit variablem Spreizfaktor** (englisch: *Orthogonal Variable Spreading Factor*, OVSF), die Spreizcodes der Längen von $J = 4$ bis $J = 512$ bereitstellen. Diese können, wie in der Grafik zu sehen ist, mit Hilfe eines Codebaums erstellt werden. Dabei entstehen bei jeder Verzweigung aus einem Code C zwei neue Codes

- $(+C +C)$,
- $(+C -C)$.

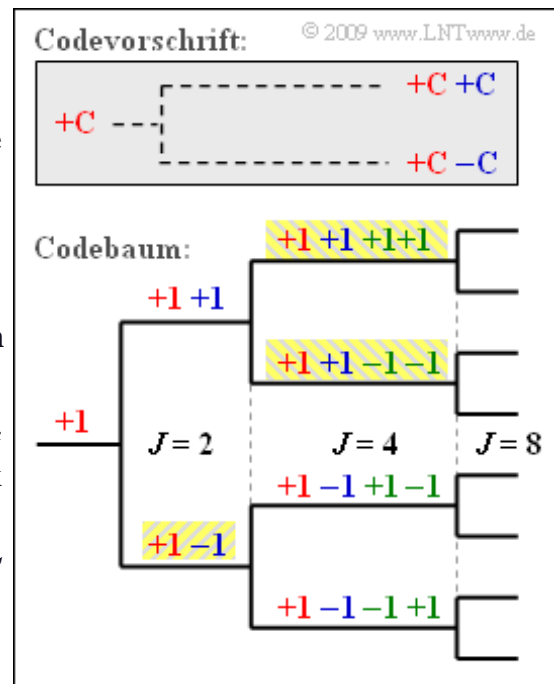
Die Grafik verdeutlicht das hier angegebene Prinzip am Beispiel $J = 4$. Nummeriert man die Spreizfolgen von 0 bis $J - 1$ durch, so ergeben sich hier die Spreizfolgen

$$\begin{aligned} \langle c_v^{(0)} \rangle &= +1 +1 +1 +1, & \langle c_v^{(1)} \rangle &= +1 +1 -1 -1, \\ \langle c_v^{(2)} \rangle &= +1 -1 +1 -1, & \langle c_v^{(3)} \rangle &= +1 -1 -1 +1. \end{aligned}$$

Nach dieser Nomenklatur gibt es für den Spreizfaktor $J = 8$ die Spreizfolgen $\langle c_v^{(0)} \rangle, \dots, \langle c_v^{(7)} \rangle$.

Anzumerken ist, dass kein Vorgänger und Nachfolger eines Codes von anderen Teilnehmern benutzt werden darf. Im Beispiel könnten also vier Spreizcodes mit Spreizfaktor $J = 4$ verwendet werden oder die drei gelb hinterlegten Codes – einmal mit $J = 2$ und zweimal mit $J = 4$.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf **Seite 3** von Kapitel 4.3.



Fragebogen zu "A4.6: OVVSF-Codes"

a) Konstruieren Sie das Baumdiagramm für $J = 8$. Welche OVVSF-Codes ergeben sich daraus?

$\langle c_v^{(1)} \rangle = +1 +1 +1 +1 -1 -1 -1 -1,$

$\langle c_v^{(3)} \rangle = +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 -1,$

$\langle c_v^{(5)} \rangle = +1 -1 +1 -1 -1 +1 -1 +1,$

$\langle c_v^{(7)} \rangle = +1 -1 -1 +1 -1 +1 +1 -1.$

b) Wieviele UMTS-Teilnehmer können mit $J = 8$ maximal bedient werden?

$$K_{\max} =$$

c) Wieviele Teilnehmer können versorgt werden, wenn drei von ihnen einen Spreizcode mit $J = 4$ verwenden sollen?

$$K =$$

d) Gehen Sie von einer Baumstruktur für $J = 32$ aus. Ist folgende Zuweisung machbar: Zweimal $J = 4$, einmal $J = 8$, zweimal $J = 16$, achtmal $J = 32$?

Ja.

Nein.

A4.7: RAKE-Empfänger

Die Grafik zeigt einen Zweiwegekanal (gelbe Hinterlegung). Die entsprechende Beschreibungsgleichung lautet:

$$r(t) = 0.6 \cdot s(t) + 0.4 \cdot s(t - \tau).$$

Die Verzögerung auf dem Nebenpfad sei $\tau = 1 \mu\text{s}$. Darunter gezeichnet ist die Struktur eines RAKE-Empfängers (grüne Hinterlegung) mit den allgemeinen Koeffizienten K , h_0 , h_1 , τ_0 und τ_1 .

