

## A4.1: Allgemeine Fragen zu LTE

Die Mobilfunksysteme sind seit 2011 nun schon in der vierten Generation angekommen, ohne gravierende Verzögerungen, wie es bei der zweiten Mobilfunkgeneration (GSM) und noch mehr bei der dritten Generation (UMTS) der Fall war. Momentan (2016) ist „5G“ das alles dominierende Schlagwort. Über den Zeitpunkt der Einführung erlaubt sich der Autor allerdings keine präziseren Aussagen als „sehr bald“ oder „so bald als möglich“.

Die Entwicklung von neuen „Releases“ wird vom 3GPP stetig vorangetrieben. Auch in der Zukunft wird dieses internationale Konsortium, dem weltweit alle großen Mobilfunkbetreiber und –hersteller angehören, weiterhin eine herausragende Rolle für die Mobilkommunikation spielen.

Besonders für dünn besiedelte ländliche Gebiete ohne ausreichenden DSL–Breitbandanschluss wird LTE bereits seit 2011 kommerziell angeboten. Nach und nach erreicht der 4G–Mobilfunkstandard nun aber auch die Großstädte.

**Hinweis:** Die Aufgabe bezieht sich auf das **Kapitel 4.1**. In der Grafik sind einige LTE–relevante Begriffe angegeben. Einen direkten Bezug zur Aufgabe gibt es hier aber nicht.

SC–FDMA	3GPP	4G
OFDMA	FDD	ATIS
LTE–A	ARIB	EPS
TDD	TTA	TTC
MIMO	EPC	ETSI

© 2011 [www.LNTwww.de](http://www.LNTwww.de) (F. Kristl)

### Fragebogen zu "A4.1: Allgemeine Fragen zu LTE"

a) Welche wichtigen Neuerungen wurden vom 3GPP im Release 8 beschrieben?

- Eine rein paketorientierte Übertragung,
- eine hohe spektrale Effizienz,
- Frequenz- bzw. Bandbreitenflexibilität,
- ein niedriger Energieverbrauch an den Basisstationen.

b) Wozu dient die Duplexlücke des LTE-Frequenzbands um 800 MHz?

- Zur Realisierung des Cyclic Prefix,
- zur Vermeidung von Störungen zwischen Uplink und Downlink,
- zur Vermeidung von Überlagerungen zwischen einzelnen Providern.
- Man nutzt diese auch zum Betrieb von Funkmikrofonen.

c) Welche Verfahren und Techniken verwendet LTE hauptsächlich?

- OFDMA,
- SC-FDMA,
- MIMO,
- CDMA.

d) Wie unterscheiden sich die Frequenzbänder um 800 MHz bzw. um 2.6 GHz?

- Durch unterschiedliche Preise bei der Versteigerung.
- Im Frequenzband um 800 MHz gibt es nur gepaarte Frequenzen.
- Das Frequenzband um 2.6 GHz kann nur für FDD genutzt werden.
- Die Einsatzgebiete unterscheiden sich grundlegend.

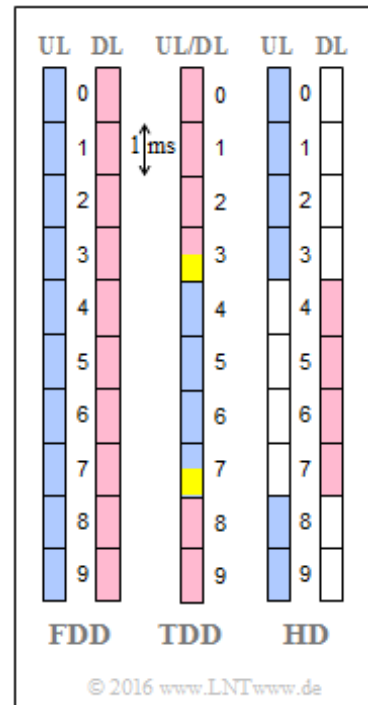
## A4.2: FDD, TDD und Halb-Duplex

Duplexverfahren sind im Mobilfunk erforderlich, damit der Uplink (UL) und der Downlink (DL) klar voneinander getrennt sind und sich somit nicht gegenseitig störend beeinflussen. Man unterscheidet entsprechend der Grafik zwischen

- **Frequency Division Multiplex (FDD)**,
- **Time Division Multiplex (TDD)**,
- **Halb-Duplexverfahren (HD)**.

