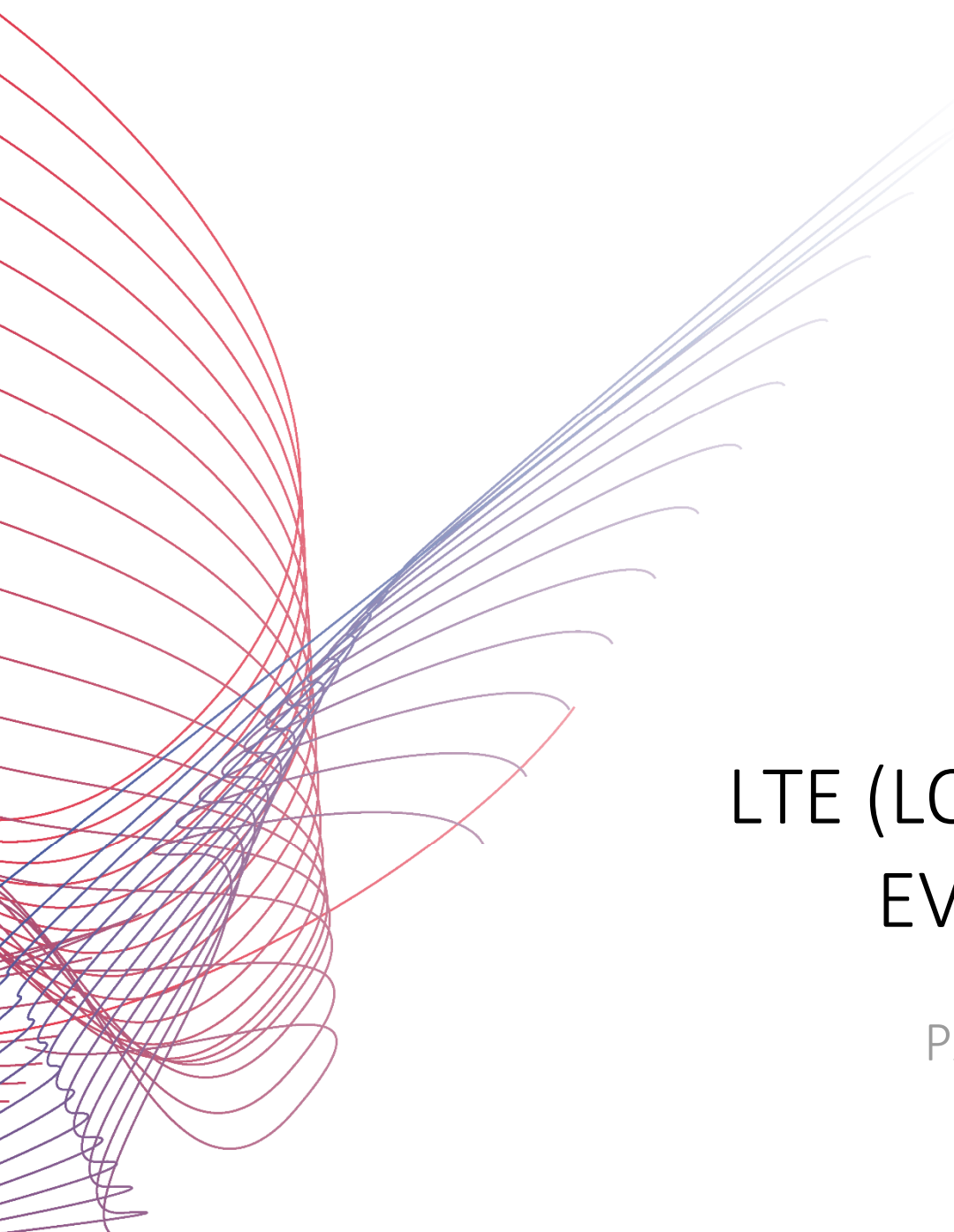




# TECH pedia



## LTE (LONG TERM EVOLUTION)

PAVEL BEZPALEC

**Titel der Arbeit:** LTE (Long Term Evolution)  
**Author:** Pavel Bezpalec  
**Übersetzt (von):** Alena Dvořáková  
**Veröffentlicht (von):** České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
**Kontaktadresse:** Technicka 2, Prague 6, Czech Republic  
**Tel.:** +420 224352084  
**Drucken:** (nur elektronisch)  
**Anzahl der Seiten:** 35  
**Ausgabe:** 1. Ausgabe, 2017  
**ISBN** 978-80-01-06293-7

**TechPedia**

European Virtual Learning Platform for  
Electrical and Information Engineering

<http://www.techpedia.eu>



Dieses Projekt wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung (Mitteilung) trägt allein der Verfasser; die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

## ERLÄUTERUNG



Definition(en)



Interessantheit (Interessantes)



Bemerkung



Beispiel



Zusammenfassung



Vorteile



Nachteile

---

## ZUSAMMENFASSUNG

Long Term Evolution (LTE) ist ein nächster Schritt in der Entwicklung mobiler Dienste. Die LTE-Technologie basiert auf Standards der 3GPP-Assoziation und bietet Übertragungsraten von bis zu 150 Mbit/s in der Downlink-Richtung und bis zu 50 Mbit/s in der Uplink-Richtung. Feste drahtlose Standards und Standards für Festnetze erreichen Übertragungsraten von bis zu 100 Mbit/s. LTE stellt eine Möglichkeit dar, mobile Kommunikation mit solch hohen Datenübertragungsraten zu betreiben.

## ZIELE

Allgemeine Kenntnisse über LTE-Technologie.

## LITERATUR

- [1] Lescuyer, P. – Lucidarme, T. Evolved Packet System (EPS): The LTE and the SAE Evolution of 3G UMTS. John Wiley & Sons Ltd., 2008. ISBN 978-0-470-05976-0.
- [2] Sesia, S. – Toufik, I. – Baker, M. LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons Ltd., 2009. ISBN 978-0-470-69716-0.
- [3] Olsson, M. et. al., SAE and the Evolved Packet Core – Driving the Mobile broadband Revolution. Academic Press; 1. Edition, 2009. ISBN 978-0-12-374826-3.

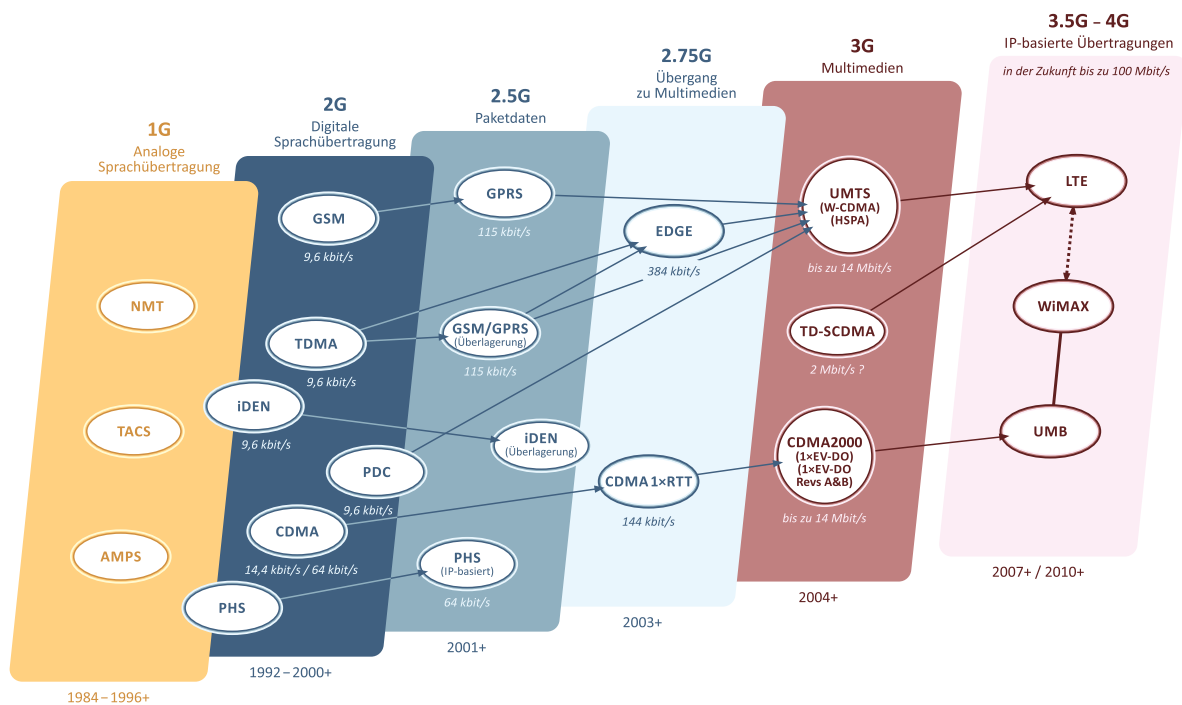
# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Übersicht der mobilen Technologien für Sprach- und Datenübertragung .....</b>	<b>6</b>
1.1	2G-Netzwerkarchitektur .....	7
1.2	Entwicklung zur 3G und IMS .....	9
1.3	EPS-Architektur .....	11
<b>2</b>	<b>LTE-Netzwerktopologie .....</b>	<b>12</b>
2.1	E-UTRAN .....	13
2.2	EPC und seine Komponenten.....	15
<b>3</b>	<b>Protokollarchitektur in LTE.....</b>	<b>18</b>
3.1	Benutzerebene in LTE.....	19
3.2	Steuerungsebene in LTE .....	21
<b>4</b>	<b>Physische und logische Kanäle in LTE .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Datenfluss in einem LTE-Netz .....</b>	<b>23</b>
5.1	Datenfluss in der Uplink-Richtung.....	25
5.2	Datenfluss in der Downlink-Richtung.....	26
<b>6</b>	<b>Sprachübertragung in LTE.....</b>	<b>27</b>
6.1	Voice over LTE .....	28
6.2	CSFB – Circuit-Switched FallBack .....	30
6.3	Simultaneous voice and LTE (SVLTE) .....	31
<b>7</b>	<b>Dienstqualität in LTE .....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Entwicklung in LTE.....</b>	<b>34</b>

# 1 Übersicht der mobilen Technologien für Sprach- und Datenübertragung

Die Abkürzung **LTE** (*Langfristige Entwicklung*, engl. *Long Term Evolution*) ist eine registrierte Schutzmarke des *Europäischen Instituts für Telekommunikationsnormen (ETSI, European Telecommunications Standards Institute)*, das sich mit drahtlosen Datenkommunikationstechnologien und der Entwicklung der GSM/UMTS-Standards beschäftigt. Darüber hinaus spielen auch weitere Staaten und Gesellschaften eine aktive Rolle im LTE-Projekt. Das Ziel von LTE ist die Erhöhung der Kapazität und Geschwindigkeit der drahtlosen Datennetze mittels neuer Techniken der *digitalen Signalverarbeitung (DSP, engl. Digital Signal Processing)* und Modulationen, die zur Jahrtausendwende entwickelt wurden. Sie zielt auch auf ein Redesign und eine Vereinfachung der Netzwerkarchitektur der auf IP-Protokollen basierten Systeme mit einer wesentlich gesenkten Übertragungsverzögerung im Vergleich zur 3G-Architektur. Die drahtlose LTE-Schnittstelle ist nicht mit den 2G- und 3G-Netzen kompatibel und muss daher in einem gesonderten Radiospektrum betrieben werden.

