

# Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland

Autor:  
Rolf Schwab

Bad Honnef, März 2015

## Impressum

WIK Wissenschaftliches Institut für  
Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH  
Rhöndorfer Str. 68  
53604 Bad Honnef  
Deutschland  
Tel.: +49 2224 9225-0  
Fax: +49 2224 9225-63  
E-Mail: [info@wik.org](mailto:info@wik.org)  
[www.wik.org](http://www.wik.org)

### Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführerin und Direktorin	Dr. Cara Schwarz-Schilling
Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Direktor Abteilungsleiter Regulierung und Wettbewerb	Dr. Bernd Sörries
Leiter der Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzende des Aufsichtsrates	Dr. Daniela Brönstrup
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7225
Steuer-Nr.	222/5751/0722
Umsatzsteueridentifikations-Nr.	DE 123 383 795

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.

ISSN 1865-8997

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>VII</b>
<b>Summary</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen von Mobilfunktechnologien im Allgemeinen und der LTE-Technologie im Besonderen</b>	<b>2</b>
2.1 Entwicklung der Mobilfunkstandards	2
2.2 Wesentliche Merkmale der LTE-Technik	5
2.2.1 Kodierung- und Modulationsverfahren sowie Antennentechnologie	5
2.2.2 Duplexverfahren	6
2.2.3 LTE-Frequenzallokation	6
2.3 Strukturmerkmale der LTE-Netzarchitektur	8
2.4 Kernelemente der 3GPP-Releases 8 und 10	10
2.4.1 3GPP-Release 8	10
2.4.2 3GPP-Release 10	10
2.5 Exkurs: LTE-A Marktrelevanz	14
2.6 Mögliche Weiterentwicklungen der LTE-Standards	17
2.7 Sprachverbindungen über LTE / Voice over LTE (VoLTE)	18
2.8 Brutto-Datenraten vs. Netto-Datenraten	20
<b>3 LTE-Frequenzauktion und Marktpositionierung der LTE-Anbieter in Deutschland</b>	<b>25</b>
3.1 Frequenzvergabe, regulatorische Vorgaben und ihre Erfüllung	25
3.1.1 Ergebnisse der LTE Auktion	25
3.1.2 LTE-Netzabdeckung der Weißen Flecken	26
3.1.3 Entwicklung der LTE-Netzabdeckung	27
3.2 Strategische Ausrichtung der Mobilfunknetzbetreiber mit Blick auf Netzausbau und Produktangebot	29
3.2.1 Telekom Deutschland	29
3.2.2 Vodafone	31
3.2.3 Telefónica	33
3.2.4 E-Plus	34

<b>4</b>	<b>Faktoren für die Dynamik beim LTE-Netzausbau und -Diensteangebot</b>	<b>35</b>
4.1	Erschließung neuer Umsatzsegmente und Brand-Building	35
4.2	Kostenaspekte	36
4.3	Netzanbindung von Basisstationen (Backhaul)	37
4.4	Verfügbarkeit und Leistungsspektrum von Endgeräten	40
4.5	Data-Off-Loading	43
<b>5</b>	<b>Faktoren für die Dynamik auf der Nachfrageseite</b>	<b>45</b>
5.1	LTE Penetration in Deutschland	45
5.2	Adoption von Endgeräten	46
5.3	Änderung des Nutzungsverhaltens (Neue Dienste)	48
5.3.1	Mobile Internetnutzung	48
5.3.2	Ökosystem Apps	50
5.3.3	Spezifisches LTE-Nutzerverhalten	51
5.3.4	Rückgang der klassischen Kommunikation	52
5.4	Nutzungsintensität – Entwicklung des mobilen Datenvolumens	53
5.4.1	Prognose Weltweit	53
5.4.2	Entwicklung in Deutschland	56
<b>6</b>	<b>Gemessene Performance im Vergleich zu anderen Technologien</b>	<b>58</b>
6.1	Dienstequalität des stationären LTE-Zugangs in Deutschland	58
6.2	Dienstequalität des mobilen LTE-Zugangs in Deutschland	60
<b>7</b>	<b>Substitutionseffekte im Retail-Bereich</b>	<b>62</b>
7.1	Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf den Leistungsumfang	62
7.2	Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf Qualitätsaspekte	63
7.2.1	Übertragungsbandbreite	63
7.2.2	Übertragungsvolumen	64
7.2.3	Parallelnutzung des Internet durch andere Nutzer	66
7.3	Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf Preise	67
7.3.1	Preishöhe	67
7.4	Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf Verfügbarkeit	68
7.5	Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf das Nutzungsverhalten	69

7.6	Tatsächliche Substitutionsmerkmale bei der stationären LTE-Nutzung	71
7.6.1	Die Vision von Vodafone für LTE-Breitband aus dem Jahre 2011	71
7.6.2	Das Marktpotential für die stationäre LTE-Nachfrage	72
7.6.3	Tatsächliche Entwicklung der „LTE zu Hause“ Nutzerzahl bis heute	73
7.6.4	Gründe für die bisherigen Marktentwicklungen	74
7.7	Mobile LTE-Nutzung: Substitut oder komplementäre Nutzung	76
7.7.1	Mobile-Only-Haushalte	76
7.7.2	LTE-Angebote zur mobilen Nutzung	77
7.8	Gesamtbeurteilung	78
<b>8</b>	<b>Substitutionseffekte auf der Vorleistungsseite</b>	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>Wettbewerbs- und regulatorische Aspekte</b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b>Fazit</b>	<b>85</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>87</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verbreitung von LTE 1800 weltweit (Stand: März 2014)	7
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der LTE-Netzelemente	9
Abbildung 3:	Drei Varianten von Carrier Aggregation	12
Abbildung 4:	Eingeschränktes Leistungsvermögen von Carrier-Aggregation mittels Inter-Band, non-contiguous	13
Abbildung 5:	Länder, in denen LTE-Advanced verfügbar ist (Stand: Anfang 2014)	15
Abbildung 6:	Realisierte Carrier Aggregation am Beispiel von Telefónica Deutschland	16
Abbildung 7:	Verfügbare Bandbreite in Abhängigkeit von der Zahl der Nutzer in einer LTE-Zelle	21
Abbildung 8:	Eingesetzte Modulationsverfahren bei LTE in Abhängigkeit von der Entfernung zur Basisstation (stilisierte Darstellung)	22
Abbildung 9:	Zusammenhang von Mobilitätszustand und Datenrate für unterschiedliche Mobilfunktechnologien	23
Abbildung 10:	Entwicklung der LTE-Netzabdeckung, Mai 2012 – Mai 2014	28
Abbildung 11:	Motivation für den Aufbau von LTE-Netzen	35
Abbildung 12:	Steigerung der Effizienz von Investitionen durch den Einsatz von LTE	37
Abbildung 13:	Schematische Darstellung der Anbindung einer Basisstation über Richtfunk bzw. Glasfaser-Lösung	38
Abbildung 14:	Backhaul-Anbindung von Basisstationen in Deutschland nach Technologien (Stand: Ende 2011)	38
Abbildung 15:	Zahl der weltweit verfügbaren LTE-Endgeräte-Modelle	42
Abbildung 16:	Beobachtetes bzw. prognostiziertes Offloading von mobilem Datenverkehr (Petybytes/Monat)	43
Abbildung 17:	Zahl der LTE-Nutzer in Deutschland (in Mio.)	45
Abbildung 18:	Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland	46
Abbildung 19:	Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland	47
Abbildung 20:	Mobile Internetnutzung in Deutschland	49
Abbildung 21:	Die wichtigsten mobilen Internet-Anwendungen	49
Abbildung 22:	Die meist genutzten Apps in Deutschland in 2013	51
Abbildung 23:	Auswirkungen von LTE auf das Nutzungsverhalten	52
Abbildung 24:	Entwicklung der Gesprächsminuten und versendeten SMS in Deutschland (in Mrd.)	53

Abbildung 25:	Entwicklung der LTE-Coverage Weltweit und in Europa	55
Abbildung 26:	Entwicklung des weltweiten mobiles Datenvolumens	56
Abbildung 27:	Entwicklung des monatlichen mobilen Datenverkehrs in Deutschland (in PByte)	57
Abbildung 28:	Bandbreitenverfügbarkeit in Deutschland nach Technologien bezogen auf Haushalte (Bandbreitenklasse $\geq 6$ Mbit/s); Stand: Mitte 2014	69
Abbildung 29:	Verteilung der DSL- und FTTB/H-Anschlüsse nach Download-Bandbreiten	70
Abbildung 30:	Verteilung des durchschnittlichen monatlichen Datenvolumens bei DSL- und FTTB/H-Anschlüssen in 2014	71
Abbildung 31:	Verfügbarkeit von festnetzbasierter Breitbandanschlüssen in Deutschland	72
Abbildung 32:	Entwicklung der LTE Teilnehmer in Deutschland (in Mio.)	74
Abbildung 33:	Strukturmerkmale der „Mobile-only-Nutzer“	77
Abbildung 34:	Entwicklung der vermieteten Teilnehmeranschlussleitung	82

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wesentliche Entwicklungsschritte bei der bisherigen Standardisierung im Mobilfunk	3
Tabelle 2:	Mobilfunk-Generationen und ihre maximalen Bandbreiten	4
Tabelle 3:	Vergleich der technischen Merkmale von LTE auf Basis 3GPP-Release 8 und -Release 10	14
Tabelle 4:	Netzbetreiber, die VoLTE kommerziell anbieten (Stand: Anfang 2014)	20
Tabelle 5:	Verteilung der Frequenzbänder nach Netzbetreiber in Deutschland	25
Tabelle 6:	Erfüllung der Versorgungsverpflichtungen des LTE-Ausbau nach Bundesländer	27
Tabelle 7:	LTE-Verfügbarkeit nach Bundesländern (Mitte 2014)	29
Tabelle 8:	Anteil der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten	59
Tabelle 9:	Anteil der Nutzer von LTE Technologie, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten	59
Tabelle 10:	Ergebnisse des LTE-Netztests der Zeitschrift CHIP 2014	61
Tabelle 11:	Übersicht der LTE-Angebote zur stationären Nutzung (LTE Zuhause) (Stand: Mitte 2014)	64
Tabelle 12:	Ausschnitt der LTE-Angebote zur mobilen Nutzung (Tarife incl. subventionierte Endgeräte)	78



## Zusammenfassung

Sowohl die Abdeckung als auch die technische Leistungsfähigkeit des LTE-Netzes in Deutschland nehmen stetig zu. Etwa 86,5% der Bevölkerung können mit entsprechenden und inzwischen erschwinglichen Endgeräten im LTE-Netz Daten mit bis zu 150 Mbit/s übertragen. Mit hohen Übertragungsgeschwindigkeiten, guter Abdeckung und erschwinglichen Preisen für Endgeräte wäre zu erwarten, dass sich die Zahl der Haushalte erhöht, die keinen festnetzgebundenen Internetanschluss mehr nachfragen.