Die beiden erstgenannten Duplexverfahren fanden bereits bei **UMTS** Verwendung. Das Halb-Duplexverfahren ist dagegen eine Neuerung bei *Long Term Evolution (LTE)*.

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



### Fragebogen zu "A4.2: FDD, TDD und Halb-Duplex"

a) Welche Duplexverfahren kommen mit einem Frequenzband aus?

- Frequency Division Duplex (FDD),
- Time Division Duplex (TDD),
- Half-Duplex (HD).

b) Welches Verfahren ist bei gleicher Belastung von UL und DL günstiger?

- Frequency Division Duplex (FDD),
- Time Division Duplex (TDD).

c) Welche Vorteile bietet das TDD-Verfahren gegenüber FDD?

- TDD bietet keinerlei Vorteile.
- Die Endgeräte lassen sich billiger produzieren als bei FDD.
- TDD ist bei ungleicher UL/DL-Belastung geringer.

d) Welche Vorteile bietet das Halb-Duplex-Verfahren?

- HD bietet keinerlei Vorteile.
- Die Endgeräte lassen sich billiger produzieren als bei FDD.
- Im Gegensatz zu TDD benötigt man bei HD keine *Guard Periods*.
- Bei gleichen UL/DL-Anforderungen ist HD mit FDD vergleichbar.

## Z4.2: MIMO–Anwendungen bei LTE

Eine der vielen Neuerungen von LTE ist die Verwendung von Mehrantennenkonzepten. Bei der unter dem Namen *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) bekannten Technologie handelt es sich allerdings nicht um eine LTE–spezifische Entwicklung. Beispielsweise nutzt auch WLAN diese Methode.

Das prinzipielle Konzept von MIMO wird in der **Grafik** auf Seite 4a dieses Kapitels verdeutlicht. Sowohl der Sender als auch der Empfänger sind hier mit mehreren Antennen ausgestattet. Damit lassen sich gleichzeitig auch mehrere Datenströme übertragen. LTE unterstützt neben *Single Input Single Output* (SISO) auch 2x2–MIMO im Uplink und bis zu 4x4–MIMO im Downlink.

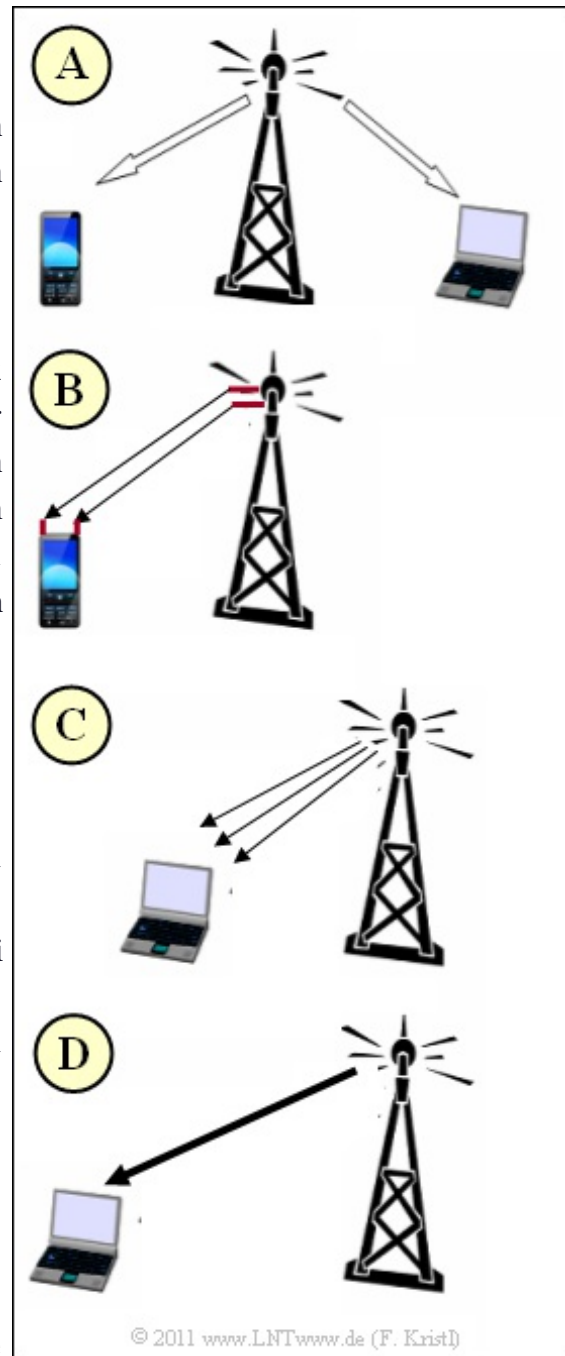
Vorteile der MIMO–Technik sind:

- ein *Diversitätsgewinn* und ein *Datenratengewinn* bei mehreren Verbindungen,
- ein *höheres Signal-to-Noise Ratio* (SNR) und *Peak-SNR* bei gleicher Sendeleistung, oder
- eine *geringere erforderliche Sendeleistung* bei gleichen Qualitätsanforderungen,
- mehr Redundanz bei der Systemrealisierung und damit ein *robusteres System*.

Meist können nicht alle Vorteile gleichzeitig ausgenutzt werden. Abhängig von der Kanalbeschaffenheit kann es auch passieren, dass man nicht einmal die Wahl hat, welchen dieser Vorteile man nutzen will.

Unter dem Namen „MIMO“ werden vier verschiedene Mehrantennenverfahren mit verschiedenen Eigenschaften zusammengefasst, die in gewissen Situationen nützlich sein können.

- Werden die weitgehend unabhängigen Kanäle eines MIMO-Systems von einem einzigen Nutzer belegt, so spricht man von **Single-User MIMO**. Dadurch erhöht sich für diesen Teilnehmer die Datenrate bei 2x2–MIMO fast um den Faktor 2 und bei 4x4–MIMO knapp um den Faktor 4.
- Bei **Multi-User MIMO** überträgt man verschiedene Datenströme zu unterschiedlichen Nutzern. Dies ist besonders an Orten mit einer hohen Nachfrage nützlich, wie zum Beispiel an Flughäfen oder auch in Fußballstadien. Im Mittelpunkt steht also nicht die maximale Datenrate für einen Empfänger, sondern die Anzahl der Endgeräte, die gleichzeitig das Netz nutzen können.
- Von **Beamforming** spricht man dann, wenn im Falle von schlechten Übertragungsbedingungen die Sendeleistung mehrerer Antennen gebündelt und so gezielt Daten zu einem (besonders wichtigen) Teilnehmer übertragen werden, um dessen Empfangsqualität zu verbessern.



- Mit Hilfe von **Antennendiversität** erhöht man die Redundanz und gestaltet so die Übertragung robuster gegenüber Störungen. Gibt es zum Beispiel vier Kanäle, so übertragen diese bei dieser Anwendung alle die gleiche Nachricht. Fällt irgendwann ein Kanal aus, so sind immer noch drei Kanäle vorhanden, die die Nachricht transportieren können.

**Hinweis:** Die Aufgabe gehört zum Themengebiet von **Kapitel 4.2**. In der nebenstehenden Grafik sind die oben aufgeführten MIMO–Anwendungen durch stark vereinfachende Schaubilder verdeutlicht. In der Teilaufgabe a) sollen Sie die einzelnen Anwendungen den Skizzen zuordnen.

### Fragebogen zu "Z4.2: MIMO–Anwendungen bei LTE"

a) Welche Skizzen stehen für welche der bei LTE eingesetzten MIMO–Methoden?