Um die wichtigsten Trends der erweiterten 3G-Architektur zu verstehen, muss man, beginnend mit 2G-Netzen, die Meilensteine der Entwicklung der drahtlosen Netze kennen.



Entwicklung der drahtlosen Technologien

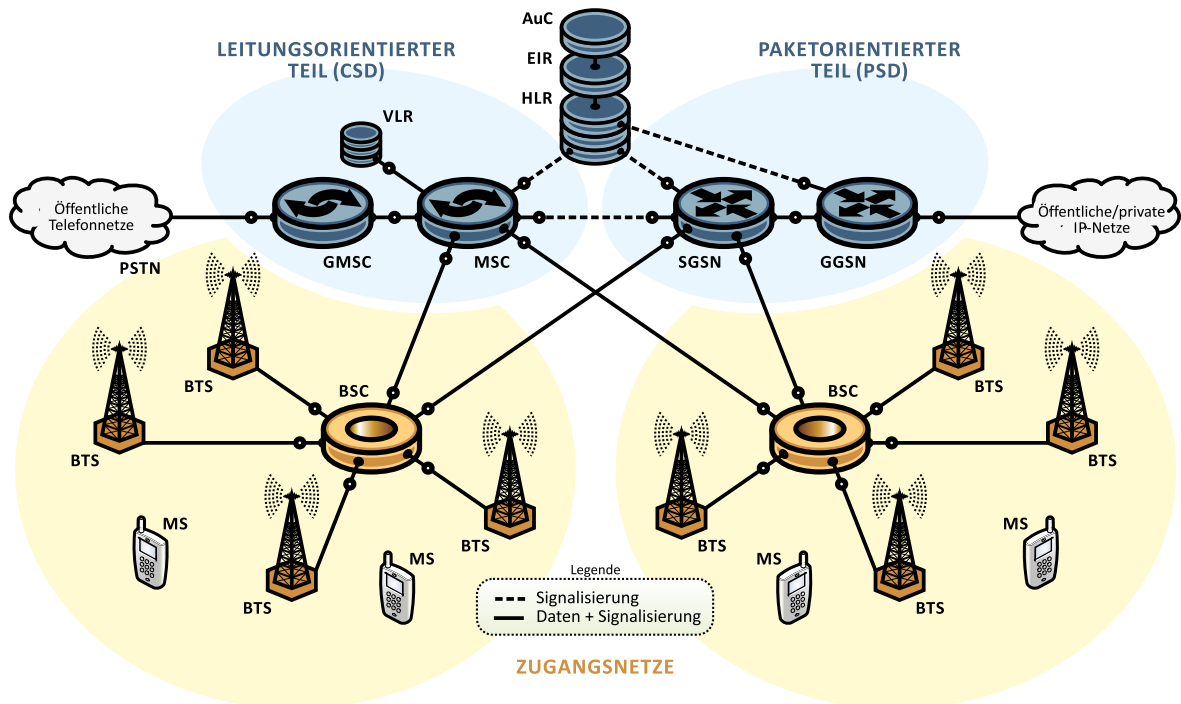
## 1.1 2G-Netzwerkarchitektur

Mobilfunknetze der zweiten Generation (GSM) wurden ursprünglich für die Sprachübertragung und leitungsvermittelte Dienste entworfen. Deshalb ist die Architektur dieser Netze ziemlich einfach und hat zwei Hauptteile:

- Zugangsnetz (*Access Network*), das eine Funkschnittstelle, Netzknoten und Schnittstellen zur Unterstützung funkrelevanter Funktionen einschließt. In den ursprünglichen GSM-Systemen wurde die Funkschnittstelle für Sprachübertragung oder Datenübertragung mit einer niedrigen Bitrate entworfen und optimiert.
- Backbone-Netz (*Core Network*) mit *Leitungsvermittlung* (**CS**, engl. *Circuit Switching*) unterstützt leitungsvermittelte Dienste (einschließlich Verbindung, Authentifizierung und Rechnungserstellung) und Zusammenarbeit mit klassischen *öffentlichen vermittelten Telefonnetzen* (**PSTN**, engl. *Public Switched Telephone Network*).

Als IP- und Web-Dienste entstanden, entwickelten sich 2G-Netze weiter, um Paketdatenübertragungen effizient zu unterstützen:

- Das Zugangsnetz wurde teilweise überarbeitet, so dass es Paketübertragung und geteilte Schemen zur Verteilung von Ressourcen wie die GPRS- und EDGE-Technologien unterstützt.
- Ins Backbone-Netz wurde parallel zum CS-Teil ein paketorientierter **PS**-Teil (engl. *Packet Switched*) hinzugefügt. Er hat dieselbe Rolle wie der CS-Teil, d. h. Unterstützung der Paketübertragung (einschließlich Authentifizierung und Rechnungserstellung) und Zusammenarbeit mit öffentlichen oder privaten IP-basierten Netzen.



Modell des 2G-Netztes Dual Core

Der CS-Teil besteht aus einem Server und einer *Mobilfunk-Vermittlungsstelle/Aufenthaltsregister (MSC/VLR*, engl. *Mobile Switching Center/Visitor Location Register*), der für Ende-zu-Ende-Verbindung und Empfang von Informationen zur Benutzerposition verantwortlich ist (diese Informationen werden üblicherweise für sog. Paging der Benutzerstation zur Herstellung der Kommunikationssitzungen verwendet). Das **GMSC** (*Gateway MSC*) ist ein spezieller Typ der MSC, die für die Zusammenarbeit mit weiteren PSTN zuständig ist.

Der PS-Teil besteht aus einem *bedienenden GPRS-Knoten (SGSN*, engl. *Serving GPRS Support Node*), der im Wesentlichen eine MSC/VLR für die Paketvermittlung darstellt, und einem *Gateway-GPRS-Knoten (GGSN*, engl. *Gateway GPRS Support Node*), der dem GMSC für Zusammenarbeit mit externen Paketnetzen entspricht.

Sowohl der PS- als auch der CS-Teil können miteinander verbunden werden, um eine konsistente Information über die Benutzerposition in den beiden Teilen aufrechtzuerhalten und damit den Umfang der gegenseitigen Kommunikation zu senken.

Zusätzlich zu den Knoten, die für die gegebenen Teile spezifisch sind, beinhaltet das Backbone-Netz eine *Heimatortdatei (HLR*, engl. *Home Location Register*), die sowohl für den CS- als auch PS-Teil zugreifbar ist. HLR ist ein Schlüsselbestandteil der Netzwerkarchitektur, weil sie alle Informationen eines Benutzerprofils einschließt.



## 1.2 Entwicklung zur 3G und IMS

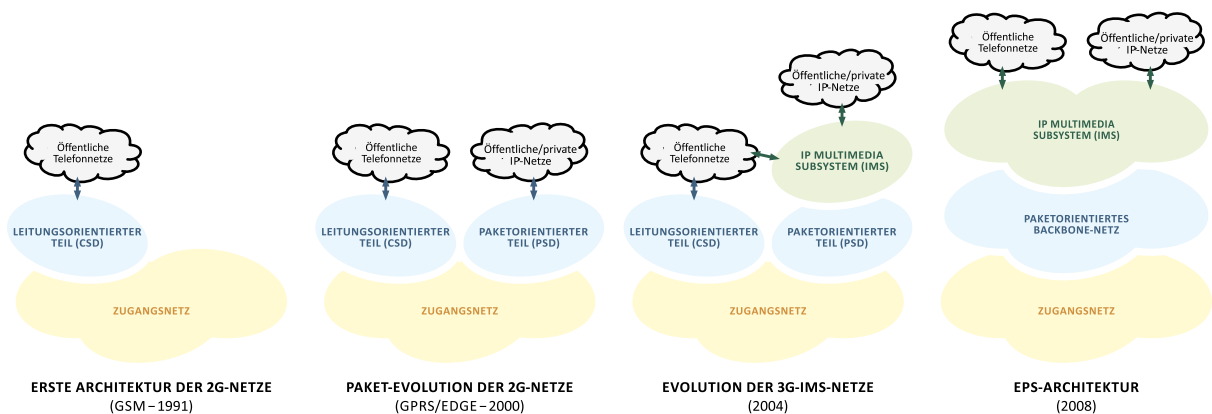
Aus der Sicht des Systems ist die initiale Netzwerkarchitektur der 3G-UMTS-Netze mehr oder weniger vergleichbar mit den 2G-Netzen, weil sie sowohl den Leitungs- als auch den Paketteil einschloss. Danach wurde ein neuer Teil über den PS-Teil ergänzt: **IMS** (*IP Multimedia Subsystem*).