Der RAKE-Empfänger hat die Aufgabe, die Energie der beiden Signalpfade zu bündeln und dadurch die Entscheidung sicherer zu machen. Die gemeinsame Impulsantwort von Kanal und RAKE-Empfänger kann in der Form

$$h_{\text{KR}}(t) = A_0 \cdot \delta(t) + A_1 \cdot \delta(t - \tau) + A_2 \cdot \delta(t - 2\tau)$$

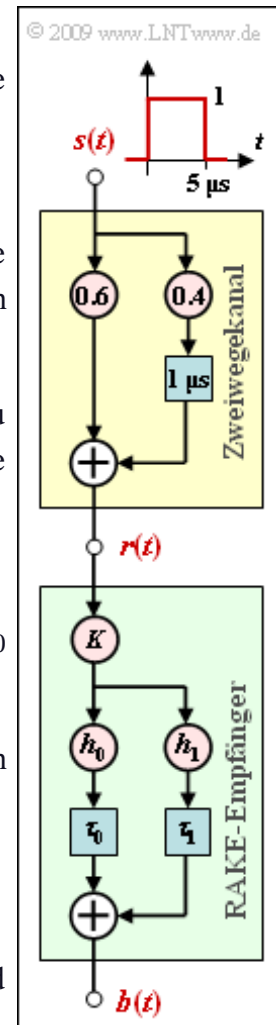
angegeben werden, allerdings nur dann, wenn die RAKE-Koeffizienten h_0 , h_1 , τ_0 und τ_1 geeignet gewählt werden. Der Hauptanteil von $h_{\text{KR}}(t)$ soll bei $t = \tau$ liegen.

Die Konstante K ist aus Normierungsgründen notwendig. Um den Einfluss von AWGN-Rauschen nicht zu verfälschen, muss folgende Bedingung erfüllt sein:

$$K = \frac{1}{h_0^2 + h_1^2}.$$

Gesucht sind außer den geeigneten RAKE-Parametern auch die Signale $r(t)$ und $b(t)$, wenn $s(t)$ ein Rechteck der Höhe 1 und der Breite $T = 5 \mu\text{s}$ ist.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 4.3** dieses Buches sowie auf die **Seite 6** von Kapitel 5.4 im Buch „Modulationsverfahren“.



Fragebogen zu "A4.7: RAKE-Empfänger"

a) Welche Aussagen gelten für die Kanalimpulsantwort $h_K(t)$?

- $h_K(t)$ besteht aus zwei Diracfunktionen.
- $h_K(t)$ ist komplexwertig.
- $h_K(t)$ ist eine mit der Verzögerungszeit τ periodische Funktion.

b) Welche Aussagen gelten für den Kanalfrequenzgang $H_K(f)$?

- Es gilt $H_K(f = 0) = 2$.
- $H_K(f)$ ist komplexwertig.
- $|H_K(f)|$ ist eine mit der Frequenz $1/\tau$ periodische Funktion.

c) Setzen Sie $K = 1$, $h_0 = 0.6$ und $h_1 = 0.4$. Bestimmen Sie die Verzögerungen τ_0 und τ_1 , damit die $h_{KR}(t)$ -Gleichung mit $A_0 = A_2$ erfüllt wird.

$\tau_0 =$	μs
$\tau_1 =$	μs

d) Welcher Wert ist für die Konstante K zu wählen?

$K =$

e) Welche Aussagen gelten für die Signale $r(t)$ und $b(t)$?

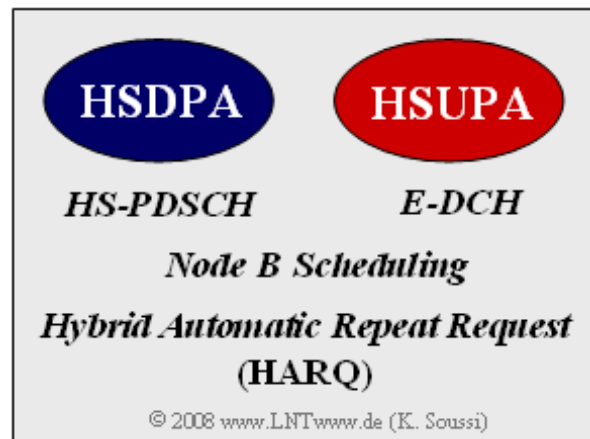
- Der Maximalwert von $r(t)$ ist 1.
- Die Breite von $r(t)$ ist $7 \mu\text{s}$.
- Der Maximalwert von $b(t)$ ist 1.
- Die Breite von $b(t)$ ist $7 \mu\text{s}$.