Die Recherche und Experteninterviews für diesen Diskussionsbeitrag belegen, dass es einen solchen Trend in Deutschland nicht gibt. LTE wird von der ganz überwiegenden Mehrheit der Verbraucher klar als komplementäres Angebot zu ihrem festnetzbasieren Internetanschluss (mobil) genutzt und nicht als Substitut. Dies hängt in erster Linie mit den tatsächlichen technischen Eigenschaften des LTE-Netzes und den Vertragsbedingungen zusammen. Bei letzteren fallen insbesondere die vergleichsweise geringen Datenmengen ins Gewicht, die in den monatlichen Kosten enthalten sind.

Insofern überrascht es nicht, dass sich der Take-up von LTE-Anschlüssen bisher kaum auf den Markt für Teilnehmeranschlussleitungen (TAL) in Deutschland ausgewirkt hat. So ist die Zahl der vermieteten TAL in Deutschland in den vergangenen zwei Jahren zwar um 400.000 zurückgegangen. Die Gründe hierfür sind aber vielmehr die deutlichen Marktanteilsverluste der TNBs im Breitbandmarkt und die Vermarktung von selbstverlegten FTTB/H Anschlüssen durch die Wettbewerber.

Auf Basis von LTE-Advanced werden heute von der Deutschen Telekom Übertragungsraten von 150 Mbit/s im Download angeboten. Dieser Wert ist aufgrund des „Shared Medium“-Charakters der LTE-Technologie nur theoretischer Natur. Aktuelle Netztests belegen, dass die in der Praxis erreichbaren Werte deutlich unter diesem theoretischen Wert liegen. Je nach Netzbetreiber werden zwischen 15 und 40 Mbit/s im Download erreicht.

Für die teilweise starken Unterschiede bei den verfügbaren Bandbreiten sind unterschiedliche Faktoren verantwortlich. Zunächst entscheidet im Shared Medium-Prinzip die Anzahl der Nutzer in einer Funkzelle über die maximal pro Nutzer verfügbare Bandbreite. Beschränkt wird die Leistungsfähigkeit zudem durch die Backhaul-Anbindung des LTE-Masts. Heute bietet einzig die Deutsche Telekom einen fast ausschließlich mit Glasfaser ausgebauten Backhaul. Die anderen beiden Mobilfunknetzbetreiber realisieren die Anbindung ihrer Basisstationen fast ausschließlich über weniger leistungsfähige Richtfunklösungen. Telefónica und auch Vodafone haben jedoch die Zielsetzung, zukünftig verstärkt Richtfunkverbindungen durch glasfaserbasierte Lösungen zu ersetzen. So ist zu erwarten, dass sich die Qualität der Anbindung und damit die Quality of Experience (QoE) für den Verbraucher in Zukunft positiv entwickeln wird.

Beim Vergleich von festnetzbasieren Breitbandanschlüssen und stationären bzw. mobilen LTE-Anschlüssen zeigt sich, dass diese mit Blick auf den Preis und die angebotenen Übertragungsraten durchaus mit den gängigen ADSL-Angeboten konkurrieren können. Sie beinhalten in der Regel jedoch deutlich geringere Übertragungsvolumen als festnetzbasieren Anschlüsse und die Aufstockung dieser Übertragungsvolumen ist sehr kostenintensiv. Von daher sind LTE-Anschlüsse nur für eine kleine Gruppe von Internet-Nutzern als Substitut zu nutzen.

Sie stellen in der Regel vielmehr ein komplementäres (mobiles) Produkt zum festnetzbasieren Breitbandanschluss dar. Dies zeigt sich auch deutlich in der Nachfrage nach stationären LTE-Anschlüssen. Im Jahr 2012, als die Vermarktung von LTE startete, haben sich über 400.000 Nutzer für einen „LTE zu Hause“-Anschluss entschieden. Dies waren vornehmlich Haushalte aus Regionen, in denen bis dahin kein oder nur ein Breitbandanschluss mit einer sehr geringen Bandbreite zur Verfügung gestanden hat. In den folgenden zwei Jahren sind die Zuwächse bei den stationären LTE-Anschlüssen deutlich zurückgegangen. Mit Telefónica hat der erste Anbieter auf diese Entwicklung reagiert und die Vermarktung von „LTE zu Hause“ Mitte 2014 eingestellt.

Dagegen ist zu erwarten, dass mit steigender Abdeckung und Netzqualität bei gleichzeitig fallenden Preisen für Anschlüsse und Endgeräte die mobile Internet-Nutzung in Deutschland weiter zunehmen wird.

## Summary

Both coverage as well as technological capacity of the LTE-network in Germany have been steadily improving. Around 86.5% of the population can use LTE connectivity given they have purchased an LTE-enabled device. Such devices have become more and more affordable recently. With them consumers can access the Internet at speeds of up to 150 Mbit/s nowadays. Given this high potential access speed, sufficient coverage and affordability of devices, one would expect that that number of households without a fixed Internet access service would be growing.

The research conducted for the present study clearly indicates that such a trend does not exist in Germany. The vast majority of consumers sees (and uses) LTE access to the Internet as a complimentary means of Internet access. Actual performance and the terms and conditions of data plans for LTE connections appear to curb it. In particular, consumers disfavor the relatively low data allowance on LTE data plans.

Thus, it is not surprising that LTE take-up has not impacted the market for local loop unbundling in Germany. Whilst the number of local loops in Germany has in fact reduced by 400,000 over the last two years, this may be attributed to significant reductions in market shares of TNBs as well as FTTH/B access points by the competitors in the market.

With LTE-Advanced on Deutsche Telekom's network, consumers can benefit from up to 150 Mbit/s download speed. However, due to LTE being a "shared medium" this is merely theoretical. Recent tests of LTE networks' performance show that in practice downloads are significantly slower. Depending on the network provider between 15 and 40 Mbit/s may actually be achieved.

Differences in actual bandwidths can be attributed to various factors. First and foremost, the "shared medium" principle limits the bandwidth available for the individual user depending on how many other users are logged on the network in the same cell. The Backhaul connection may further limit the capacity of LTE networks. Today, only Deutsche Telekom have connected almost all their LTE base stations via fiber optic cable. The other LTE providers use directional radio. Telefónica and Vodafone also intend to replace these backhaul connections by fiber optic cable. Thus, one can expect the quality to improve in the near future. In line with improvements in the backhaul connections, also the end-users' quality of experience is likely to improve.

Comparing Internet access services based on LTE connectivity with ADSL access for at home Internet access, one finds few significant as regards price and download speeds offered. However, LTE access services commonly feature significantly lower data allowances than typical ADSL Internet access services. Buying additional data allowance is often difficult and expensive. Thus, LTE connections can serve as a substitute for fixed access via ADSL only for a small part of the population.

Consequently, LTE Internet access is used complimentary to one's at home (fixed) Internet access. This also reflects in the demand for LTE (at home) access services. In 2012, when LTE at home was first introduced to the German market, more than 400,000 consumers opted for such a service. Predominantly, these were households that could not purchase a broadband connection at their homes otherwise. In the following two years the demand for such Internet access has been decreasing significantly. Telefónica is the first provider to phase out LTE at home access products from their portfolio. They stopped marketing this service in mid 2014.

Nonetheless, one can expect that with increasing coverage and quality of experience in conjunction with decreasing prices for LTE access and devices mobile usage of Internet access will grow continuously.

## 1 Einleitung

In 2010 sind die drei Mobilfunknetzbetreiber Deutsche Telekom, Vodafone und Telefónica Deutschland mit dem Aufbau ihrer LTE-Netze gestartet. Der Netzausbau verlief dabei sehr dynamisch, so dass die Betreiber schon Ende 2012 die Versorgungsverpflichtung mit Blick auf unterversorgte Bereiche (weiße Flecken) in allen Bundesländern erfüllt hatten. Kontinuierlich wurde bzw. wird der LTE-Ausbau in den Städten und ganz Deutschland weiter vorangetrieben, so dass die Telekom Deutschland und Vodafone heute etwa 70% der Bevölkerung mit LTE-Technologie erreichen. Mittelfristig planen alle Mobilfunknetzbetreiber eine dem GSM vergleichbare Coverage zu erreichen, d.h. etwa 90% der Bevölkerung mit LTE zu versorgen.

Mit der Verfügbarkeit von LTE steigt auch die Nutzung. So gab es Ende 2013 schon etwa 5,6 Mio. LTE-Nutzer. Nach Schätzung von BITKOM wird die Zahl der LTE-Nutzer in den nächsten beiden Jahren rasant ansteigen. Bis 2016 prognostiziert der Verband, dass 34 Millionen Menschen einen mobilen Highspeed-Internet Zugang nutzen werden; damit sollen dann 41% der Bevölkerung in Deutschland mobil mit LTE surfen.

Vor diesem Hintergrund wird neben den technologischen Aspekten von LTE in der Studie analysiert, welche Folgen sich für den Wettbewerb auf dem deutschen TK-Markt durch die Implementierung der LTE-Technologie und deren Nutzung ergeben. Im Fokus stehen dabei das Angebots- und Nachfrageverhalten der Marktteilnehmer sowie mögliche Substitutionseffekte, die sich sowohl auf der Retailseite wie auch auf der Vorleistungsseite ergeben können.

## 2 Grundlagen von Mobilfunktechnologien im Allgemeinen und der LTE-Technologie im Besonderen

In diesem Abschnitt werden die technischen Aspekte, die in der späteren Analyse der marktlichen und unternehmensstrategischen Aspekte dieser Studie relevant sind, identifiziert und zusammengefasst.

### 2.1 Entwicklung der Mobilfunkstandards

Die technischen Entwicklungslinien der letzten 3 Dekaden im Mobilfunk lassen sich am besten anhand der wesentlichen Standardisierungsschritte charakterisieren; diese sind in Tabelle 1 überblicksartig dargestellt.<sup>1</sup>

Die wesentliche Zuständigkeit für die Standardisierung der Mobilfunktechnologien bis hin zu LTE liegt beim 3GPP (Third Generation Partnership Project). Ziel der Standardisierung ist die Erstellung von technischen Spezifikationen, die technische Details einer Mobilfunktechnologie genau beschreiben. Die technischen Spezifikationen werden in sogenannten „Releases“ veröffentlicht bzw. verabschiedet. Ein Release legt die kompletten technischen Rahmenbedingungen (Standard) fest. Dazu gehören z.B. die maximale Breite des nutzbaren Frequenzspektrums für Down- und Upload, deren maximale Datenübertragungsrate, MIMO-Spezifikationen, Modulationsverfahren (z.B. 64 QAM), sowie Detailfestlegungen mit Blick auf Informationsübertragung, Codierung und Netzaufbau.