$E=m \cdot c^2$

IMS beinhaltet alle Elemente des Netzkerns für die Erbringung von IP-Multimedien, wie Audio, Video, Text, Chat usw. und ihre Kombinationen, die durch Paketvermittlung übertragen werden. IMS erweitert die Architektur der bestehenden GSM-/UMTS-Netze um einen Teil zur Übertragung von Multimedia mittels Paketvermittlung. Unter Übertragung von Multimedia-Daten versteht man sowohl normale Telefon- und Konferenzgespräche als auch Übertragung von Ton und Video einschließlich Streaming, desweiteren Chats und Instant Messaging (Nachrichtenfortversand), Real-Time-Spiele u. ä.

Das Hauptziel von IMS war die Bereitstellung von standardmäßigen, kompatiblen IP-Diensten (wie z. B. *Push-To-Talk*, *Presence* oder *Instant Messaging*) und das konsistent in allen drahtlosen 3GPP-Netzen. Die Interoperabilität der IMS-basierten Dienste wurde durch die Tatsache garantiert, dass IMS auf flexiblen, von IETF entwickelten Protokollen basiert, wie **SIP** (*Session Initiation Protocol*).

Ferner bietet IMS die Unterstützung von **VoIP** (*Voice over IP*) und stellt die Zusammenarbeit mit klassischen PSTN mittels Signalisierungs- und Mediatgateways sicher.



Entwicklung der Netzwerkarchitektur

Wie auf dem Bild zu sehen ist, war der CS-Teil noch ein Bestandteil der 3G-Architektur, zusammen mit der Struktur PS/IMS. Das Behalten des CS-Teils wurde mit dem Bedarf der Unterstützung von den immer noch dominanten leitungsvermittelten Sprachdiensten und von Videotelefondiensten des Standards H.324M motiviert.

Obwohl IMS als ein interessanter Schritt in die Richtung zur Integration von Diensten präsentiert wurde, unterließen Netzwerkoperatoren seinen breiten Einsatz

und seine Verwendung als eine gemeinsame Plattform für alle Dienste (einschließlich Sprachdiensten, Datenübertragungen in Echtzeit und weiteren Diensten) wegen mangelnder Unterstützung der Sprachdienste und der übergangslosen Mobilität zwischen bestehenden CS-basierten Netzen und IMS.

## 1.3 EPS-Architektur

Fortgeschrittene UMTS-Netze (**EPS**, *Evolved Packet System*) haben ein klares Ziel: Integration aller Anwendungen mittels einer vereinfachten und allgemeinen Architektur. Es gibt die folgenden grundlegenden Komponenten der EPS-Architektur:

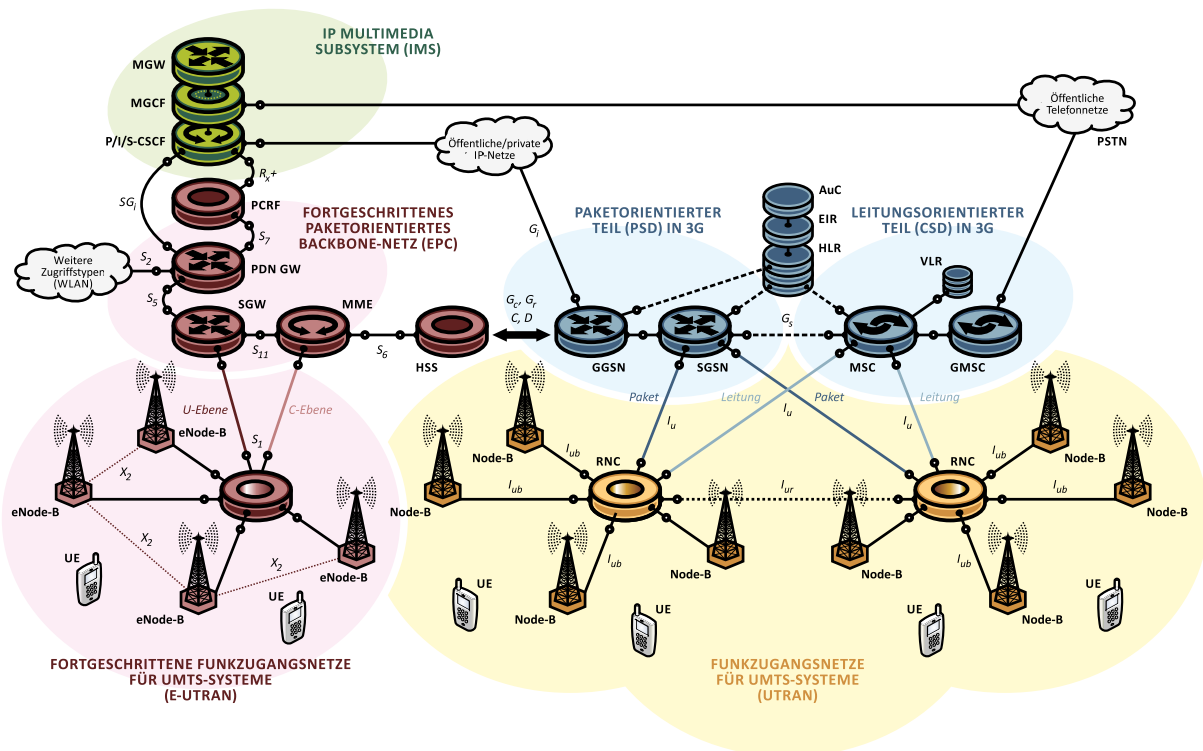
- Das Zugangsnetz wird für die Übertragung von IP-Paketen optimiert und unterstützt falls möglich alle Diensttypen: Dienste, die eine konstante Verzögerung erfordern; Dienste, die eine konstante Übertragungsrate erfordern; Dienste ohne Anforderungen an Netzwerkparameter.
- Das vereinfachte Backbone-Netz besteht nur aus einem Teil, der alle (IMS-basierten) Paketdienste unterstützt und der die Kommunikation mit PSTN vermittelt.

Es gibt den CS-Teil nicht mehr, alle Anwendungen werden durch den PS-Teil unterstützt. Natürlich werden dann spezifische Gateway-Knoten benötigt (Bestandteil der IMS-Architektur), die den IP-Verkehr in leitungsvermittelte PSTN richten.

Die Standardisierungsaktivitäten von Evolved UMTS wurden so angepasst, dass auch bei einer solchen Netzwerkvereinfachung die Kontinuität zwischen den alten und den neuen Systemen aufrechterhalten wurde.

## 2 LTE-Netzwerktopologie

Das folgende Schema zeigt eine Übersicht von Elementen in der LTE-Netzwerkinfrastruktur. Hier werden die gesamte LTE- und UMTS-Netzwerktopologie, Blöcke **EPC** (*Evolved Packet Core*) und **E-UTRAN** (*Evolved UMTS Terrestrial Access Network*) und weitere Komponenten gezeigt, um ihre gegenseitigen Beziehungen zu definieren.



Gesamte LTE-Netzwerktopologie

Die neuen, für Evolved UMTS spezifischen Blöcke sind EPC und E-UTRAN.

Weitere Blöcke von der klassischen UMTS-Architektur, **UTRAN** (*UMTS Radio Access Network*), PS- und CS-Teil, vermitteln die Verbindung mit den öffentlichen (oder privaten) IP- und Telefonnetzen.

IMS ist über dem Block des Backbone-Netzes angeordnet und bietet Zugriff sowohl auf öffentliche oder private IP-Netze als auch auf öffentliche Telefonnetze mittels Media-Gateways. Der Block HSS mit den Informationen über Benutzer wird als ein zentraler Knoten gezeigt, der Dienste für alle Elemente des Backbone-Netzes der EPC- und 3G Architektur bietet.

## 2.1 E-UTRAN

### Geschichte ab UMTS

Seit der ersten Veröffentlichung des UMT-Standards wurde die UTRAN-Architektur auf die Konzepte des Zugangnetzes 2G/GSM ausgerichtet. Die allgemeine Architektur folgt dem guten alten „Sternmodell“ des Netzes 2G/GSM: ein Controller (**RNC**, *Radio Network Controller*) kann gegebenenfalls eine große Menge (typischerweise einige hundert) Basisstationen (NodeB) über Iub-Schnittstelle steuern. Außerdem wurde die Iur-Schnittstelle für die Kommunikation zwischen RNC definiert, so dass Anrufe in UMTS auf der RNC-Ebene verankert werden.

Die initiale UTRAN-Architektur führte zu einer vereinfachten Implementierung von NodeB und dem ziemlich komplizierten RNC-System, das sowohl Funktionen für Steuerung von Ressourcen und Verbindungen als auch einen wichtigen Teil von Funkprotokollen bedient.

### Knoten eNodeB

Im Vergleich mit UTRAN hat E-UTRAN eine ziemlich einfache Struktur. Es besteht nur aus einem Netzelement: **eNodeB** (*evolved Node B*). RNC, von 2G-Netzen als **BSC** (*Base Station Controller*) geerbt, verschwand von E-UTRAN und ein eNodeB wird direkt mit dem Backbone-Netz mittels S1-Schnittstelle verbunden. Infolgedessen wurden die RNC-Funktionen unter eNodeB oder MME im Backbone-Netz oder Serving Gateway verteilt.

### Funktionen von eNodeB

Aus der globalen Sicht wird damit die neue E-UTRAN-Architektur auf drahtlose Netze **WLAN** (*Wireless LAN*) und dem Konzept der WiFi- oder WiMAX-Basisstationen ausgerichtet.

Daher muss die funktionale Definition von eNodeB (als WLAN-Zugriffspunkten) alle Eigenschaften der Schichten L1 und L2 einschließen, die mit der physischen Schnittstelle verbunden sind. eNodeB werden dann direkt an die Netzwerkinfrastruktur angeschlossen. Es gibt keinen weiteren zwischenliegenden Steuerknoten (im Unterschied zu 2G/3G). Der Vorteil liegt bei der einfacheren Netzwerkarchitektur (weniger Knoten unterschiedlicher Typen, daher vereinfachterer Netzbetrieb) und zugleich höherer Leistung der Funkschnittstelle.