- Skizze A verdeutlicht Multi–User MIMO.
- Skizze C verdeutlicht Multi–User MIMO.
- Skizze B verdeutlicht Antennendiversität.
- Skizze D verdeutlicht Antennendiversität.

b) Welche Arten von Diversitäten gibt es allgemein?

- Interferenzdiversität,
- Raumdiversität,
- Zeitdiversität,
- Rayleigh–Diversität,
- Frequenzdiversität.

c) Welche Vorteile ergeben sich durch den Einsatz von MIMO direkt?

- Ein Diversitätsgewinn,
- Verminderung der Interzellinterferenzen,
- Verminderung der Intersymbolinterferenzen,
- ein größeres Signal–to–Noise–Ratio (SNR),
- eine robustere Systemrealisierung.

d) Welche (direkten) Vorteile ergeben sich für LTE durch MIMO?

- Höhere Datenraten für einzelne Nutzer,
- größere Reichweiten der Basisstationen,
- ein geringerer Energieverbrauch an den Basisstationen,
- ein geringerer Energieverbrauch bei den Endgeräten,
- verbessertes Quality–of–Service (QoS),
- eine größere Anzahl gleichzeitiger Nutzer.

### A4.3: Subcarrier-Mapping

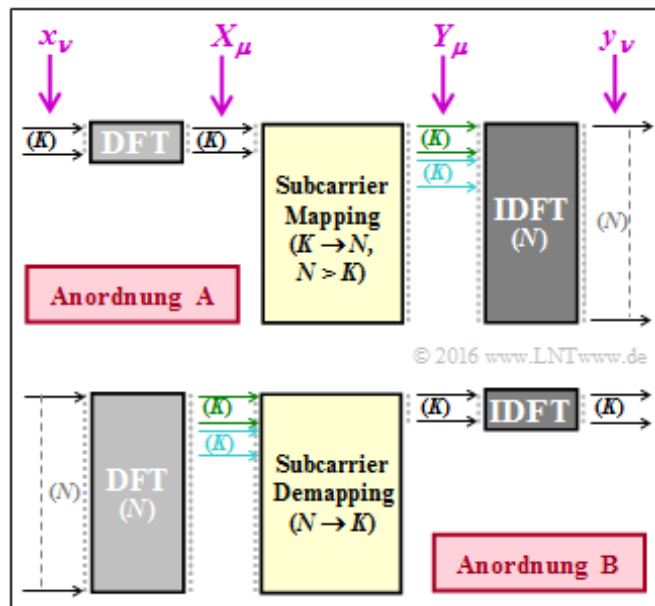
Die Grafik zeigt zwei Übertragungsschemata, die im Zusammenhang mit *Long Term Evolution* (LTE) eine Rolle spielen. Diese Blockschaltbilder werden hier neutral als „Anordnung A“ bzw. „Anordnung B“ bezeichnet.

- Mit den hellgrauen bzw. den dunkelgrauen Blöcken ist der Übergang vom Zeit- in den Frequenzbereich (bzw. umgekehrt) dargestellt.

Hierbei verweisen wir auf die folgenden Links:

„DFT“ die **Diskrete Fouriertransformation**,

„IDFT“ die **Inverse DFT**.



Für die Stützstellenanzahl von DFT und IDFT werden mit  $K = 12$  und  $N = 1024$  realistische Zahlenwerte angenommen.

- Der Wert  $K = 12$  ergibt sich aus der Tatsache, dass durch das *Subcarrier-Mapping* die Symbole auf eine gewisse Bandbreite „gemappt“ werden. Der kleinste adressierbare Block ist bei LTE 180 kHz. Mit dem Unterträgerabstand von 15 kHz ergibt sich  $K = 12$ .
- Mit der Stützstellenanzahl  $N$  der IDFT (bei Anordnung A) können somit bis zu  $J = N/K$  Nutzer gleichzeitig bedient werden. Für das *Subcarrier-Mapping* gibt es mit DFDMA, IFDMA und LFDMA drei verschiedene Ansätze.
- Die beiden ersten Nutzer sind in der Grafik grün bzw. türkis eingezeichnet. In der Teilaufgabe (e) sollen Sie entscheiden, ob die Skizze für DFDMA, IFDMA oder LFDMA gilt.