A4.8: HSDPA und HSUPA

Um eine bessere Dienstgüte zu erreichen, wurde der UMTS–Standard Release 99 weiter entwickelt. Die wichtigsten Weiterentwicklungen waren:

- UMTS Release 5 mit *HSDPA* (2002),
- UMTS Release 6 mit *HSUPA* (2004).

Zusammengefasst werden diese Entwicklungen als *High–Speed Packet Access* (HSPA).



Das Schaubild zeigt einige Eigenschaften von HSDPA und HSUPA, die besonders zur Steigerung der Leistungsfähigkeit beitragen:

- Beide nutzen *Hybrid Automatic Repeat Request* (HARQ) und *Node B Scheduling*.
- Mit HSDPA wurde der Hochgeschwindigkeits–Transportkanal HS–PDSCH (*High–Speed Physical Downlink Shared Channel*) neu eingeführt, der von mehreren Nutzern gemeinsam belegt wird und die simultane Übertragung gleicher Daten an viele Teilnehmer ermöglicht.
- Beim HSUPA–Standard gibt es den zusätzlichen Transportkanal *Enhanced Dedicated Channel* (E–DCH). Dieser minimiert unter anderem den negativen Einfluss von Anwendungen mit sehr intensivem bzw. stark unterschiedlichem Datenaufkommen.
- Bei HSPA wird eine adaptive Modulation und Codierung verwendet; die Übertragungsrate wird entsprechend angepasst. Bei guten Bedingungen wird eine 16–QAM (4 bit pro Symbol) bzw. 64–QAM (6 bit pro Symbol) verwendet, bei schlechteren Bedingungen nur 4–QAM (QPSK).
- Die maximal erreichbare Bitrate hängt von der Leistungsfähigkeit des Empfängers ab, aber auch vom *Transportformat* und den *Ressourcenkombinationen* (TFRC).

Von den 10 spezifizierten TFRC–Klassen seien hier willkürlich nur einige aufgeführt:

- TFRC2: QPSK (4–QAM) mit Coderate 1/2 \Rightarrow Bitrate 240 kbit/s,
- TFRC4: 16–QAM, Coderate 1/2 \Rightarrow Bitrate 480 kbit/s,
- TFRC8: 64–QAM, Coderrate 3/4 \Rightarrow Bitrate 1080 kbit/s.

Auf andere TFRC–Klassen wird in den Teilaufgaben d) und e) eingegangen.

Hinweis: Dier Aufgabe gehört zum Themengebiet von **Kapitel 4.4**.

Fragebogen zu "A4.8: HSDPA und HSUPA"

a) Welcher Standard erlaubt die höchsten Datenraten?

- UMTS (Release 99),
- HSDPA,
- HSUPA.

b) Was versteht man unter HARQ und was wird damit erreicht?

- Die Übertragung eines Rahmens startet erst nach Auswertung der gesendeten Kontrolldaten durch den Empfänger.
- Bei fehlerfreier Übertragung wird eine positive Quittung versendet, ansonsten ein NACK (*Non Acknowledgement*).
- Die erreichbare Datenrate wird durch HARQ herabgesetzt, wenn man vom AWGN-Kanal und gleichem E_B/N_0 ausgeht.

c) Was versteht man unter *Node B Scheduling*? Was erreicht man damit?

- Zuweisung von Prioritäten an die einzelnen Datenrahmen.
- Der Nutzer mit höchster Priorität bekommt den besten Kanal.
- Durch Scheduling wird die Zellenkapazität signifikant größer.

d) Wie groß ist die Bitrate von TFRC3 (QPSK, Coderate 3/4)?

$$\text{TFRC3: } R_B = \quad \text{kbit/s}$$

e) Wie groß ist die Bitrate von TFRC10 (64-QAM, Coderate 1)?

$$\text{TFRC10: } R_B = \quad \text{kbit/s}$$