Aus funktionaler Sicht unterstützen eNodeB eine Menge von üblichen Funktionen, die mit den Prozeduren der Bitübertragungsschicht für Senden und Empfang mittels Funkschnittstelle zusammenhängen:

- Modulation und Demodulation
- Kanalcodierung und -decodierung

Darüber hinaus hat eNodeB weitere Funktionen, die auf der Tatsache basieren, dass es keine weiteren Controller in den Basisstationen der E-UTRAN-Architektur gibt. Diese Eigenschaften, die im Kapitel 4 beschrieben werden, schließen das Folgende ein:

- Steuerung von Funkressourcen (*Radio Resource Control*): Zuweisung, Anpassungen und Freisetzen von Ressourcen für die Übertragung durch Funkschnittstelle zwischen Benutzerterminal und eNodeB.
- Verwaltung der Funkmobilität (*Radio Mobility Management*): Verarbeitung von Messungen und Entscheidung für das Handover.
- Volle Unterstützung von L2-Protokollen auf der Funkschnittstelle (*Radio interface full L2 protocol*): der Zweck der 2. Schicht des OSI-Modells besteht in der Sicherstellung der Datenübertragung zwischen Netzeinheiten, Erkennung und gegebenenfalls Korrektur von Fehlern, die bei einer Datenübertragung auf der Bitübertragungsschicht auftreten können.

## 2.2 EPC und seine Komponenten

Der Kern des Netzes (**EPC**, *Evolved Packet Core*) besteht aus einigen funktionalen Einheiten:

- **MME** (*Mobility Management Entity*)
- **HSS** (*Home Subscriber Server*)
- Serving Gateway
- **PDN-Gateway** (*Packet Data Network*)
- **PCRF-Server** (*Policy and Charging Rules Function*)

### MME (Mobility Management Entity)

Die MME-Einheit ist für alle Funktionen der Steuerungsebene betreffend Teilnehmer und Sitzungssteuerung verantwortlich. Aus dieser Sicht unterstützt MME das Folgende:

- Sicherheitsprozeduren – Authentifizierung, Aufnahme und Vereinbarung von Verschlüsselungsalgorithmen und Schutz der Integrität der Endbenutzer.
- Sitzungssteuerung in der Richtung Terminal-Netz – Signalisierungsverfahren bei Aufnahme der Datenübertragung und Vereinbarung von Parametern der Dienstqualität.
- Management der Lokalisierung des Terminals in Ruhe – Aktualisierung des verfolgten Gebietes bei Anforderungen an ankommende Sitzungen.

MME wird mit HSS durch eine S6-Schnittstelle verbunden.

### HSS (Home Subscriber Server)

HSS ist eine zentrale Datenbank, die durch Zusammenschluss von HLR und **AuC** (*Authentication Center*) entstand, die schon in 2G- und 3G-Netzen anwesend waren. HSS ist für Speicherung und Aktualisierung einer Datenbank mit Informationen über Benutzer verantwortlich und beinhaltet insbesondere das Folgende:

- Identifikation und Nummerierung von Benutzern – **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*) und **MSISDN** (*Mobile Subscriber ISDN Number*) oder Mobilfunknummer.
- Informationen über Benutzerprofil – Zustand des angemeldeten Teilnehmers und seine Anforderungen an Dienstqualität (wie maximale erlaubte Übertragungsraten oder Verkehrsklassen).

HSS integriert auch die Authentifizierungsstelle AuC, die Vektoren für die Authentifizierung und Sicherheitsschlüssel generiert. Diese

Sicherheitsinformationen werden an HLR und nachfolgend an weitere Subjekte im Netz übergeben. Diese Informationen werden vor allem für die folgenden Zwecke verwendet:

- gegenseitige Authentifizierung des Netzes und des Terminals
- Verschlüsselung des Funkteils und Integritätsschutz – Sicherstellung, dass die Datenübertragung und Signalisierung zwischen dem Netz und dem Terminal weder abgehört noch geändert wird

## Serving GW (Serving Gateway)

Aus der funktionalen Sicht ist das bedienende Gateway Endpunkt des Datenbetriebes zu E-UTRAN. Wenn sich ein Terminal in E-UTRAN über eNodeB bewegt, ist das Serving GW für Mobilität verantwortlich. Das bedeutet, dass Pakete über diesen Punkt bei der Bewegung im Rahmen von E-UTRAN auch bei der Verbindung mit weiteren 3GPP-Technologien wie 2G/GSM und 3G/UMTS gerichtet werden.

## PDN GW (Packet Data Network Gateway)

Ähnlich wie Serving GW ist das PDN GW Endpunkt des Datenbetriebes zu weiteren Paketdatennetzen. PDN GW unterstützt auch die Funktion der Durchsetzung von Regeln des Operators, Filterung von Paketen (wie detaillierte Paketanalyse zur Viruserkennung) und fortgeschrittene Rechnungserstellung (wie Rechnungserstellung gemäß URL).

## Server PCRF (Policy and Charging Rules Function)

Server PCRF ist für die Steuerung des Entscheidungsprozesses bei der Zuteilung der Dienstqualität und bei ihrer Rechnungsstellung verantwortlich. PCRF bietet die Zuweisung des Identifikators einer QoS-Klasse, der bestimmt, wie der gegebene Datenfluss in **PCEF** (*Policy Control Enforcement Function*) behandelt wird, und der auch sicherstellt, dass es im Einklang mit dem Benutzerprofil ist.

Server PCRF kombiniert Funktionen von zwei Knoten der UMTS-Struktur:

- Policy Decision Function (PDF)
- Charging Rules Function (CRF)

PDF dient zur Entscheidung über Zuteilung von Medientypen. In der Phase des Aufbaus einer IMS-Sitzung werden zwischen dem Terminal und P-CSCF SIP-Signalisierungsnachrichten mit Anforderungen an Medientyp gesendet. PDF empfängt diese Anforderungen von P-CSCF und trifft Entscheidungen aufgrund der Regeln des Netzbetreibers, wie zum Beispiel:

- Erlaubnis oder Ablehnung der Anforderung an Medientypen
- Einsatz eines neuen oder bestehenden PDP-Kontextes für ankommende Anforderungen an Medien



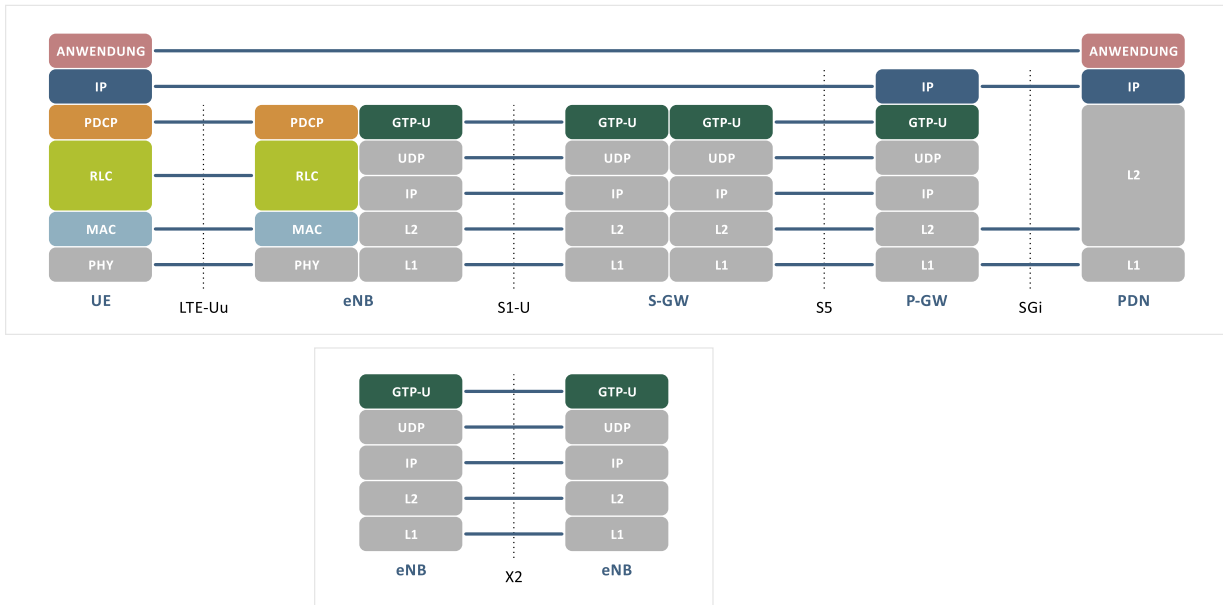
- Kontrolle der Zuteilung von neuen Ressourcen, bezogen auf die maximal erlaubten Werte

CRF hat die Aufgabe, die vom Betreiber festgelegten Regeln der Rechnungserstellung sicherzustellen und sie für jeden Datenfluss zu verwenden. CRF wählt die entsprechenden Regeln der Rechnungserstellung aufgrund der Informationen von P-CSCF, wie Identifikation der Anwendung, Typ des Flusses (Audio, Video usw.), Übertragungsrate der Anwendungsdaten usw.

### **3** Protokollarchitektur in LTE

Das folgende Bild zeigt die Benutzer- und Steuerungsebene der Protokollarchitektur in LTE. Die Funktionen der Hauptschichten werden nachfolgend kurz beschrieben.

## 3.1 Benutzerebene in LTE



Benutzerebene in LTE

**PDCP:** Das Protokoll PDCP stellt einen effizienten Transport von IP-Paketen über Funkverbindung sicher. Es führt Kompression von Headern, Sicherung (Verschlüsselung und Integritätsschutz) und Weitergabe von Paketen bei einem Handover durch.