Die in der nachfolgenden Tabelle dargestellten Entwicklungsschritte bei der Standardisierung im Mobilfunk spiegeln umfassende Änderungen mit Blick auf Komplexität, Performance und Zuverlässigkeit der Netze wider. Dazu zählen insbesondere

- der Übergang zur Paketvermittlung (mit den generellen Implikationen für IP-Verkehr;
- die massive Vergrößerung der zur Verfügung stehenden Bandbreiten pro Zelle/pro User bzw. die entsprechenden erreichbaren Datenraten;
- die „bessere“ Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Frequenzspektrums (Verbesserung der spektralen Effizienz (Bandbreiteneffizienz) in einer Zelle)<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Wir beziehen uns hierbei auf Sauter, M. (2011): Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme – UMTS, HSDPA und LTE, GSM, GPRS und Wireless LAN; Vieweg und Teubner Verlag, 4. Auflage.

<sup>2</sup> Der Begriff „spektrale Effizienz“ charakterisiert, wie effektiv die jeweilige Übertragungstechnik das ihr zur Verfügung stehende Frequenzspektrum nutzt, also wie viele Nutz-Daten auf einem Frequenzkanal einer gewissen Frequenzbandbreite übertragen werden können. Die spektrale Effizienz wird bei zellularen Systemen in kbit/s/Hz/Zelle angegeben; sie misst also das Verhältnis von Datenübertragungsrate (kbit/s) und Frequenz-Bandbreite eines Signals (Hertz) in einer Zelle. Die Verbesserung der spektralen Effizienz führt vereinfacht gesagt dazu, dass sich die Zahl der Nutzer bzw. Dienste, die in einem gegebenen geografischen Gebiet gleichzeitig über die gegebene Bandbreite unterstützt werden, erhöht.

Tabelle 1: Wesentliche Entwicklungsschritte bei der bisherigen Standardisierung im Mobilfunk

2G	primär Sprache, „Kanäle“
2.5 G	Edge etc., schon paketvermittelt
Gemeinsames GSM/UMTS Netz 3GPP Release 99	
3GPP Release 4	mit dem Fokus auf „Bearer Independent Core Network“ <sup>3</sup>
3GPP Release 5	IP Multimedia Subsystem (IMS) und HSDPA <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hier erfolgt ein weiterer Schritt in Richtung All-IP</li> <li>➤ Sprachverbindungen können Ende-zu-Ende IP-basiert realisiert werden</li> </ul>
3GPP Release 6	HSUPA
3GPP Release 7	HSPA+ und Continuous Packet Connectivity (CPC) <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Erhöhung der maximal möglichen Downlink-Geschwindigkeit (mehrere Antennen, MIMO; 64 Quadrature Amplitude Modulation (64QAM))</li> <li>➤ Mit CPC ist insbesondere eine Reduzierung der Stromaufnahme in Endgeräten verbunden (bis dato brauchte das Netz „Zeit“, um Endgeräte bei Übertragungspausen in Schlafzustand zu versetzen)</li> <li>➤ Schnellerer Wechsel aus diversen stromreduzierenden Zuständen in einen schnellen Übertragungszustand (geringere Verzögerungszeit für Endnutzer bei Wiederaufnahme des Betriebs)</li> </ul>
3GPP Release 8	LTE, HSPA+, Verbesserungen und Femtozellen
3GPP Release 9	aus Sicht von LTE hauptsächlich ein Maintenance Release
3GPP Release 10	LTE Advanced

Quelle: WIK auf der Basis von Sauter (2011).

Vor diesem Hintergrund werden Mobilfunknetze typischerweise in vier Generationen gegliedert: Die Mobilfunknetze vor den ersten GSM-Netzen bezeichnet man als Netze der ersten Generation. Schon mit den Netzen der zweiten Generation (2G) ist seit Mitte der 90er Jahre mobiles Internet möglich. Die Fortentwicklung der Mobilfunktechnologie versetzte die Nutzer jener Zeit in die Lage, den Mobilfunkstandard GSM zur Datenübertragung per CSD (Circuit Switched Data) zu benutzen – allerdings mit relativ niedriger Geschwindigkeit von bis zu 14,4 kBit/s.

Aufbauend auf dem ursprünglichen GSM-Standard konnten bereits Ende der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts mit der Entwicklung von HSCSD (High Speed Circuit Switched Data), GPRS (General Packet Radio Service) und EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) deutliche Geschwindigkeitssteigerungen (bis zu 236 kbit/s) erzielt werden.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Anders als im Release 99 werden leitungsvermittelte Dienste im Kernnetz nicht mehr über 64 Kbps Zeitslitze übertragen, sondern auf IP-Ebene. Dies führt insbesondere dazu, die Funktionalitäten des Mobile Switching Centers (MSC) insoweit aufzuteilen, als ein MSC-Server für die Signalisierung und ein MSC-Gateway für die eigentliche (Nutz)Datenverbindung verantwortlich sind.

<sup>4</sup> Diese GSM-Erweiterungen werden auch als 2,5G bzw. 2,75G bezeichnet.

Der nächste Meilenstein in der Geschichte der paketvermittelten Datenübertragung im Mobilfunk bestand in der Einführung von UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) bzw. 3G. Vor allem mit der Einführung der auf UMTS basierenden Standards HSDPA (High Speed *Downlink* Packet Access) und HSUPA (High Speed *Uplink* Packet Access) im Jahr 2006 konnten signifikante Leistungssteigerungen erzielt werden (Übertragungsraten bis zu 14,4 Mbit/s im Download). Mit HSPA+, auch als "HSPA Evolution" bezeichnet, wurde basierend auf der UMTS-Infrastruktur eine noch leistungsfähigere Variante von HSPA entwickelt. Diese bietet Datenraten von bis zu 42 Mbit/s im Download. HSPA / HSPA+ Netze gelten als der Übergang zur nächsten Mobilfunkgeneration und werden deshalb auch als 3.5G bezeichnet.

Mit LTE (Long Term Evolution) ist nun 3.9G am Markt. LTE nutzt das Frequenzspektrum wesentlich effektiver als seine Vorgänger und ermöglicht so deutlich höhere Übertragungsgeschwindigkeiten (bis zu 150 Mbit/s im Download). Außerdem wird die Latenzzeit, also die Zeitspanne zwischen Versenden eines Datenpakets und seinem Wiedereintreffen (Reaktionszeit), stark verringert.

LTE Advanced (4G) ist eine Erweiterung der LTE-Technologie und kann durch diverse Optimierungen die Datenraten im Mobilfunknetz noch einmal erheblich erhöhen. Die Technologie wurde im März 2011 im Release 10 der 3GPP (3rd Generation Project Partnership) standardisiert. Zu den Verbesserungen gegenüber LTE, gehören u.a. eine deutliche Steigerung der spektralen Effizienz sowie eine flexiblere Nutzung des Funkpektrums. Je nach Ausprägung und Gerätestandard sind 300 - 1200 Mbit/s im Download und etwa 600 Mbit/s im Upload möglich. Die mit der Entwicklung der Mobilfunk-Generationen einhergehende Bandbreitenentwicklung ist in der folgenden Tabelle noch einmal zusammengefasst.

Tabelle 2: Mobilfunk-Generationen und ihre maximalen Bandbreiten

Generation	Technik	Übertragung	Max. Bandbreite
<b>1G</b>	AMPS	analog, leitungsvermittelt	-
<b>2G</b>	GSM	digital, leitungsvermittelt	14,4 kbit/s
<b>2.5G</b>	HSCSD	digital, leitungsvermittelt	57,6 kbit/s
	GPRS	digital, paketvermittelt	115 kbit/s
<b>2.75G</b>	EDGE	digital, paketvermittelt	236 kbit/s
<b>3G</b>	UMTS	digital, paketvermittelt	384 kbit/s
<b>3.5G</b>	HSPA	digital, paketvermittelt	14,4 Mbit/s
<b>3.9G</b>	LTE	digital, paketvermittelt	300 Mbit/s
<b>4G</b>	LTE Advanced	digital, paketvermittelt	1,2 Gbit/s

Quelle: WIK-Consult; <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0406221.htm>

## 2.2 Wesentliche Merkmale der LTE-Technik

### 2.2.1 Kodierung- und Modulationsverfahren sowie Antennentechnologie

Verschiedene technologische Verfahren tragen dazu bei, dass bei LTE zwischen Endgerät und Basisstation sehr hohe Datenraten möglich sind. Hierzu gehören neue Verfahren zur Kodierung, eine hohe Modulation und eine komplexe Antennentechnologie.

Als Kodierungsverfahren im Download (d.h. seitens der Basisstation) wird bei LTE „Orthogonal Frequency Division Multiple Access“ (OFDMA) verwendet. OFDMA ist ein Mehrträgerverfahren, das die zur Verfügung stehenden Funkressourcen mehreren Endnutzern zuordnet. Die gesamte Trägerbandbreite wird in eine Vielzahl von Unterträgern mit einem Trägerabstand von 15 kHz aufgespaltet.<sup>5</sup> Jeder Unterträger wird dann mit QPSK, 16-QAM oder 64-QAM<sup>6</sup> moduliert. Im Gegensatz zu OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), bei dem die gesamte Bandbreite einem Nutzer für eine bestimmte Zeit zugewiesen ist, teilen sich bei OFDMA zu jedem Zeitpunkt mehrere Nutzer die verfügbare Bandbreite. Dies geschieht durch die Bildung von Subkanälen aus mehreren einzelnen Trägern, die zeitlich und zahlenmäßig dynamisch den einzelnen Nutzern entsprechend ihren Anforderungen zugeordnet werden können. Nicht zugewiesene Unterträger sind dabei ausgeschaltet; somit werden Leistungsaufnahme und Interferenz reduziert. Im Upload wird als Kodierungsverfahren SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) benutzt. SC-FDMA hat einen geringeren Crest Faktor (Verhältnis von kurzzeitig auftretender Maximalleistung zur mittleren Leistung des Sendesignals) als OFDM. Dadurch wird der Batterieverbrauch reduziert und die Auslegung des Sendeverstärkers im Endgerät vereinfacht. Bei SC-FDMA werden die Datensymbole sequenziell übertragen, wobei jedes Symbol auf mehreren Unterträgern verteilt wird, wohingegen bei OFDMA mehrere Symbole parallel mit einem Symbol pro Unterträger übertragen werden.

Als Modulationsverfahren werden bei LTE 64-QAM, 16-QAM und QPSK eingesetzt.