**Hinweis:** Die Aufgabe gehört zum Themengebiet von **Kapitel 4.3**.



### Fragebogen zu "A4.3: Subcarrier-Mapping"

a) Wofür gelten die skizzierten Anordnungen auf der Angabenseite?

- Für den LTE-Downlink,
- für den LTE-Uplink.

b) Welche Einheiten sind auf der Angabenseite dargestellt?

- Anordnung A zeigt den Sender des LTE-Uplinks.
- Anordnung B zeigt den Empfänger des LTE-Uplinks.
- Beide Modelle gelten für Sender und Empfänger gleichermaßen.

c) Welche nicht eingezeichneten Blöcke sind noch erforderlich?

- Vor Anordnung A benötigt man einen Seriell-Parallel-Wandler.
- Nach Anordnung B benötigt man einen Parallel-Seriell-Wandler.

d) Wie viele Nutzer ( $J$ ) kann man mit  $K = 12$  und  $N = 1024$  gleichzeitig bedienen?

$$J =$$

e) Welches Mapping liegt der Grafik auf der Angabenseite zugrunde?

- Distributed Mapping* (DFDMA),
- Interleaved Mapping* (IFDMA),
- Localized Mapping* (LFDMA).

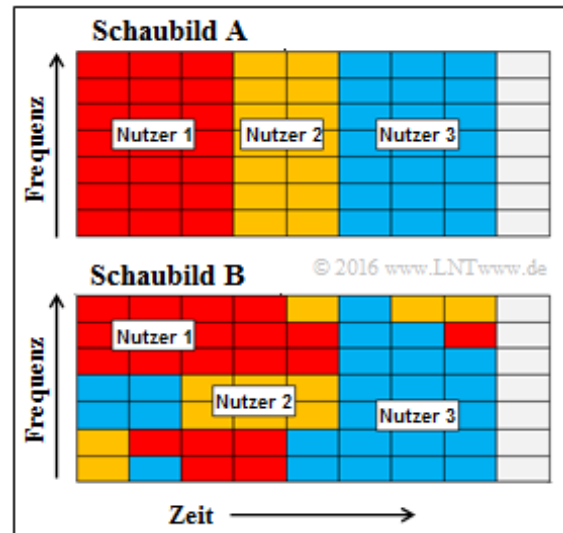
f) Welche DFT (IDFT) lassen sich als FFT (IFFT) realisieren?

- Die DFT im linken Bereich von Anordnung (A).
- Die IDFT im rechten Bereich von Anordnung (A).
- Die DFT im linken Bereich von Anordnung (B).
- Die IDFT im rechten Bereich von Anordnung (B).

### Z4.3: Zugriffsverfahren bei LTE

Beim 4G-Mobilfunksystem LTE gab es gegenüber dem 3G-System UMTS nicht nur eine Veränderung der Modulationsart, sondern insbesondere auch hinsichtlich des Zugriffsverfahrens. Ein geeignetes Zugriffsverfahren zeichnet sich dadurch aus, dass möglichst viele Nutzer einer Funkzelle mit möglichst hoher Datenrate versorgt werden können. Entscheidend ist der Gesamtdurchsatz.

Die Grafik zeigt in zwei Schaubildern A und B beispielhafte Frequenz-Zeit-Belegungen. Sie sollen entscheiden, welche Zugriffsverfahren durch diese beiden Schaubilder erklärt werden.



**Hinweis:** Alle erforderlichen Informationen finden Sie

- auf der Seite **Gemeinsamkeiten/Unterschiede zwischen OFDM und OFDMA**, und
- im Kapitel **Vielfachzugriffsverfahren** im Buch „Modulationsverfahren“.