**RLC:** Das Protokoll RLC auf der sendenden Seite erzeugt RLC PDU und übergibt es in die MAC-Schicht. Es segmentiert oder kettet PDCP PDU bei dem Aufbau von RLC PDU. Auf der empfangenden Seite führt es den Wiedereinbau von RLC PDU und die Rekonstruktion von PDCP PDU aus. Das Protokoll RLC hat drei Betriebsarten (transparent, bestätigt und nicht bestätigt), die ein unterschiedliches Niveau der Zuverlässigkeit bieten. Es stellt auch eine neue Anordnung und Weitergabe von Paketen (RLC PDU) sicher.

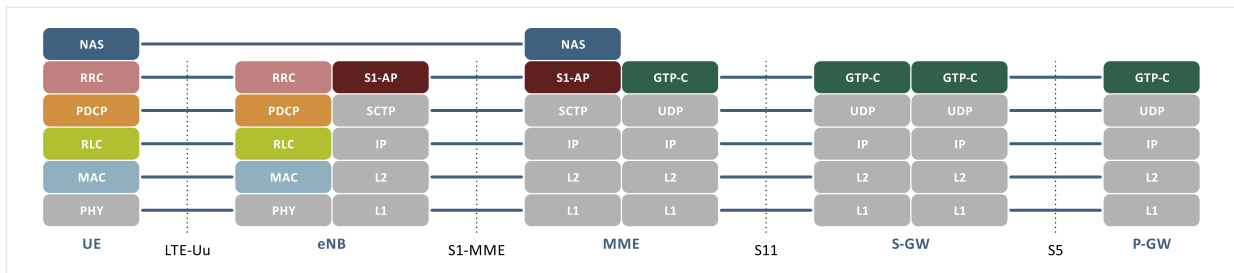
**MAC:** Die Schicht MAC liegt zwischen den Schichten RLC und PHY. Sie ist mit RLC mittels logischer Kanäle und mit PHY durch Transportkanäle verbunden. Daher unterstützt das Protokoll MAC Multiplexing und Demultiplexing zwischen den logischen Kanälen und den Übertragungskanälen. Die höheren Schichten nutzen verschiedene logische Kanäle für verschiedene QoS-Metriken. Das MAC-Protokoll unterstützt QoS mit Planung und Priorisierung von Daten aus logischen Kanälen. Der eNB-Planer führt eine dynamische Zuweisung von Funkressourcen an UE und QoS-Steuerung durch und stellt sicher, dass jede Trägerfrequenz die vereinbarten QoS-Parameter hat.

**PHY:** Die Bitübertragungsschicht stellt die grundlegenden Funktionen der Bitübertragung durch drahtlose Schnittstelle sicher. In der Downlink-Richtung wird OFDMA und in der Uplink-Richtung SC-FDMA eingesetzt. Die physischen Kanäle werden gemäß verfügbaren Ressourcen dynamisch zugeteilt. In die Richtung der höheren Schichten bietet die Bitübertragungsschicht ihre Funktionen für

Datenübertragung durch Übertragungskanäle. Wie beim UMTS wird der Transportkanal auf Blockübertragung von Diensten mit gewissen Eigenschaften im Bereich der Übertragungsrate, Verzögerung, Kollisionsrisiko und Zuverlässigkeit orientiert. Im Unterschied zu 3G WCDMA oder sogar 2G GSM gibt es hier keine reservierte Transportkanäle oder physische Kanäle, weil die Zuteilung aller Ressourcen vom Planer dynamisch gesteuert wird.

**GTP-U:** Das Protokoll GTP-U wird für die Übergabe der IP-Paketen von Benutzer über Schnittstelle S1-U, S5 und X2 verwendet.

## 3.2 Steuerungsebene in LTE



Steuerungsebene in LTE

**NAS:** Das Protokoll NAS ist für die Steuerung der Mobilität und Träger-Funkdienste verantwortlich.

**RRC:** Das Protokoll RRC stellt die Übertragung der NAS-Signalisierung sicher. Es führt auch Funktionen durch, die zur effizienten Steuerung von Funkressourcen erforderlich sind. Die Hauptfunktionen sind die folgenden:

- Senden von Systeminformationen
- Aufbau, Rekonfiguration und Ende der RRC-Verbindung
- Aufbau, Rekonfiguration und Ende der Verbindung der Funkdienste

**X2AP:** Das Protokoll X2AP stellt die Mobilität von UE und Funktionen von SON im Rahmen von E-UTRAN sicher. Um die Mobilität von UE zu unterstützen, bietet das Protokoll X2AP Funktionen wie Umleitung von Benutzerdaten, Übertragung des SN-Status und Übergabe des UE-Kontextes. Für die SON-Funktionen tauschen eNB Informationen über ihren Zustand, über betriebliche Belastung und über Aktualisierung ihrer Konfiguration aus. Desweiteren koordinieren sie die Mobilitätsparameter.

**S1AP:** Das Protokoll S1AP stellt die Funktionen der Steuerung der S1-Schnittstelle, die Steuerung von E-RAB, den Transport von NAS-Signalisierung und das Management des UE-Kontextes sicher. Es vermittelt den initialen Kontext von UE in Richtung des eNB zwecks Einstellung von E-RAB und steuert seine nachfolgende Änderungen oder Freisetzung.

**GTP-C:** Das Protokoll GTP-C realisiert den Austausch von Steuerinformationen zur Erzeugung, Anpassung und Beenden von GTP-Tunneln. Bei einem LTE-Handover erzeugt es Tunnel für die übergebenen Daten.

## 4 Physische und logische Kanäle in LTE

Wie bei den meisten Funkkommunikationssystemen steht die Funkschnittstelle von E-UTRAN vor vielen Herausforderungen. E-UTRAN kann Hochgeschwindigkeitsdaten mit einer geringen Verzögerung sehr effizient übertragen. Jedoch nicht alle Informationsflüsse brauchen den gleichen Schutz vor Übertragungsfehlern oder eine Sicherung der Dienstqualität.

Allgemein kann man sagen, dass es bei der Funkmobilität entscheidend ist, ob die Signalisierungsnachrichten von E-UTRAN möglichst schnell übertragen werden, am bestens zugleich mit Fehlerschutz. Die Anwendungen mit Sprach- oder Datenflüssen können jedoch einen sinnvollen Verlust von Frames im Rahmen der Funkübertragung akzeptieren. Die Anwendungen, die sich auf eine interaktive Verbindung orientieren (wie Webbrowsing), unterscheiden sich davon auch, weil Weitergabe von Daten bei der Korrektur von Fehlern auf der Funkschnittstelle helfen kann.

Die Spezifikation von E-UTRAN stellt einige Kanaltypen vor, die flexibel sind und verschiedene Datenübertragungsbetriebe unterstützen:

- logische Kanäle – Objekt der Übertragung
- Transportkanäle – Art der Übertragung
- physische Kanäle

**Die logischen Kanäle** entsprechen den Datenübertragungsdiensten, die von Funkschnittstellenprotokollen für die höheren Schichten angeboten werden. Grundsätzlich gibt es nur zwei Typen logischer Kanäle: Steuerkanäle (zur Übertragung von Informationen an die Steuerungsebene) und betriebliche Kanäle (zur Übertragung von Informationen in der Benutzerebene). Jeder dieser Kanäle entspricht einem Typ des Informationsflusses.

**Die Transportkanäle** beschreiben, wie und mit welchen Charakteristiken die Daten über die Funkschnittstelle übertragen werden. Zum Beispiel beschreiben sie, wie die Daten vor Übertragungsfehlern geschützt werden, den Typ der Kanalverschlüsselung, die CRC-Kontrolle, den Typ des eingesetzten Interleavings, die Größe der Datenpakete, die über die Funkschnittstelle gesendet werden, usw.

Die Transportkanäle werden in zwei Kategorien aufgeteilt:

- Transportkanäle für Downlink (vom Netz ins Terminal) und
- Transportkanäle für Uplink (vom Terminal ins Netz).

**Die physischen Kanäle** stellen eine tatsächliche Realisierungen der Transportkanäle durch eine Funkschnittstelle dar. Sie werden nur auf der Bitübertragungsschicht von E-UTRAN erkannt und ihre Struktur hängt von den physikalischen Eigenschaften der OFDM-Schnittstelle ab.

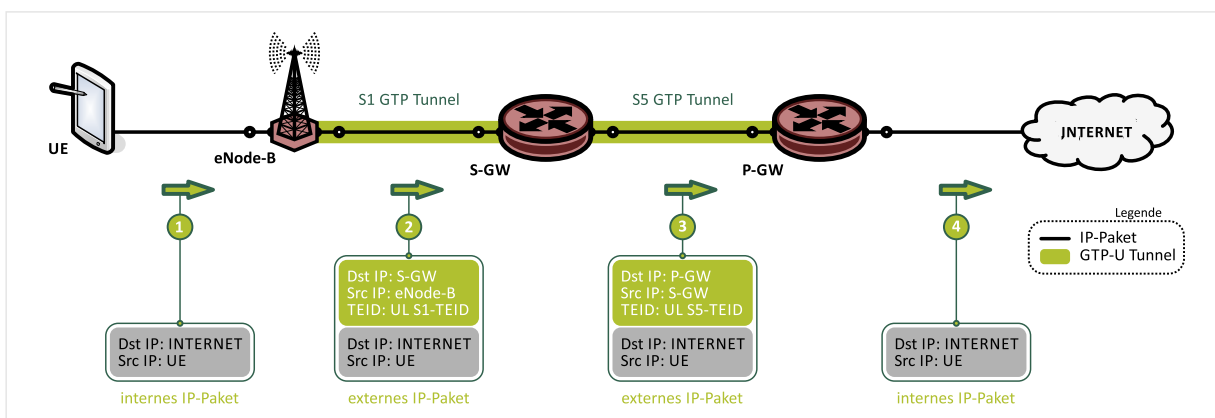
## 5 Datenfluss in einem LTE-Netz

Das nachfolgende Bild zeigt den Weg des Datenflusses beim Internetzugang in der Benutzerebene des Referenzmodells der Architektur eines LTE-Netzes.