Neu bei LTE ist darüber hinaus der Einsatz der MIMO Antennentechnik (Multiple Input Multiple Output); auch dies dient zur Steigerung der Datenraten und der spektralen Effizienz. MIMO nutzt die Mehrwegesignalausbreitung zwischen Sender und Empfänger, die in allen terrestrischen Kommunikationssystemen vorhanden ist. Durch die Verwendung mehrerer Antennen auf Seiten der Basisstation und teilweise auch auf Endgeräteseite kann entweder ein einzelner Datenstrom simultan über mehrere Antennen abgestrahlt werden (Space Time Coding), was zu einer Erhöhung der Systemreichweite führt, oder der zu übertragende Datenstrom wird in mehrere Einzeldatenströme aufgeteilt und über mehrere Antennen parallel übertragen (Spatial Multiplexing), was den

---

<sup>5</sup> So wird eine Kanalbandbreite von 10 MHz in 666 Unterträger (Subcarrier) aufgeteilt, von denen 600 genutzt werden.

<sup>6</sup> QPSK steht für ‚Quadrature Phase-Shift Keying‘ (Quadraturphasenumtastung); QAM steht für ‚Quadrature Amplitude Modulation‘.

Durchsatzgewinn erhöht. Bei LTE wird für den Download eine Konfiguration aus zwei Sende- und zwei Empfangsantennen als Basis verwendet (2x2 MIMO), wobei Konfigurationen mit vier Antennen ebenfalls möglich sind.

### 2.2.2 Duplexverfahren

TDD- (Time Division Duplex) und FDD- (Frequency Division Duplex) LTE sind zwei unterschiedliche LTE Varianten, die das vorhandene Spektrum auf unterschiedliche Art nutzen. Sie wurden entwickelt, um LTE in gepaarten und ungepaarten Spektrumsbereichen betreiben zu können. TDD LTE basiert auf nur einer einzigen Trägerfrequenz (also ungepaartem Spektrum); Up –und Download werden zeitlich voneinander getrennt übertragen. FDD LTE benötigt hingegen ein gepaartes Spektrum: eine Trägerfrequenz für den Upload und eine für den Download. Up-und Download können gleichzeitig übertragen werden. Durch diese Anpassungsfähigkeit wird LTE verschiedenen Gegebenheiten mit Blick auf die Verfügbarkeit von Frequenzen gerecht.

### 2.2.3 LTE-Frequenzallokation

Während die UMTS Technologie auf feste Frequenzblöcke in der Größe von 5 MHz aufbaut, kann LTE unterschiedlich breite Frequenzblöcke nutzen. Möglich sind hierbei Kanalbandbreiten mit 1,4 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 MHz.

Die 3GPP hat für LTE insgesamt 42 verschiedene Frequenzbereiche festgelegt. Davon sind 30 Bereiche für die FDD-Nutzung und 12 Bereiche für die TDD-Nutzung reserviert. Die Frequenzen liegen dabei im Bereich zwischen 700 MHz und 3500 MHz.

Der Grund für diese große Vielfalt an Frequenzen ist, dass für LTE bisher anderweitig genutzte Bereiche im Spektrum freigeräumt werden sollen (bzw. bereits sind). Auf diese Weise kommen, je nach Land und Region, unterschiedliche Frequenzbänder in Frage. In den USA beispielsweise räumten die Fernsehsender bei der Umstellung auf das digitale Senden Frequenzen im Bereich von 700-Megahertz. In Deutschland wurde von den Fernsehstationen ein Band um 800-Megahertz freigemacht (Digitale Dividende), Frequenzen im Bereich 1800-Megahertz wurden von der Bundeswehr freigegeben. Weil die Frequenzzuweisung von Land zu Land unterschiedlich sind, werden weltweit auch verschiedene Frequenzen für den LTE-Betrieb genutzt.

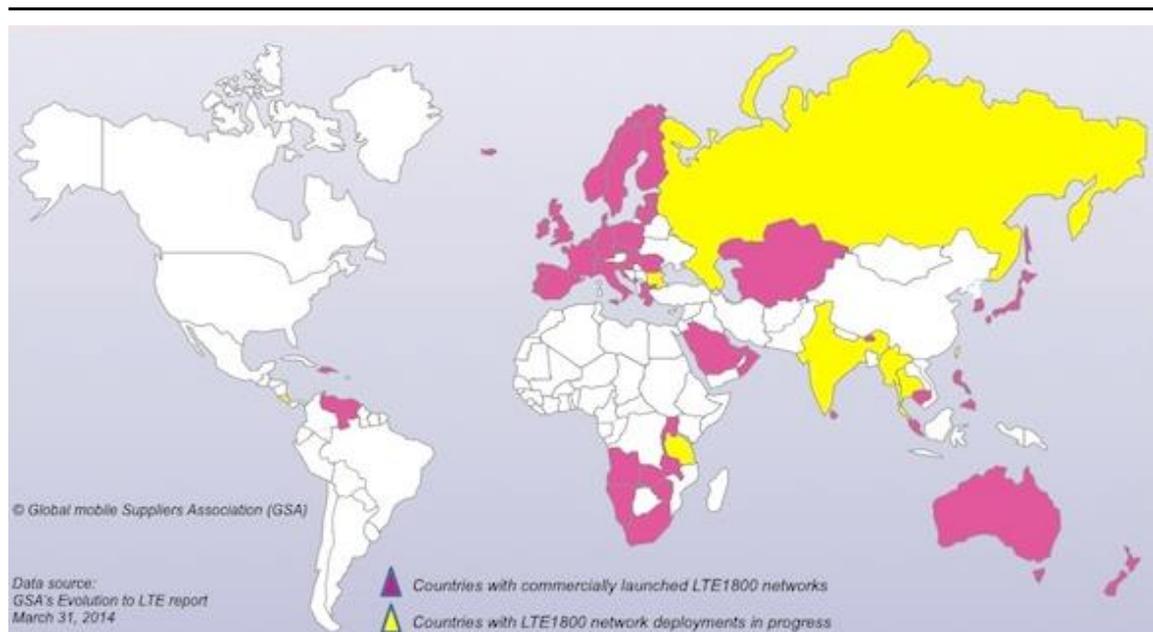
Anfang 2014 wurden weltweit 129 LTE-Netze in über 60 Ländern im 1800 MHz Band betrieben.<sup>7</sup> Damit nutzen 43% aller LTE-Netzbetreiber dieses Frequenzband in ihrem Netz, zum Teil als „Single band system“ oder aber als Teil einer „Multi-band“-Lösung

---

<sup>7</sup> Quelle: GSA (2014a); 1800 MHz dominates LTE deployments and user devices ecosystem ([http://www.gsacom.com/news/gsa\\_405.php](http://www.gsacom.com/news/gsa_405.php)).

wie z.B. die Telekom Deutschland.<sup>8</sup> Der 1800 MHz Bereich ist damit das am meisten genutzte Frequenzband, vor den Bereichen 2,6 GHz und 800 MHz. Wie die folgende Abbildung zeigt, wird das LTE 1800 dabei hauptsächlich in Europa, Japan und Australien genutzt. Eine Nutzung in Russland und Indien steht an. In den USA dagegen wird für die LTE-Bereitstellung hauptsächlich der 700 MHz Bereich genutzt und in China der Frequenzbereich oberhalb von 2 GHz.

Abbildung 1: Verbreitung von LTE 1800 weltweit (Stand: März 2014)



Quelle: GSA (2014a)

Für den Endnutzer hat die Frequenzvielfalt gewisse „unerfreuliche“ Nebenwirkungen: Wer einen LTE-Surfstick im Ausland kauft, kann nicht erwarten, dass dieser auch in Deutschland funktioniert, selbst dann nicht, wenn er nicht per Sim-Lock gesperrt ist. Wer umgekehrt mit einem in Deutschland gekauften LTE-Surfstick in die USA reist, kann sicher sein, dass dieser dort nicht funktioniert – weil er auf der falschen Frequenz sendet – also auf 800, 1800 oder 2600 Megahertz, während in den USA der LTE-Funk auf 700 Megahertz und teilweise auf 2100 MHz abgewickelt wird. Genauso ist es mit allen anderen Geräten wie Smartphones, Laptops oder Tablets, die bereits eine kleine LTE-Sende- und Empfangs-Station eingebaut haben, also technisch gesprochen über ein eingebautes oder integriertes LTE-Funkmodem verfügen.

<sup>8</sup> Beim „Single band system“ nutzt der Mobilfunkcarrier nur ein Frequenzband zum LTE-Netzbetrieb (z.B. 1800 MHz (Band 3)). Im „Multi-band-system“ stehen dem Carrier mehrere Frequenzbänder zur Verfügung (z.B. 800 MHz (Band 20), 1800 MHz (Band 3) und 2,6 GHz (Band 7)).

Global betrachtet führt diese Fragmentierung der Nutzfrequenzen zu teils erheblichen Schwierigkeiten. Zwei besonders prominente Beispiele illustrieren die Problematik besonders gut:

- In Australien kommt ein Band um 1800 MHz zum Einsatz. Als Apple Mitte 2012 den Verkauf des „iPad3 4G“ startete, konnten australische Nutzer die Funktion gar nicht nutzen, da das Gerät nur die in den USA typischen Frequenzen unterstützte.
- In Deutschland gibt es aus demselben Grund Einschränkungen mit Blick auf die Nutzung der 4G-Funktion. Bei der Einführung von Apples iPhone5 auf dem deutschen Markt arbeitet das Gerät nur im 1800 MHz Bereich und konnte so nur von Telekom Deutschland Kunden adäquat genutzt werden.

### 2.3 Strukturmerkmale der LTE-Netzarchitektur

Grundsätzlich lässt sich ein LTE-Netz in zwei Segmente aufteilen. Das eine wesentliche Element ist die Luftschnittstelle „EUTRAN“ (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network). EUTRAN ist die Weiterentwicklung des UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN) und für die Übertragung der Daten zwischen Endgeräten und der sogenannten Basisstationen verantwortlich. Die in Kapitel 2.2.1 und 2.2.2 beschriebenen Verfahren tragen dazu bei, dass zwischen dem Endgerät und der Basisstation, die als eNodeB bezeichnet wird, sehr hohe Datenraten möglich sind.

Das andere Element ist das Kernnetz (EPC bzw. Evolved Packet Core). Es besteht aus mehreren Netzwerkkomponenten, unter anderem zur Trennung von Nutzdaten und Signalisierungsinformationen und ist über das Backhaul mit den Basisstationen verbunden.