### Fragebogen zu "Z4.3: Zugriffsverfahren bei LTE"

a) Welche Zugriffsverfahren werden bei LTE genutzt?

- CDMA,
- OFDM,
- OFDMA,
- SC-FDMA.

b) Welche der Aussagen treffen für das OFDMA-Verfahren zu?

- Jeder Frequenzblock wird nur von einem Teilnehmer belegt.
- Es können mehrere Teilnehmer einen Frequenzblock belegen.
- Alle Teilnehmer teilen sich das gesamte Frequenzband.
- Obligatorisch ist zusätzlich die Anwendung von TDMA.

c) Welches Schaubild beschreibt OFDMA?

- Schaubild A,
- Schaubild B.

d) Was gilt hinsichtlich der Ressourcenzuteilung?

- Die OFDMA-Ressourcenzuteilung ist flexibler als bei OFDM.
- Um diese Flexibilität nutzen zu können, ist aber eine Abstimmung zwischen der Basisstation (*eNodeB*) und dem Endgerät notwendig.
- Den Vorzug erhält stets ein Kanal mit schlechten Bedingungen.

### A4.4: Zur Modulation bei LTE

Bei LTE wählt der Scheduler je nach Beschaffenheit der Umgebung und Entfernung des Teilnehmers zur Basisstation das passende Modulationsverfahren aus. In dieser Aufgabe betrachten wir verschiedene QAM-Verfahren, nämlich:

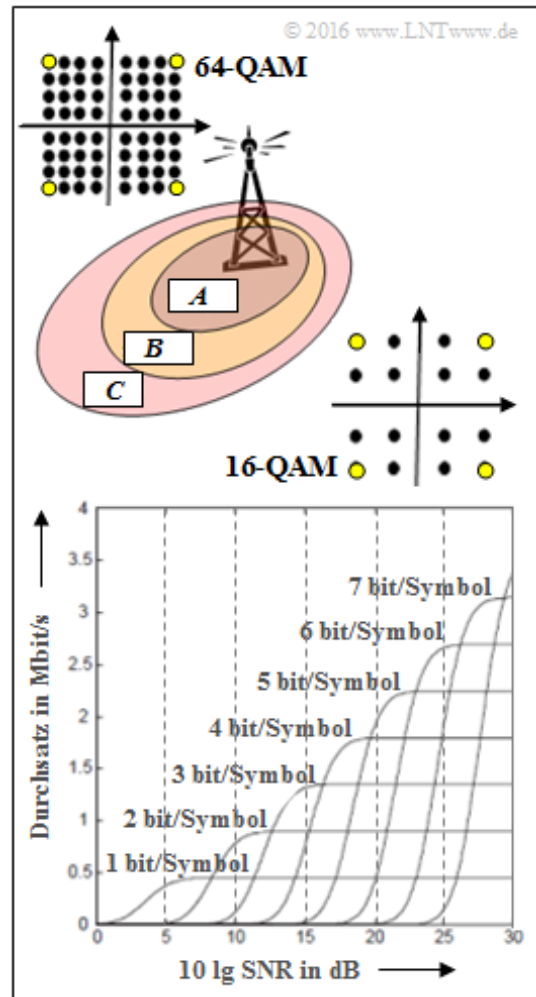
- 4-QAM mit  $b = 2$  bit/Symbol,
- 16-QAM mit  $b = 4$  bit/Symbol,
- 64-QAM mit  $b = 6$  bit/Symbol.

Rein formal lassen sich diese Verfahren als „ $b^2$ -QAM“ bezeichnen. Dargestellt sind die Signalraumkonstellationen für 16-QAM und 64-QAM angegeben. Die gelben Punkte kennzeichnen jeweils die 4-QAM.

Das untere Diagramm aus [MG08] zeigt für verschiedene  $b$  den Durchsatz abhängig vom Signal-zu-Stör-Abstand  $\Rightarrow 10 \cdot \lg \text{SNR}$ . Man erkennt, dass bei sehr gutem Kanal (also sehr großes SNR) der Durchsatz proportional zu  $b$  ist.