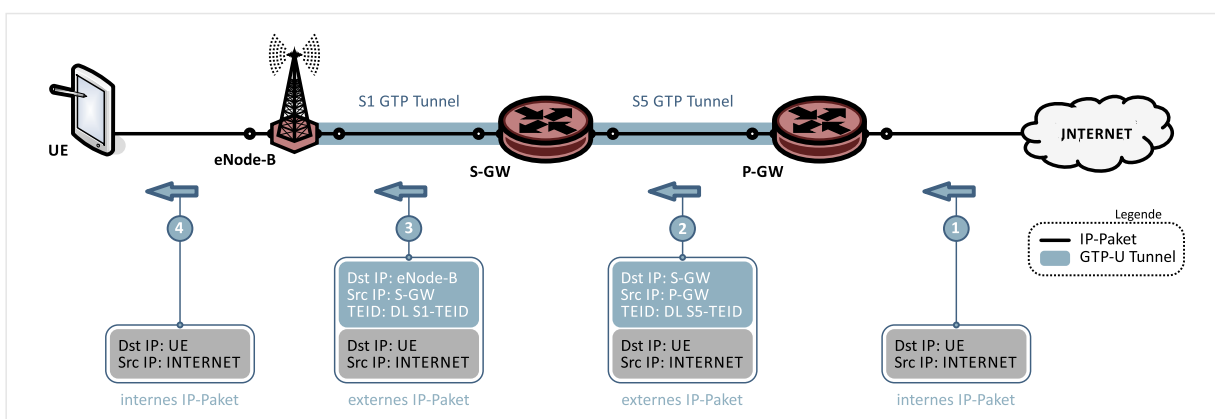
IP-Pakete werden durch einen GTP-Tunnel in die Schnittstellen S1-U und S5 übergeben. Wenn ein Benutzer an LTE-Netz angeschlossen ist, wird für jeden EPS-Dienst ein eigener GTP-Tunnel erzeugt.

Auf jeder Schnittstelle S1-U und S5 wird mehr als ein EPS-Dienst erstellt. Zur Identifikation dieser Dienste werden eindeutige Identifikatoren *Tunnel Endpoint Identifier (TEID)* den Endpunkten (UL und DL) zugeteilt. Bei der Identifikation des GTP-Tunnels werden üblicherweise TEID, IP-Adresse und Portnummer verwendet.

Hier wird einfachheitshalber nur TEID benutzt. Die empfangende Seite des GTP-Tunnels weist lokal einen Wert von TEID zu, der die sendende Seite einsetzen soll. Die TEID-Werte werden dann zwischen den Endpunkten des Tunnels mittels Protokollen der Steuerungsebene ausgetauscht.



a) Von UE ins INTERNET



b) Von INTERNET in UE

Datenflüsse in einem LTE-Netz

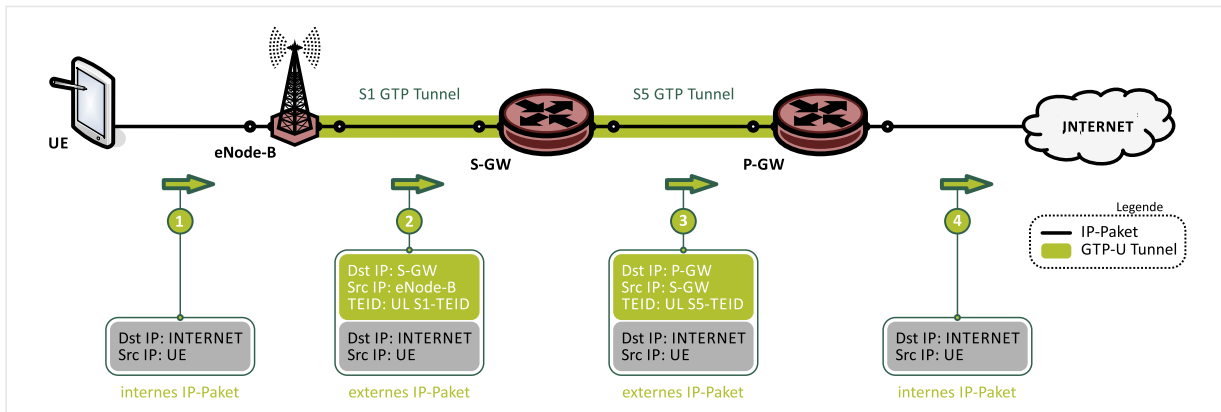
Wenn ein GTP-Tunnel auf der Schnittstelle S1-U erzeugt wird, wird von S-GW die TEID (UL S1-TEID auf dem Bild a für Uplink) und von eNB die TEID (DL S1-TEID auf dem Bild b für Downlink) zugeordnet. Die TEID-Werte von S1-GTP-Tunnel werden zwischen eNB und S-GW mittels S1AP-Nachrichten und GTP-C ausgetauscht.

Wenn analog ein GTP-Tunnel auf der Schnittstelle S5 erzeugt wird, wird von P-GW die TEID (UL S5-TEID auf dem Bild a für Uplink) und von S-GW die TEID (DL S5-TEID auf dem Bild b für Downlink) zugeordnet. Die TEID-Werte von S5-GTP-Tunnel werden zwischen S-GW und P-GW mittels des Protokolls GTP-C ausgetauscht.

Wenn ein Benutzer-IP-Paket durch den GTP-Tunnel zur Schnittstelle von S1-U und S5 gelangt, wird es von eNB, S-GW und P-GW mit TEID verkapselt, die von der empfangenden Seite zugeordnet wird, und weitergeleitet. In der Uplink-Richtung vorbereitet S-GW ein eindeutiges Mapping zwischen dem Tunnel S1 GTP (UL S1-TEID) und S5 GTP (UL S5-TEID) zwecks der Übergabe des Benutzer-IP-Pakets vom Tunnel S1 GTP in den Tunnel S5 GTP.



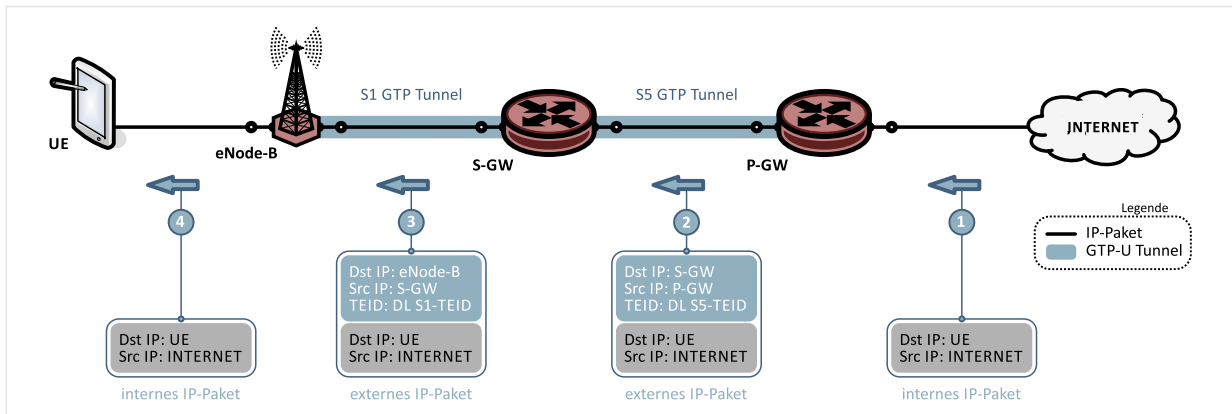
## 5.1 Datenfluss in der Uplink-Richtung



Datenfluss von UE ins Internet

1. UE transportiert IP-Pakete vom Benutzer an eNB durch die Schnittstelle LTE-UU.
2. eNB verkapselt das Benutzer-IP-Paket mit dem Header des Tunnels S1 GTP und übergibt das resultierende externe IP-Paket an S-GW. Dann wählt eNB für den Header des Tunnels S1 GTP die Werte „TEID“ (UL S1-TEID), „Destination IP Address“ (IP-Adresse von S-GW) und „Source IP Address“ (IP-Adresse von eNB).
3. Nach dem Empfang des externen IP-Pakets nimmt S-GW den Header des Tunnel S1 GTP weg, verkapselt das Benutzer-IP-Paket (internes IP-Paket) mit dem Header des Tunnels S5 GTP und übergibt das resultierende externe IP-Paket an P-GW. Dann wählt S-GW für den Header des Tunnels S5 GTP die Werte „TEID“ (UL S5-TEID), „Destination IP Address“ (IP-Adresse von P-GW) und „Source IP Address“ (IP-Adresse von S-GW).
4. Nach dem Empfang des externen IP-Pakets nimmt P-GW den Header des Tunnel S5 GTP weg und so entsteht das Benutzer-IP-Paket, das ins Internet mittels üblicher Weiterleitung transportiert wird.

## 5.2 Datenfluss in der Downlink-Richtung



Datenfluss von Internet in UE

1. P-GW empfängt IP-Pakete vom Internet, die für UE bestimmt sind.
2. P-GW verkapselt das Benutzer-IP-Paket mit dem Header des Tunnels S5 GTP und übergibt das resultierende externe IP-Paket an S-GW. P-GW wählt für den Header des Tunnels S5 GTP die Werte „TEID“ (DL S5-TEID), „Destination IP Address“ (IP-Adresse von S-GW) und „Source IP Address“ (IP-Adresse von P-GW).
3. Nach dem Empfang des externen IP-Pakets nimmt S-GW den Header des Tunnel S5 GTP weg, verkapselt das Benutzer-IP-Paket (internes IP-Paket) mit dem Header des Tunnels S1 GTP und übergibt das resultierende externe IP-Paket an eNB. Dann wählt S-GW für den Header des Tunnels S1 GTP die Werte „TEID“ (DL S1-TEID), „Destination IP Address“ (IP-Adresse von eNB) und „Source IP Address“ (IP-Adresse von S-GW).
4. Nach dem Empfang des externen IP-Pakets nimmt eNB den Header des Tunnel S1 GTP weg und so entsteht das Benutzer-IP-Paket, das in UE mittels Funkschnittstelle transportiert wird.