Signalisierungsdaten und Nutzerdaten laufen im LTE Netz getrennt voneinander. Für die Signalisierung ist die MME (Mobility Management Entity) zuständig. Sie steuert beispielsweise die Anmeldung des Mobilfunk Teilnehmers am Netz, aber auch die Authentifizierung und Lokalisierung. Das Endgerät meldet sich an der MME an, sobald es eingeschaltet wird, die MME verbindet sich daraufhin, mit dem HSS (Home Subscriber Server), der die Teilnehmerdatenbank beinhaltet und weist dem Endgerät einen Serving Gateway (S-GW) zu. Das Serving Gateway wird zusammen mit dem PDN Gateway auch als SAE Gateway bezeichnet, beide werden oft in einer Einheit zusammengefasst. Jedes Endgerät, das am Netz angemeldet ist, ist zurzeit nur mit einem S-GW verbunden. Der S-GW übernimmt das Routen der Nutzdaten zwischen der Basisstation und dem PDN-GW. Der PDN-GW stellt die Schnittstelle zum externen IP Netzwerk dar und hat die Aufgabe dem Nutzer eine IP Adresse zuzuweisen.

Das PCRF (Policy and Charging Rules Function) hat die Aufgabe, die Verrechnung und Regeln für den Datenverkehr festzulegen. Die Regelungen betreffen das PDN-GW, da der PCRF Datenflüsse zulassen oder ablehnen kann. Das PCRF hat die Aufgabe, verschiedene Datenströme zu identifizieren und entsprechende Verrechnungsrichtlinien,



## 2.4 Kernelemente der 3GPP-Releases 8 und 10

In diesem Abschnitt stellen wir die wesentlichen Elemente der beiden 3GPP-Releases 8 und 10 vor.

### 2.4.1 3GPP-Release 8

Die aktuell zur Anwendung kommende LTE-Technik basiert auf dem 3GPP-Release 8. 3GPP-Release 8 spezifiziert das Kodierungsverfahren OFDMA und beinhaltet HSPA Weiterentwicklungen wie die gleichzeitige Nutzung von MIMO. Die komplexeste MIMO Konstellation bei LTE Release 8 ist 4x4 MIMO, das bedeutet jeweils vier Antennen sowohl auf der Sender- als auch auf der Empfangsseite. Diese Konstellation ermöglicht die Übertragung von vier zeitgleichen Datenströmen. Die theoretisch maximal erreichbaren Bandbreiten liegen damit im Download bei 300 Mbit/s und beim Upload bei 75 Mbit/s. Neben den hohen Übertragungsraten bringt die LTE-Technologie deutlich niedrigere Latenzzeiten<sup>10</sup> mit sich. Mit Werten von 20 bis 50 ms liegen diese etwa auf DSL-Niveau.

Im 3GPP Release 8 findet eine Gliederung in 5 Geräte-Kategorien (CAT) statt. In Abhängigkeit von Kanalbandbreite, eingesetztem Modulationsverfahren und verwendbaren MIMO-Technologie (Mehrantennentechnik) liegen die maximalen Bandbreiten im Download zwischen 10 Mbit/s (CAT1) und 300 Mbit/s (CAT5). Im Upload liegen die Maximalwerte zwischen 5 Mbit/s (CAT1) und 75 Mbit/s (CAT5).

In Deutschland kommen heute in der Mehrzahl Geräte der Kategorie 3 (CAT3) zum Einsatz. Wie Tabelle 3 zeigt, unterstützen diese Downloadraten von bis zu 100 Mbit/s und können Daten mit bis zu 50 Mbit/s senden. Um dies zu erreichen, ist der Einsatz der Mehrantennentechnik MIMO mit 2 Sende- und 2 Empfangseinheiten (2x2) notwendig. Für die Übertragung muss eine Kanalbandbreite von 20 MHz zur Anwendung kommen, nur dann lassen sich diese Geschwindigkeiten realisieren.

Die ersten CAT3 Geräte in Deutschland waren LTE-Router, wie etwa die Modelle „Easybox 904“ von Vodafone und der „Speedport II“ von der Telekom Deutschland. Anfang 2013 erschien der erste in Deutschland erhältliche Datenstick der Kategorie 4 - der E3276 von Huawei. Seitdem unterstützen immer mehr LTE-Router und Datensticks CAT4 und seit Ende 2013 auch nahezu alle höherwertigen LTE-Smartphones.

### 2.4.2 3GPP-Release 10

3GPP-Release 10, bekannt unter „LTE Advanced“ (LTE-A), wurde im März 2011 endgültig spezifiziert. Erst mit LTE-Advanced werden die technischen Anforderungen vollständig erfüllt, die die ITU an die 4. Mobilfunkgeneration (4G) stellt. Die Marketingstra-

---

<sup>10</sup> Die Latenzzeit ist die Laufzeit eines Datenpakets vom Sender zum Empfänger.

gegen der Mobilfunkunternehmen nehmen diesen Umstand jedoch nicht so genau, vielmehr wird 3GPP-Release 8 auf den Webpages der Unternehmen häufig als 4G bezeichnet. Denn 4G als Brand lässt sich besser als 3G vermarkten, da der Verbraucher damit schnellere Datenraten assoziiert. Die im Ursprung technische Zuordnung wird dadurch vermutlich im allgemeinen Sprachgebrauch zukünftig keine Relevanz mehr haben.

LTE Advanced steigert die Up- und Downloadraten im Vergleich zum Release 8 noch einmal deutlich. Mit LTE Advanced sind theoretisch Downloadgeschwindigkeiten von 3 Gbit/s und Upload-Geschwindigkeiten von 1,5 Gbit/s realisierbar.<sup>11</sup> Möglich wird das unter anderem durch die Implementierung von Carrier Aggregation (CA) und eine noch komplexere Antennentechnologie (die Spezifikationen enthält eine 8X8 MIMO Konstellation).

Mit Carrier Aggregation ist es einem Mobilfunk-Netzbetreiber erstmals möglich, verschiedene Frequenzblöcke zu einem großen Block zu bündeln. Nach 3GPP-Release 10 liegt die Obergrenze bei 100 MHz. Realistisch ist in der Praxis mittelfristig gesehen eine Bündelung von 40 bis 60 MHz möglich, da kaum ein Mobilfunknetzbetreiber über ein größeres Frequenzspektrum verfügt. Es gibt drei verschiedene Modi zur Kanal-Bündelung, wobei nur die folgenden Frequenzblöcke kombiniert werden können: 1,4 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 Megahertz. Wie und in welcher Weise die Kombination erfolgt, bleibt dem Netzbetreiber überlassen, aber maximal können fünf Frequenzblöcke gebündelt werden. Durch Carrier Aggregation kann ein Mobilfunknetzbetreiber somit die Übertragungsgeschwindigkeit in seinem Netz deutlich erhöhen. Aggregiert er z.B. 20 MHz aus dem 800 MHz Bereich und 20 MHz aus dem 1800 MHz Bereich, dann hat er aggregiert 40 MHz Kanalbandbreite zur Verfügung. Damit kann er dann Übertragungsraten von 300 Mbit/s im Download in seinem Netz zur Verfügung stellen.

Carrier Aggregation macht drei Varianten der Zusammenfassung von Frequenzblöcken möglich:

- *Intra-Band, contiguous*: Dies stellt das einfachste CA-Verfahren dar. Es werden zwei oder mehrere Frequenzblöcke gebündelt, die benachbart zueinander sind (contiguous) und innerhalb eines Frequenzbereiches (Intra-Band) liegen. Ein Beispiel wären 2x 10 MHz im Frequenzbereich um 1800 MHz.
- *Intra-Band, non-contiguous*: Bei diesem Verfahren werden zwei oder mehr Frequenzblöcke gebündelt, wobei diese Frequenzblöcke nicht benachbart sind, jedoch im gleichen Frequenzbereich liegen.
- *Inter-band, non-contiguous*: Dieses CA-Verfahren wird wohl in Zukunft am meisten verwendet, da es der Realität bei den Netzbetreibern am ehesten entspricht.

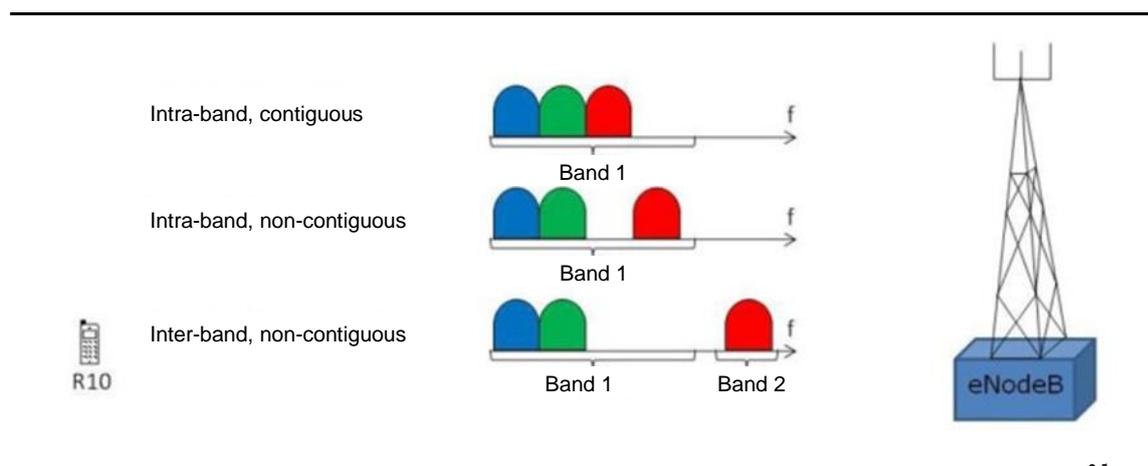
---

<sup>11</sup> Vgl. Kottkamp, M. Roessler, A., Schlien, J. (2012); LTE-Advanced Technology Introduction, White Paper; abrufbar unter: [http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma169/1MA169\\_3e\\_LTE-Advanced\\_technology.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma169/1MA169_3e_LTE-Advanced_technology.pdf).

Es können hierbei Frequenzblöcke aus verschiedenen Frequenzbereichen gebündelt werden, um einen möglichst großen Frequenzblock zu schaffen. Ein mögliches Szenario wäre zum Beispiel die Kombination von Spektrum aus dem 800 MHz Bereich mit Spektrum aus dem 1800 MHz Bereich.

Die vorgenannten drei Varianten der Carrier Aggregation werden in der nachfolgenden Abbildung noch einmal grafisch veranschaulicht.