**Hinweis:** Die Aufgabe bezieht sich auf die Theorieseite **Modulation bei LTE** sowie auf das **Kapitel 4** im Buch „Modulationsverfahren“.

Die in der obigen Skizze eingezeichneten Gebiete **A**, **B** und **C** sollen in der Teilaufgabe (a) den Modulationsverfahren 4-QAM, 16-QAM und 64-QAM zugeordnet werden.



### Fragebogen zu "A4.4: Zur Modulation bei LTE"

a) Welche Zuordnungen gelten in den Gebieten **A**, **B** und **C**?

- Das Modulationsverfahren für Gebiet **A** ist 4-QAM.
- Das Modulationsverfahren für Gebiet **B** ist 16-QAM.
- Das Modulationsverfahren für Gebiet **C** ist 64-QAM.

b) Ab welchem  $\text{SNR}_1$  ist 16-QAM besser als 4-QAM?

$$10 \cdot \lg \text{SNR}_1 = \quad \text{dB}$$

c) Ab welchem  $\text{SNR}_2$  ist 64-QAM besser als 16-QAM?

$$10 \cdot \lg \text{SNR}_2 = \quad \text{dB}$$

d) Welches Modulationsverfahren wäre für  $10 \cdot \lg \text{SNR} = 5 \text{ dB}$  am besten?

- BPSK (*Binary Phase Shift Keying*),
- QPSK (*Quaternary Phase Shift Keying*),
- 4-QAM.

## Z4.4: Physikalische Kanäle bei LTE

Die Aufgabe bezieht sich auf die beiden Theorieseiten

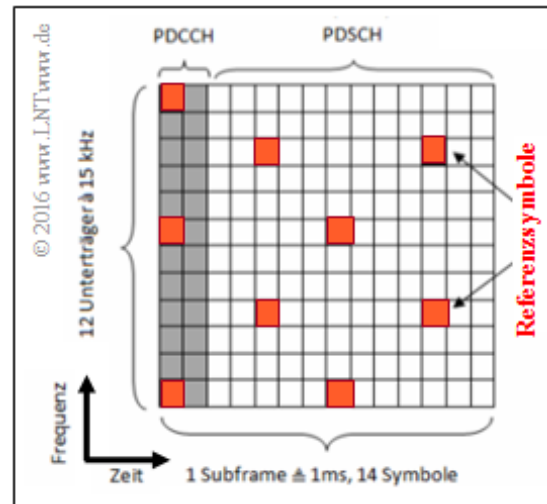
- **Physikalische Kanäle im Uplink,**
- **Physikalische Kanäle im Downlink.**

Alle für die Aufgabe erforderlichen Informationen finden Sie auf diesen Seiten.

Die Grafik zeigt die Belegung der beiden Kanäle PDCCH und PDSCH in Frequenz und Zeit:

- Ein Frequenzblock umfasst 180 kHz und unterteilt sich in zwölf Unterträger zu je 15 kHz.
- Ein Subframe ist eine Millisekunde lang und umfasst 14 Symbole.
- Rot eingezeichnet sind so genannte Referenzsymbole.

**Hinweis:** Die Aufgabe gehört zu **Kapitel 4.4.**



### Fragebogen zu "Z4.4: Physikalische Kanäle bei LTE"

a) Welche physikalische Kanäle gehören zum LTE-Uplink?

- PDCCH,
- PDSCH,
- PUCCH,
- PUSCH.

b) Welche der Kanäle übertragen Nutzdaten?

- PDCCH,
- PDSCH,
- PUCCH,
- PUSCH.

c) Welche Aussagen gelten für die Grafik auf der Angabenseite?

- Dargestellt ist ein Übertragungsblock für den Downlink.
- Ein Block ist die kleinste adressierbare Einheit bei LTE.
- Die Referenzsymbole dienen zur Schätzung der Kanalqualität.

d) Welche Aussagen stimmen ohne Berücksichtigung der Referenzsymbole?