## **6 Sprachübertragung in LTE**

Anrufe in den Netzen GSM, UMTS und CDMA2000 werden mit der Technologie der Leitungsvermittlung realisiert. Der LTE-Standard unterstützt nur die Technologie der Paketvermittlung. Die fehlende Technologie der Leitungsvermittlung verursacht einige Probleme bei der Sprachübertragung in LTE-Netzen.

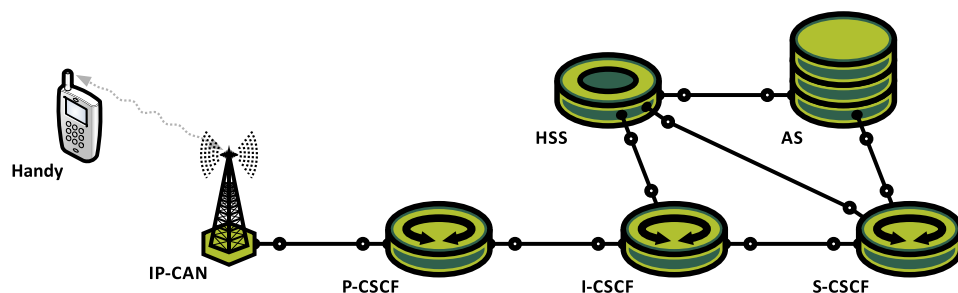
Deshalb müssen die Besitzer der LTE-Netze ihr Sprachdienstnetz umarbeiten. Es stehen drei Lösungen zur Verfügung:

- Voice over LTE (VoLTE)
- Circuit-switched fallback (CSFB)
- Simultaneous voice and LTE (SVLTE)

## 6.1 Voice over LTE

Die Sprachkommunikation in LTE wird nur mittels des IMS-Dienstes mit spezifischen Profilen in der Steuer- und Medienebene unterstützt.

IMS ist eine unabhängige technologische Überlagerung der bestehenden Netzwerkarchitektur, die eine problemlose Kontinuität nicht nur von Sprachdiensten sondern auch Videoanwendungen garantiert. IMS wurde zuerst in 3GPP Release 5 standardisiert, aber viele Verbesserungen kamen mit den nachfolgenden Versionen. IMS muss sowohl auf der Seite des Netzes als auch auf der Seite des Endgerätes implementiert werden. Die Markteinführung von IMS war langsamer als ursprünglich erwartet.



IMS-Subsystem in LTE

In einem LTE-Netz besteht **IP-CAN** IP (*Connectivity Access Network*) aus EPS und E-UTRAN.

Die grundlegenden Komponenten von IMS sind Server mit Funktion der Steuerung von Anrufen, **CSCF** (*Call State Control Function*). Es gibt drei CSCF:

- **P-CSCF** (*Proxy Call State Control Function*) ist ein Proxy-Server zwischen Benutzer und Netz. Die Signalisierung des SIP-Protokolls verläuft zwischen dem Benutzer und dem Netz immer mithilfe P-CSCF ohne Rücksicht auf Position des Benutzers.
- **I-CSCF** (*Interrogating Call State Control Function*) wird als Signalisierungskontakt verwendet, wenn der Initiator der SIP-Sitzung nicht weiß, welche S-CSCF zu verwenden ist.
- **S-CSCF** (*Serving Call State Control Function*) führt verschiedene Aktionen im Rahmen des ganzen Systems durch und hat viele Schnittstellen zur Kommunikation mit weiteren Elementen im Netz.

**HSS** (*Home Subscriber Server*) ist die grundlegende Teilnehmerdatenbank in IMS. Sie vermittelt Informationen über Teilnehmer den weiteren Elementen im IMS-Netz und erlaubt Benutzern den Zugriff in Abhängigkeit von ihrem Zustand.

**AS** (*Application Server*) bietet spezifische IP-Anwendungen, wie das Senden von Nachrichten.

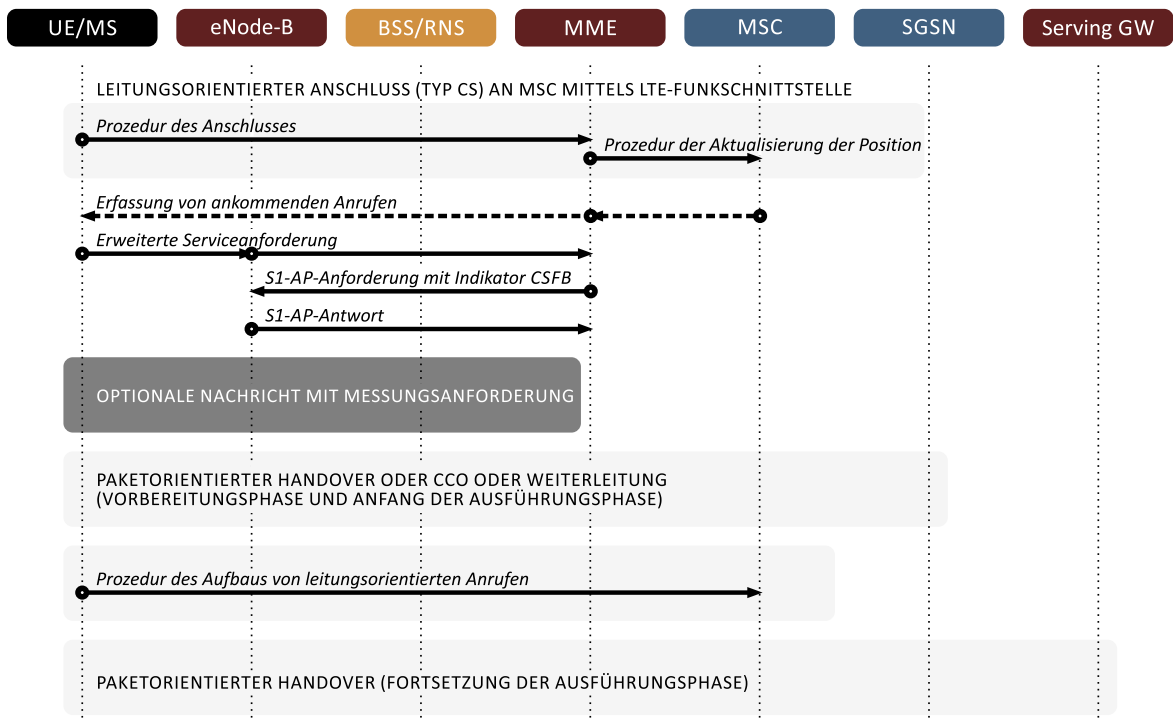
Für die IMS-Anrufe in einem LTE-Netz trägt die S-CSCF eines Benutzers im Heimnetz die Verantwortung. Die Verbindung mit S-CSCF wird über P-CSCF vermittelt. Entscheidend für die Fähigkeit des Aufbaus eines Anrufes ist die Entdeckung von P-CSCF, die weiter die Abhängigkeit vom verwendeten Netz und Lokalisierung im Netz behandelt.

Die Kontinuität der Anrufe wird mittels Handovers mit älteren Technologien sichergestellt, wie GSM. Dies wird durch die **SRVCC**-Funktion (*Single Radio Voice Call Continuity*) erzielt.

## 6.2 CSFB – Circuit-Switched FallBack

Das Modell **CSFB** (*Circuit-Switched FallBack*) muss dann verwendet werden, wenn IMS-Dienste nicht im Netz implementiert sind und/oder wenn LTE nur Datendienste bietet. Wenn ein Anruf aufgebaut werden soll, wird er im leitungsvermittelten Teil, d. h. in der ursprünglichen 2G- oder 3G-Technologie, realisiert.

Anstatt des Einsatzes des ganzen IMS wird nur MSC upgegradet. Ein Nachteil liegt in einer längeren Verzögerung beim Aufbau des Anrufes.



Nachrichtenabfolge für CSFB (von LTE in UMTS)

Das Bild zeigt den Nachrichtenfluss bei CSFB für den Aufbau von Anrufen von LTE in UMTS. Man sieht auch Paging von MSC über Schnittstelle SGs und MME bei Anrufen, die in UE beendet werden. Die Nachricht *Erweiterte Serviceanforderung* (*Extended Service Request*), die von UE in MME gesendet wird, aktiviert entweder Handover oder die Weiterleitung in Technologie des Funkzugangs.

## 6.3 Simultaneous voice and LTE (SVLTE)

In diesem Modell arbeitet der Benutzerterminal zugleich sowohl im LTE- als auch CS-Betrieb (Leitungsvermittlung), wobei der LTE-Betrieb Datendienste und der CS-Betrieb Sprachdienste bietet.

Diese Lösung basiert auf den Fähigkeiten des Telefons, das keine besondere Anforderungen an das Netz hat und keine Einführung von IMS-Diensten erfordert. Der Nachteil dieser Lösung besteht darin, dass ein solches Telefon teuer sein und einen hohen Energieverbrauch haben kann.

Ein weiteres Modell zum Anbieten von Sprachdiensten in LTE sind die Over-the-top-Dienste (OTT-Dienste) unter Verwendung von Anwendungen wie Skype und Google Talk. Dieses Modell wird jedoch nicht von Operatoren angeboten.

## 7 Dienstqualität in LTE

In einem typischen Fall können in UE mehrere Anwendungen gleichzeitig laufen. Jede davon kann unterschiedliche Anforderungen an QoS haben. Zum Beispiel kann UE an VoIP-Anruf angeschlossen werden, wobei der Benutzer zugleich Webseiten aufruft oder Dateien via FTP herunterlädt. VoIP stellt strengere Anforderungen an QoS, was Verzögerung und Verzögerungsschwankung (Jitter) betrifft, verglichen mit Webbrowsing und FTP, wobei die Datenübertragung viel geringere Paketverlustraten erlaubt. Um mehr Anforderungen an QoS in EPS zu unterstützen, werden verschiedene Träger des Dienstes eingestellt und jeder wird mit QoS verbunden.