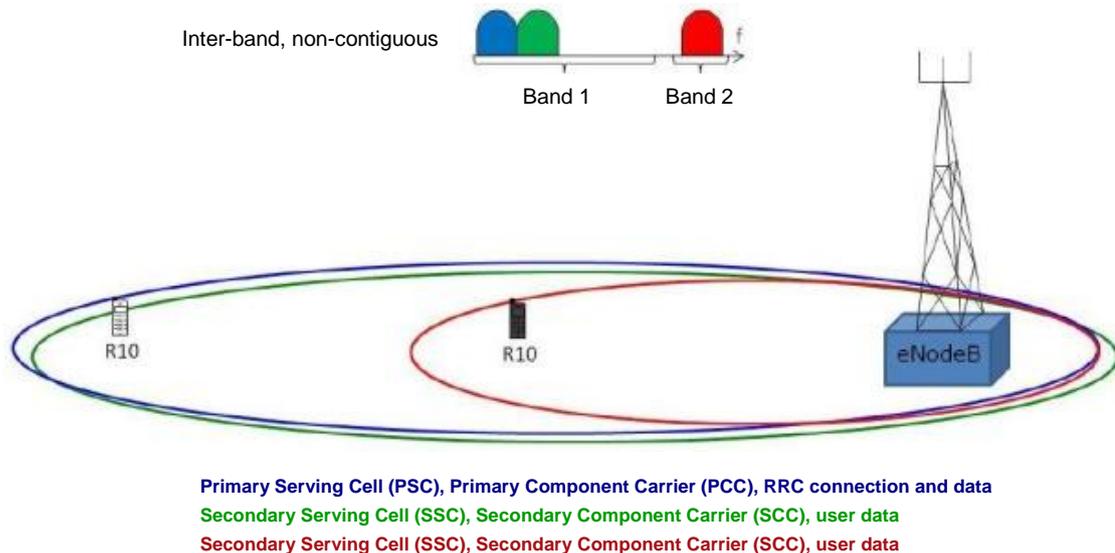
Abbildung 3: Drei Varianten von Carrier Aggregation



Quelle: Planken, M. (2013); LTE-Advanced: Carrier Aggregation im Detail; abrufbar unter:<http://maxwireless.de/2013/lte-advanced-carrier-aggregation-im-detail/>.

Beim Carrier-Aggregation mittels Inter-Band, non-contiguous ist es unausweichlich, dass es große Bandbreitenunterschiede innerhalb einer einzelnen Zelle geben wird. So wird man mit einem Endgerät mit CA-Unterstützung in der Nähe eines LTE-Senders (eNodeB) womöglich sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen, da das Endgerät viel gebündeltes Spektrum nutzen kann. Weiter als zwei Kilometer entfernt vom Sender ist womöglich nur noch LTE 800 verfügbar und CA bringt keinen Vorteil mehr.

Abbildung 4: Eingeschränktes Leistungsvermögen von Carrier-Aggregation mittels Inter-Band, non-contiguous



Quelle: Planken, M. (2013)

Durch die im Vergleich zu 3GPP-Release 8 noch komplexere MIMO Antennentechnik wird mit LTE Advanced die spektrale Effizienz, d.h. die übertragenen Daten pro Hertz, weiter gesteigert. Bei LTE liegt diese im Idealfall bei etwa 15 Bit/s pro Hz im Downlink und 3,75 Bit/s pro Hz im Uplink, für LTE-Advanced werden Werte von bis zu 30 Bit/s pro Hz im Downlink und bis zu 15 Bit/s pro Hz im Uplink erreicht.

Mit LTE-Advanced kommen weitere drei Geräte-Kategorien im LTE-Kontext hinzu. CAT6 ermöglicht maximale Downloadraten von 300 Mbit/s und Uploadraten von 50 Mbit/s. Mit Blick auf CAT8 sind sogar Downloadgeschwindigkeiten von 1,2 Gbit/s und 600 Mbit/s im Upload möglich. Bisher sind in Deutschland jedoch noch keine LTE-Advanced fähigen Endgeräte verfügbar. Die bisherigen Test der deutschen Netzbetreiber wurden mit Endgeräten durchgeführt, die sich noch im Prototypen-Stadium befanden.

Tabelle 3: Vergleich der technischen Merkmale von LTE auf Basis 3GPP-Release 8 und -Release 10

LTE Geräte-Kategorie	LTE (Rel. 8-9)			LTE Advanced (ab Rel .10)		
	3	4	5	6	7	8
Downlink (in Mbit/s)	100	150	300	300	300	1200
Uplink (in Mbit/s)	50	50	75	50	150	600
MIMO Antennentechnik	2 x 2 MIMO		4 x 4 MIMO	2 x 2 MIMO	diverse*	min. 8x8
Frequenz-Bandbreite	bis 20 MHz			20 bis 100 MHz auch per CA		
Carrier Aggregation (CA)	nein			ja		
Modulation Downlink	QPSK, 16QAM, 64QAM			64QAM		
Modulation Uplink	QPSK, 16QAM		QPSK, 16QAM, 64QAM	16QAM	64QAM	64QAM

Quelle: LTE Advanced - Turbo-LTE mit bis zu 1000 Mbit/s - was steckt dahinter?; abrufbar unter: <http://www.lte-anbieter.info/lte-advanced/>

## 2.5 Exkurs: LTE-A Marktrelevanz

In diesem Abschnitt geben wir einen kurzen Überblick über den gegenwärtigen Entwicklungsstand im LTE-A Endgerätemarkt sowie über den Stand der Netzausrüstung mit Blick auf LTE-A in der Welt. Die nachfolgenden Angaben repräsentieren den Stand zum Zeitpunkt Anfang 2014.

Im Juni 2014 hat Samsung mit dem „Galaxy S5 Broadband LTE-A“ das weltweit erste kommerziell erhältliche Cat6-Smartphone für LTE-A präsentiert. Das Gerät ist mit dem Qualcomm-Chip Snapdragon 805 und dem Qualcomm-Modem Gobi 9x35 ausgestattet. Das LTE-A-Modem Gobi 9x35, das im neuen S5-Modell steckt, ist in 20-nm-Technik gefertigt und gilt als weltweit erstes Modem, das sich für die Trägerbündelung gemäß der Category-6-Spezifikation eignet. Es bringt zwei maximal 20 MHz breite Träger für bis zu 40 MHz zusammen und erreicht so bis zu 300 Mbit/s im Download.<sup>12</sup> Zunächst kommt es ab Juni in Südkorea in den Handel, wo die beiden Betreiber SK Telecom und LG Uplus ihre Netze bereits auf die erste von mehreren LTE-A-Stufen aufgerüstet haben. Ob und in welcher Ausführung das Samsung S5 mit LTE-A-Ausstattung in Deutschland in den Handel kommt, ist noch offen.

Ende Juni 2014 hat auch Huawei mit dem „Honor 6“ sein erstes CAT6-fähiges Handy in Peking präsentiert. Dieses Endgerät wird jedoch zunächst nur in China vermarktet; wann es nach Europa kommt ist noch völlig offen.

<sup>12</sup> Vgl. Heise Newsticker (23.06.2014); Samsung bringt weltweit erstes Cat-6-Smartphone für LTE-A; abrufbar unter: [http://www.heise.de/newsticker/meldung/Samsung-bringt-weltweit-erstes-Cat-6-Smartphone-fuer-LTE-A-2236608.html?wt\\_mc=nl.ho](http://www.heise.de/newsticker/meldung/Samsung-bringt-weltweit-erstes-Cat-6-Smartphone-fuer-LTE-A-2236608.html?wt_mc=nl.ho).

Huawei hat auf dem Mobile World Congress 2014 in Barcelona den Mobile Router E5786 vorgestellt. Allerdings ist bisher noch kein festes Datum für eine Markteinführung des Gerätes fixiert. Ebenfalls in Barcelona hat ZTE mit dem „ZTE Flare“ seinen ersten Cat6 fähigen Router vorgestellt. Dieses Endgerät soll in der zweiten Jahreshälfte 2014 auf dem Markt verfügbar sein.

Den kommerziellen Start von LTE-Advanced haben weltweit bisher 21 Netzbetreiber in 14 Ländern bekannt gegeben<sup>13</sup>, darunter: Telstra (Australien), T-Mobile (Czech Republik), Bouygues Telecom (Frankreich)<sup>14</sup>, SK Telecom und LG Uplus (Südkorea), KPN (Niederlande) und STC (Saudi Arabien). AT&T ist im März diesen Jahres mit LTE-A in Chicago gestartet. Ende 2014 bzw. 2015 wollen alle vier US-Mobilfunkcarrier (AT&T, Sprint, T-Mobile und Verizon) LTE-A landesweit anbieten.

Auch die Schweizer Swisscom bietet LTE-A an. Bisher jedoch nicht landesweit, sondern nur an den Bahnhöfen Bern und Lausanne und ab Anfang Juli an stark frequentierten Orten in den Städten Bern und Biel. Jedoch ist noch keine LTE-A Nutzung möglich, da erste Endgeräte erst ab dem Herbst 2014 zur Verfügung stehen sollen.

Abbildung 5: Länder, in denen LTE-Advanced verfügbar ist (Stand: Anfang 2014)



Quelle: WIK

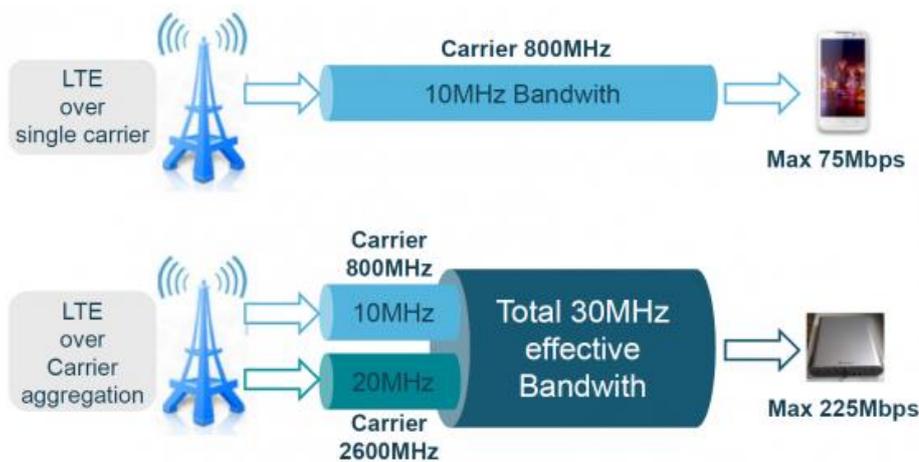
<sup>13</sup> GSA (2014c), Market Technology Update, September 2014.

<sup>14</sup> Bouygues hat als Hardware den Mobile Router Huawei E5786 angekündigt.