- Im Beispiel beinhalten 6/7 der Symbole Nutzinformation.
- „6/7 der Symbole tragen Nutzinformation“ gilt ganz allgemein.

e) Wovon hängt die individuelle Datenrate eines Nutzers ab?

- Von der Anzahl der zugewiesenen Ressourcenblöcke,
- von der insgesamt zur Verfügung stehenden Bandbreite,
- von der Kanalqualität für diesen Nutzer,
- von den Anforderungen aller Nutzer.

## A4.5: LTE vs. LTE-Advanced

Im Sommer 2011 steht nun LTE kurz vor der kommerziellen Nutzung und in immer mehr Großstädten wird derzeit mit dem Auf- und Ausbau begonnen. Auch wenn – ähnlich wie bei vorherigen Standards – noch einige Zeit vergehen wird, bis alle Interessenten die Vorzüge dieses Mobilfunksystems der vierten Generation werden nutzen können: **LTE** ist auf dem Vormarsch.

Gleichzeitig ist bereits der Nachfolger **LTE-Advanced** (kurz LTE-A) in der Endphase der Spezifizierung angekommen. Im Vergleich zu LTE werden hier die Geschwindigkeiten grob gesprochen mehr als verdreifacht. Dies zeigt, dass sich auch im Jahr 2011 – fast 20 Jahre nach der ersten Euphorie – *Moore's Law* noch auf den Mobilfunk anwenden lässt. Mit einer kontinuierlichen technischen Weiterentwicklung ist zu rechnen.

**Hinweis:** Die Aufgabe gehört zu **Kapitel 4.5**. Bezug genommen wird außer auf LTE und LTE-A auch auf andere neuere Standards wie WiMAX und UMB. In der Grafik sind einige der Neuerungen beim Übergang von LTE auf LTE-Advanced zusammengestellt.

### Neues bei *LTE-A* gegenüber *LTE*

- **Höhere Bitraten; im DL bis 1 Gbit/s bei geringer Bewegung**
- **Es werden Bandbreiten bis 100 MHz unterstützt (vorher 20 MHz)**
- **MIMO-Erweiterung auf 4x4 im Uplink und 8x8 im Downlink**
- **Deutlich höhere spektrale Effizienz: 30 bit/s/Hz (DL), 15 bit/s/Hz (UL)**
- **Verbesserungen im Ablaufplan der SC-FDMA-Übertragung**
- **Bessere Versorgung an den Zellengrenzen durch *Relay Nodes***
- **Neues Feature: *Coordinated Multiple Point Transmission and Reception***

© 2011 [www.LNTwww.de](http://www.LNTwww.de)



### Fragebogen zu "A4.5: LTE vs. LTE-Advanced"

a) Welche Standards stehen in direkter Konkurrenz zu LTE bzw. LTE-A?

- LTE-B,
- LTE2,
- WiMAX,
- UMB,
- W-CDMA.

b) Was soll mit den *Relay Nodes* in LTE-Advanced erreicht werden?

- Ein besseres QoS (*Quality of Service*).
- Höhere Übertragungsraten in der Nähe der Basisstationen.
- Eine größere Robustheit durch mehrfache gleichzeitige Übertragung.
- Eine Erhöhung der Reichweite der Zellen.

c) Warum werden die theoretisch möglichen Datenraten praktisch nicht erreicht?

- Die Spezifizierung war zu optimistisch.
- Viele gleichzeitige Nutzer führen zu einer Degradation.
- Einfluss von Abschirmungen durch Gebäude, etc.
- Die verfügbare Hardware bremst das theoretisch schnelle Netz aus.
- Es gibt Probleme mit der Umsetzung von Sprachverbindungen.

d) Worin liegt das Potential von WiMAX und dessen Nachfolger?

- Es bietet große Reichweiten und hohe Datenraten gleichermaßen.
- WiMAX ist wesentlich schneller als LTE bzw. LTE-Advanced.
- WiMAX wird durch die Bundesregierung besonders unterstützt.