Aufgrund des QoS-Typs, die sie bieten, können die Dienstträger in zwei Kategorien aufgeteilt werden:

- Träger **GBR** (*Guaranteed Bit Rate*) können für Anwendungen wie VoIP verwendet werden. Sie haben einen zugewiesenen GBR-Wert, für den spezifische Übertragungsressourcen (z. B. Funktionen der Steuerung des Zugriffs auf eNodeB) permanent zugeteilt sind. Höhere Übertragungsraten als GBR können für GBR-Träger erlaubt werden, wenn Ressourcen zur Verfügung stehen. Dabei definiert der Parameter der maximalen Bitrate **MBR** (*Maximum Bit Rate*) die obere Grenze der Übertragungsrate.
- Non-GBR-Träger garantieren keine konkrete Übertragungsrate. Sie können für Anwendungen wie Webbrowsing oder FTP-Transfer verwendet werden. Diese Dienstträger haben keine dauernd zugeteilte Übertragungsparameter.

Im Zugangsnetz trägt die Verantwortung für die erforderliche QoS für Dienstträger eNodeB. Jeder Dienstträger hat einen zugewiesenen Klassenbezeichner **QCI** (*Class Identifier*) und eine Priorität **ARP** (*Allocation and Retention Priority*).

Jeder QCI wird mit der Priorität, der Anzahl von verzögerten Paketen und der zulässigen Paketverlustrate gekennzeichnet. QCI bestimmt für Dienstträger, wie der Dienst in eNodeB verarbeitet wird. Nur ein Dutzend solcher QCI wurde standardisiert. Daher können Hersteller gleiche Kenntnisse über die grundlegenden Dienstcharakteristiken haben und entsprechende Verarbeitung, Warteschlangenverwaltung, Aufbereitung und Strategie der Regeln anbieten. Damit wird sichergestellt, dass LTE-Betreiber eine einheitliche Behandlung des Verkehrs im ganzen Netz ohne Hinsicht auf Hersteller von eNodeB erwarten können. Der Satz von standardisierten QCI mit Charakteristiken, von den PCRF in EPS gewählt werden, werden in der nachfolgenden Tabelle angeführt.



Standardisierte QoS-Klassenbezeichner (QCI) in LTE

QCI	Typ der Quelle	Priorität	Paketverzögerung (ms)	Paketverlustrate	Beispiel des Dienstes
1	GBR	2	100	10-2	Dialogorientierte Videogespräche
2	GBR	4	150	10-3	Dialogorientierte Videogespräche (Livestreaming)
3	GBR	5	300	10-6	Nicht dialogorientierte Videogespräche (gespeicherte Aufnahme)
4	GBR	3	50	10-3	Real-Time-Spiele
5	Non-GBR	1	100	10-6	IMS-Signalisierung
6	Non-GBR	7	100	10-3	Anrufe, Video (Livestreaming), interaktive Spiele
7	Non-GBR	6	300	10-6	Video (gespeicherte Aufnahme)
8	Non-GBR	8	300	10-6	TCP-basierte Dienste (WWW, E-Mail, Chat, FTP, gemeinsamer Dateizugriff...)
9	Non-GBR	9	300	10-6	

Die Art, wie der MAC-Planer die von Dienstträgern gesendeten Pakete verarbeitet (z. B. aus der Sicht der Planung von Regeln, Warteschlangenverwaltung und Aufbereitung), wird durch Konfiguration des RLC-Betriebes definiert. Dieser Betrieb wird durch Priorität und Paketverzögerung (und gewissermaßen auch durch zulässige Paketverlustrate) von QCI bestimmt. Zum Beispiel kann man erwarten, dass ein Paket mit einer höheren Priorität vor dem Paket mit einer niedrigeren Priorität eingeordnet wird.

## 8 Entwicklung in LTE

Nach dem Vollenden von LTE Release 8 fing das Konsortium 3GPP an, Wege zu suchen, wie die bestehende LTE-Technologie weiter zu entwickeln ist, und darauf aufbauend, nach wie vor der führende weltweite Standard für mobile Breitbandanschlüsse bleibt.

Eine verbesserte Leistung kann grundsätzlich auf zwei Weisen erreicht werden – mittels eines breiteren Funkspektrums oder einer effizienteren Ausnutzung des verfügbaren Spektrums.

Unter den Hauptkomponenten von dieser Technologie LTE-Advanced, die in LTE Release 10 hinzugefügt werden, gehören:

- Aggregation von Dienstträgern (*Carrier Aggregation*)
- Verbesserte Downlink- und Uplink-Richtung mithilfe von Mehrfach-Antenne-Übertragungen
- Vermittlung, Relaying
- Unterstützung des Einsatzes in heterogenen Netzen

Man kann theoretisch Datenübertragungsraten in der Größenordnung von 1 Gbit/s mithilfe von benachbarten 40MHz-Bändern erzielen. Jedoch der Wettkampf um Spektrum und Fragmentierung des verfügbaren Spektrums zeigen, dass die Erwartungen an eine solche ununterbrochene Bandbreite unrealistisch sind. Um eine größere Bandbreite zu erzielen, verwendet LTE-Advanced das Prinzip der Aggregation von Dienstträgern (*Carrier Aggregation*). Dies hat auch den Vorteil der niedrigeren Kosten der Geräte und erlaubt eine erneute Ausnutzung von Technologien für LTE Release 8. Jeder Dienstträger im Rahmen der Aggregation wird so entworfen, dass er im Wesentlichen dem LTE Release 8 ähnlich ist und mit Rückwärtskompatibilität konfiguriert werden kann. Dann können auch ältere UE teilnehmen. In LTE-Advanced können bis zu fünf Dienstträger mit der Bandbreite von bis zu 20 MHz aggregiert werden, um das verfügbare Spektrum effizient auszunutzen. Damit werden die gewünschte gesamte Bandbreite und Spitzen-Datenübertragungsrate erzielt.

LTE-Advanced kann auch die Aggregation von Dienstträgern verwenden, um den Einsatz in heterogenen Netzen zu unterstützen, in denen Schichten von Makrozellen und Schichten von geringen Zellen mindestens mit einem gemeinsamen Dienstträger koexistieren. In einer solchen Anordnung können Übertragungen von einer Zelle in die Steuerkanäle der anderen Zelle erheblich eingreifen und damit Planung und Signalisierung verhindern. LTE-Advanced erlaubt die Steuerung der Planung unter Dienstträgern, so dass keine Interferenz zwischen Makrozellen und geringen Zellen auftritt.

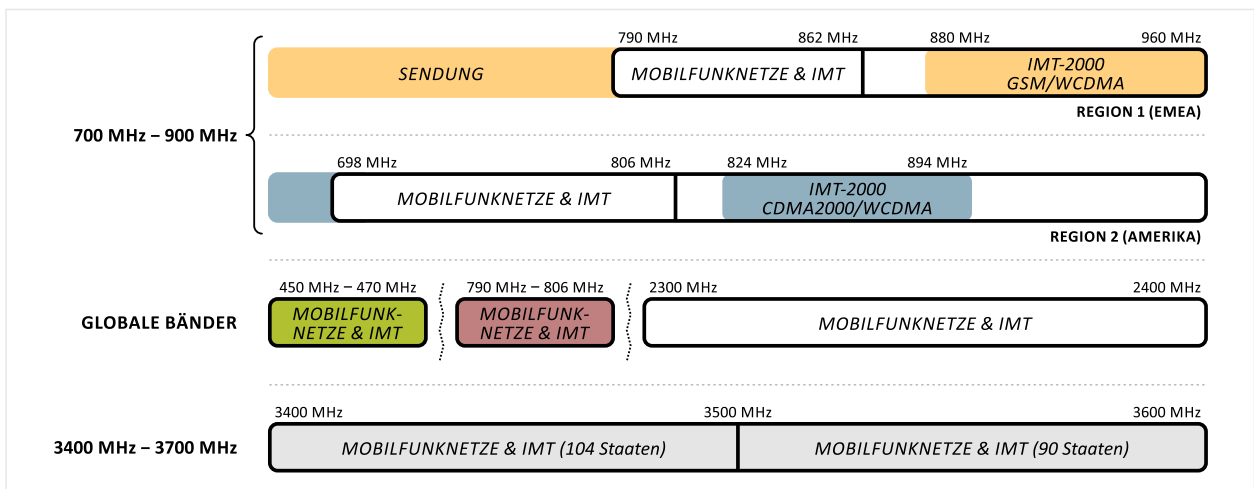
Die Existenz von international identifizierten gemeinsamen Frequenzbändern ist der entscheidende Faktor für erhebliche Einsparungen bei der Entwicklung und Herstellung von Terminals. Das wichtigste Ergebnis der Konferenz WRC-2007 (Weltfunkkonferenz, Genf, 2007) war die Zuteilung von insgesamt 136 MHz des

neuen globalen Spektrums für die Verwendung in der internationalen Mobilfunktelekommunikation mit der Bezeichnung Funktechnologie:

- 450-470 MHz
- 790-806 MHz
- 2300-2400 MHz

Es wurden auch spezifische Bänder für Regionen zugewiesen:

- 790-862 MHz für ITU Region 1 (EMEA) und ITU Region 3 (Asien und Pazifik)
- 698-806 MHz für ITU Region 2 (Nord- und Südamerika) und ITU Region 3 (neun Staaten, einschließlich Japan, China und Indien)
- 3400-3600 MHz für Mobilfunk primär für ITU Region 1 (EMEA in 82 Staaten), ITU Region 2 (Amerika in 14 Staaten, außer US/Kanada) und Region 3



Zuweisung des neuen globalen Spektrums, Ergebnis von WRC-2007

Alle neuen Bänder, die auf WRC 2007 identifiziert wurden, sind für Technologien der internationalen Mobilfunktelekommunikation allgemein gültig.