In Deutschland ist die Telekom Deutschland Ende November 2014 mit ihrem kommerziellen LTE-Advanced Angebot gestartet. Das Unternehmen bietet seinen Kunden mit LTE-Advanced bis zu 300 Mbit/s im Download an. Die hohe Übertragungsrate realisiert der Netzbetreiber über Carrier Aggregation. Hierzu bündelt Telekom Deutschland LTE-Frequenzen mit 1800-MHz und 2600-MHz (2 x 20 MHz). Zunächst ist LTE-Advanced der Telekom in 17 Städten<sup>15</sup> verfügbar. Die Zahl der Endgeräte die LTE-Advanced unterstützt ist noch sehr gering. Neben zwei LTE-Routern (Speedbox III und Speedbox II mini), bietet die Telekom drei Mobilfunkgeräte von Samsung an die LTE Cat. 6 unterstützen.<sup>16</sup>

Telefónica Deutschland und Vodafone haben Ende 2013 erste Tests mit LTE-Advanced durchgeführt. Durch die Aggregation von Frequenzen hat Telefónica Deutschland Download Geschwindigkeiten von über 200 Mbit/s realisiert. Telefónica Deutschland hat hierzu 10 MHz aus dem 800MHz Frequenzbereich (Download: 75 Mbit/s) und 20 MHz aus dem 2600 MHz Bereich (Download: 150 Mbit/s) zu einer Gesamt-Bandbreite von 30 MHz zusammengefasst. Damit lassen sich in Summe rein theoretisch Geschwindigkeiten von 225 Mbit/s im Download erzielen. Mit dem Marktstart von LTE-Advanced ist bei diesen beiden Netzbetreibern 2015 zu rechnen.

Abbildung 6: Realisierte Carrier Aggregation am Beispiel von Telefónica Deutschland



<sup>15</sup> Dies sind: Berlin, Potsdam, Bonn, Dortmund, Raum Essen, Chemnitz, Rostock, Magdeburg, Düsseldorf, Köln, Stuttgart, Leipzig, Arnstadt, Dresden, Mannheim, und Duisburg.

<sup>16</sup> Samsung Galaxy S5 LTE+; Samsung Galaxy Alpha; Samsung Galaxy Note 4.

## 2.6 Mögliche Weiterentwicklungen der LTE-Standards

Während in den ersten Ländern LTE-A kommerziell gestartet ist, wird in den Forschungseinrichtungen der großen Equipment Hersteller schon an der Nachfolge-Technologie 5G gearbeitet. Ob 5G dabei ein gänzlich neuer Standard werden wird oder nur eine Weiterentwicklung von LTE ist noch offen. Mit der fünften Mobilfunk-Generation soll Nutzern dann etwa ab dem Jahre 2020 eine Übertragungsbandbreite von bis zu 10 Gbit/s zur Verfügung stehen.

Bei der Entwicklung 5G will die Europäische Union eng mit Südkorea zusammenarbeiten. Mit dem Ziel bei der Forschung zu kooperieren und auf globale Standards auszuwirken.<sup>17</sup>

Während die Forschung an 5G beginnt, hat das Normungsgremium 3GPP die Arbeiten an LTE Release 12 weiter vorangetrieben. Diese Spezifikation wird voraussichtlich im Dezember dieses Jahres verabschiedet. Viele Elemente des Release 12 widmen sich dabei der Kapazitätserhöhung der Netze. Die Hauptmerkmale von LTE Release 12 sind dabei die Nutzung von Small Cells mit ihrer hohen Kapazität auf begrenztem Raum, höherwertige Modulation, noch mehr gebündelte Trägerfrequenzen, 3D-MIMO und Massive MIMO sowie neue Spielarten des Offloadings mittels WLAN.<sup>18</sup>

Das kommende Release 12 des 3GPP-Normungsgremiums soll das Interferenzmanagement zwischen verschiedenen Zellen und das Handover verbessern. Die Erweiterung der Handover-Spezifikation betrifft das Zusammenspiel zwischen Small Cells und Macro Cells. Wenn Mobilgeräte gemäß Release 12 arbeiten, buchen sie sich gleichzeitig in eine Small Cell und eine Makro Cell ein. Nutzdaten fließen dann über die Small Cell, Kontrollinformationen weiterhin über die Makro Cell. So lässt sich die höhere Kapazität von Small Cells ausschöpfen, ohne sie aufwendig für die Steuerung erweitern zu müssen und das Handover zwischen den Small Cells wird erheblich erleichtert.

Weitere Geschwindigkeitssteigerung gegenüber LTE und LTE-Advanced sollen zusätzliche Verfahren zur Trägerbündelung bringen: Zwar schreibt schon Release 10 die maximale gemeinsame Verwendung von 5 Trägern fest, aber Details hat diese Spezifikation noch offen gelassen. Nun geht es darum, die konkreten Kombinationsmöglichkeiten bezüglich der Anzahl der Träger festzuklopfen. Release 10 bietet lediglich Konfigurationseinstellungen für maximal zwei LTE-Träger für den Downlink und einer für den Uplink. Die maximale Bandbreite eines einzelnen Trägers beträgt 20 MHz. Im Release 12 erweitert das 3GPP die Bündelung auf bis zu drei Träger in Downlink-Richtung.

Für LTE Release 12 untersucht die 3GPP weiterhin, ob und wie sich dreidimensionales MIMO nutzen lässt. Nach der horizontalen Ebene rückt also die Vertikale in den Blickpunkt, um räumlich separierte Datenströme zu erzeugen. Mittels einer 3D-MIMO-

---

<sup>17</sup> European Commission (2014); Landmark agreement between the European Commission and South Korea on 5G mobile technology, Brüssel, 16 Juni 2014.

<sup>18</sup> Maier (2014); Raffinierte Nachrichtentechnik zeigt Wege zum 5G-Mobilfunk auf.

Technik würde man die von einer Zelle gesendeten Daten auch vertikal splitten können. Eine praktische Anwendung dafür wären Innenstädte mit vielen Hochhäusern, in denen sich viele User auf verschiedene Höhen verteilen. Auch wird untersucht, inwieweit sich die Anzahl der Antennen steigern lässt um die Datenrate zu steigern (Massive MIMO).

Auch das Thema Data Offloading mittels WiFi spielt eine gewichtige Rolle. Im Vordergrund steht dabei das Handover zwischen Mobilfunk und WLAN, dass ganz ohne Interaktion des Users auskommen soll. Hierzu wollen die Mobilfunknetzbetreiber einheitliche Authentifizierungsmethoden festschreiben. Gleichzeitig arbeiten sie daran, das Handover unterbrechungsfrei zu realisieren. Da sich WLAN nicht gut für zeitkritische Anwendungen eignet, geht der Trend dahin, nur einzelne, zeitunkritische Datenströme ins WLAN umzuleiten. Sprachverbindungen würden nach Lage der Dinge grundsätzlich weiterhin die Mobilfunknetze abwickeln.

## 2.7 Sprachverbindungen über LTE / Voice over LTE (VoLTE)

VoLTE bezeichnet die Abwicklung von Sprachverkehr im LTE-Netz. VoLTE basiert auf dem IP-Protokoll und ermöglicht damit die vollständige Integration aller Dienste auf IP-Basis. Derzeit bieten Mobilfunknetzbetreiber über LTE in der Regel Datendienste an, die die verbesserte LTE Bandbreite verwenden, während Sprachdienste zum überwiegenden Teil noch über UMTS bzw. GSM abgewickelt werden.

Zur schrittweisen Einführung von VoLTE wurden verschiedene Verfahren entwickelt und standardisiert, von denen

- CSFB (Circuit Switched Fallback) und
- VoLTE in Verbindung mit IP Multimedia Subsystem (IMS)

die wichtigsten sind.

CSFB wird eingesetzt, wenn ein Nutzer mit seinem Endgerät in einer LTE-Zelle eingeloggt ist, jedoch das Endgerät und/oder das Netz VoLTE nicht unterstützen. Wenn das Endgerät eine abgehende oder ankommende Sprachverbindung aufbauen will, wird vom Netz die LTE-Verbindung automatisch auf eine UMTS- oder GSM- Verbindung umgeschaltet. CSFB ist derzeit die von den meisten Netzbetreibern implementierte Version für VoLTE.

VoLTE über IMS gestattet VoLTE-fähigen Endgeräten VoLTE Sprachdienste und Dienste aus der Rich Communication Suite (RCS6) in Anspruch zu nehmen. Dies ist die zukünftige Architektur, die von den meisten Netzbetreibern langfristig angestrebt wird.

Der Einsatz der CSFB – Technologie bringt einige Nachteile mit sich. So verzögern sich die Anruf-Aufbauzeiten im Vergleich zu normalen GSM-Verbindungen um rund eine Sekunde. Durch den vorübergehenden Downgrade von LTE auf UMTS während des Telefongesprächs werden Datenverbindungen erheblich langsamer. Sie werden jedoch nicht

komplett abgebrochen sondern nur mit gedrosselter UMTS-Geschwindigkeit fortgeführt. Nach dem Telefonat wechselt das LTE-fähige Endgerät automatisch wieder ins LTE-Netz und der Datendienst wird wieder mit der normalen LTE-Geschwindigkeit fortgeführt. Gerade bei der Einführung von LTE-fähigen Endgeräten wurde auch von vermehrten Systemabstürzen der Geräte berichtet, die auf den Wechsel zwischen LTE und 3G/2G zurück geführt wurden.

Vorteile von VoLTE sind erstens, dass der Stromverbrauch sinkt, da die Smartphones bei einem Anruf nicht mehr auf eine andere Netztechnologie wechseln müssen. Zweitens wird die Gesprächsqualität merklich verbessert, denn bei VoLTE ist HD-Voice<sup>19</sup> standardmäßig aktiviert, sodass dem Nutzer ein deutlich breiteres Frequenzspektrum für Sprache zur Verfügung steht. Die Folge hiervon ist, dass man seinen Gesprächspartner klarer versteht, da Störgeräusche effektiver minimiert werden. Drittens erfordert VoLTE im Vergleich zu UMTS und GSM deutlich minimierte Rufaufbauzeiten<sup>20</sup>, wenn sich die Endgeräte beider Gesprächspartner im LTE-Netz befinden.

Schon im September 2013 haben sowohl die Deutsche Telekom als auch Vodafone auf der IFA in Berlin VoLTE-Gespräche mit einem Samsung Galaxy S4 LTE+ über das LTE-Netz sowie den Handover von Gesprächen aus dem LTE- ins UMTS-Netz vorgeführt. Angekündigt wurde dabei ein kommerzieller Launch in den folgenden Monaten. Auch der Mobilfunkbetreiber Telefónica hat Ende 2013 mitgeteilt, dass das Unternehmen den VoLTE-Handover in seinem Mobilfunknetz beherrsche.

Gleichwohl ist bisher der VoLTE-Start in Deutschland nicht abzusehen. Gründe hierfür sind zum einen, dass bisher keine geeigneten Endgeräte zur Verfügung stehen. Nach Angaben von Unternehmensvertretern liegt das an einer fehlenden Standardisierung und bisher nicht vorliegenden Zertifizierungsprogrammen.

Zum anderen wird in Branchenkreisen jedoch auch die Vermutung geäußert, dass die Mobilfunkbetreiber die Einführung von VoLTE verzögern, da das bisherige Circuit Switched Fallback (CSFB) für Handy-Telefonate gut funktioniert und sie trotz der ausgereifteren Technologie keinen kommerziellen Druck verspüren, VoLTE für ihre Endkunden in der nächsten Zeit einzuführen. Die vergleichsweise noch wenigen Nutzer von LTE-Diensten gäben sich bislang damit zufrieden, nur Daten über die Highspeed-Netze zu übertragen und Telefonate wie gehabt über UMTS oder GSM zu führen. So ist in Deutschland mit dem Start von VoLTE wohl frühestens in 2015 zu rechnen.

Netzbetreiber in anderen Ländern sind allerdings schon einen Schritt weiter als die deutschen Mobilfunkanbieter: Weltweit haben bisher acht Netzbetreiber den kommerziellen Start von VoLTE durchgeführt. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Netzbetreiber, die bisher VoLTE kommerziell anbieten.

---

<sup>19</sup> Bei HD Voice handelt es sich technisch um den Standard "Adaptive Multirate Codec / Wide-Band" (AMR-WB). Er erhöht die für das Gespräch verfügbare Bandbreite deutlich (Erweiterung des Frequenzumfangs von ca. 3,4 kHz auf etwa 6,4 kHz beziehungsweise 7 kHz), so dass pro Sekunde mehr Informationen übertragen werden. Daneben wird die Datenrate variabel an die verfügbare Kanalqualität angepasst und störende Umgebungsgeräusche werden unterdrückt.

<sup>20</sup> Die Rufaufbauzeit soll bei VoLTE bei unter 2 Sekunden liegen.

Tabelle 4: Netzbetreiber, die VoLTE kommerziell anbieten (Stand: Anfang 2014)

Country	Operator	VoLTE status
Hong Kong	HKT-PCCW	Launched
Hong Kong	3 HK	Launched
Singapore	SingTel	Launched
South Korea	KT	Launched
South Korea	LG U+	Launched
South Korea	SK Telecom	Launched
USA	AT&T Mobility	Launched
USA	T-Mobile US	Launched

Quelle: Hadden, Alan (2014); The Future Development of Spectrum for Telecommunications in Asia

Die Tabelle zeigt, dass zu den kommerziellen Anbietern in den USA neben AT&T Mobility auch T-Mobile gehört. Außer diesen Netzbetreibern sind nur noch Netzbetreiber aus Hongkong, Singapur und Süd-Korea mit einem VoLTE-Angebot im Markt.

## 2.8 Brutto-Datenraten vs. Netto-Datenraten

Bei der Betrachtung der Übertragungsgeschwindigkeiten bei LTE ist zwischen drei Kategorien zu unterscheiden:<sup>21</sup>

- die technologisch maximal mögliche Übertragungsgeschwindigkeit;
- die – für den Nutzer viel bedeutsamer – vom Netzbetreiber vermarktete Geschwindigkeit (Brutto-Datenrate), sowie
- die letztlich wirklich nutzbare Geschwindigkeit (Netto-Datenrate).

Die Übertragungsgeschwindigkeit von LTE ist zum einen von technischen Parametern wie Frequenzband, Kanalbreite, verwendete Antennentechnik und Kodierung abhängig. Zum anderen gibt es in der Praxis eine ganze Reihe von weiteren Faktoren, die die theoretischen Werte beeinflussen, so dass beim Nutzer am Ende deutlich geringere Datenraten erreicht werden. Vier Einflüsse sind dabei maßgeblich für die Netto-Datenraten: (1) „Shared Medium“, (2) Entfernung zur Basisstation, (3) Mobilitätszustand des Nutzers und (4) Abschirmung.

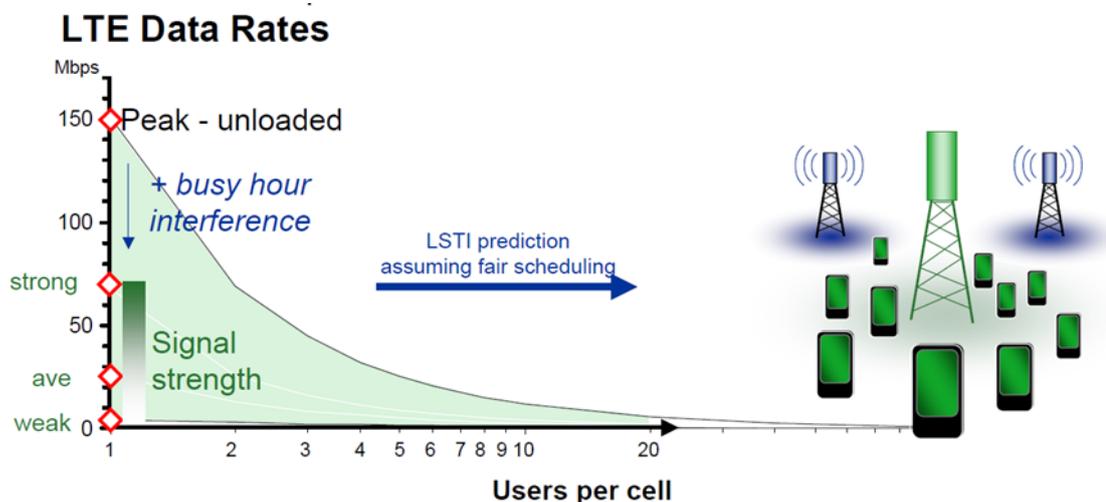
<sup>21</sup> Die nachfolgende Unterscheidung gilt nicht nur für LTE sondern generell für alle Mobilfunkstandards. Büllingen et al. weisen z.B. schon im Jahre 2006 darauf hin, dass die in einem ausgelasteten Netz verfügbare Summendatenrate sich um Faktoren von der theoretisch verfügbaren unterscheiden kann. Die Autoren berichten u.a., dass die Mitte des letzten Jahrzehnts eingesetzten UMTS-FDD-Systeme theoretische Datendurchsätze von bis zu 5,616 Mbit/s je Zelle möglich machten (Annahme: keine Kanalcodierung, Spreizfaktor 4, 3 parallele Spreizcodes). Bei einer Frequenzbandbreite von 5 MHz würde dies einer spektralen Effizienz von 1,1232 bit/s/Hz entsprechen. Sie führen jedoch weiter aus, dass eingehende theoretische Untersuchungen nur eine mittlere spektrale Effizienz von höchstens 0,3 bit/s/Hz in voll ausgelasteten Netzen ergeben hätten. Dies würde einer Summendatenrate von 1,5 Mbit/s entsprechen, die auf sämtliche Nutzer aufzuteilen ist. Vgl. Büllingen et al. (2006, S. 15 f.).

### „Shared Medium“

LTE ist, wie alle anderen in Abschnitt 2.1 genannten Mobilfunktechnologien, ein „Shared Medium“, d.h. die in einer Funkzelle verfügbare Bandbreite müssen sich die Nutzer in dieser Funkzelle teilen. Daraus resultiert, je mehr aktive Nutzer in einer Zelle sind, desto geringer ist die für den Einzelnen zur Verfügung stehende Bandbreite.

In den 800-Megahertz-Netzen deckt eine Funkzelle einen Radius von rund zehn Kilometern ab, während eine Funkzelle im 1800 MHz-Bereich etwa fünf Kilometer erreicht und eine Funkzelle im 2600 MHz-Bereich etwa einen Kilometer. Je 5 MHz Frequenz-Bandbreite kann LTE in einer Zelle bis zu 200 Nutzer verwalten, bei LTE-A liegt die Zahl etwa dreimal so hoch. Bei LTE können so in einer Funkzelle mit einer Frequenzbandbreite von 10 MHz bis zu 400 Nutzer verwaltet werden. Bei einer Vollauslastung würden dann trotz 150 Mbit/s Bandbreite für den einzelnen Nutzer nur etwa 0,4 Mbit/s übrigbleiben. Die starke Abhängigkeit der verfügbaren Bandbreite in einer LTE-Zelle von der Zahl der Nutzer ist in der folgenden Abbildung noch einmal grafisch visualisiert.

Abbildung 7: Verfügbare Bandbreite in Abhängigkeit von der Zahl der Nutzer in einer LTE-Zelle

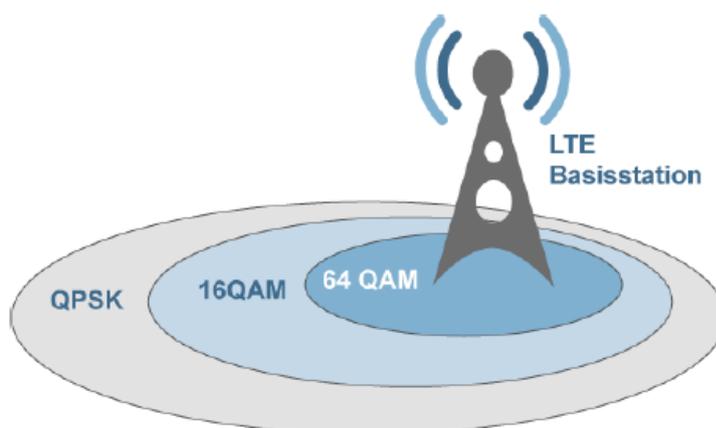


### Entfernung zur Basisstation

Ein zweiter Punkt, der die tatsächlich verfügbare Datenrate beeinflusst, ist die Distanz des Empfängers zur Basisstation. Grundsätzlich gilt, je größer die Distanz, desto geringer die Datenrate. Die theoretisch höchsten Datenraten werden nur in direkter Nähe zur Basisstation erreicht.

Ein Grund dafür ist, dass bei LTE komplexe Modulationsverfahren zum Einsatz kommen. Die höherwertigen Modulationen sind empfindlicher gegenüber Kanalstörungen. Dies bedeutet, dass für Nutzer, die sich relativ nahe an der Basisstation befinden, ein vergleichsweise unrobustes Signalprofil verwendet werden kann, das dafür eine höhere Nutzdatenrate ermöglicht (z.B. 64-QAM mit wenig Fehlerschutz). Bei Nutzern, die weit von der Basisstation entfernt sind, wird hingegen ein robustes Profil mit entsprechend niedrigerer Nutzdatenrate verwendet (z.B. QPSK mit viel Fehlerschutz). Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Abbildung noch einmal grafisch veranschaulicht.

Abbildung 8: Eingesetzte Modulationsverfahren bei LTE in Abhängigkeit von der Entfernung zur Basisstation (stilisierte Darstellung)

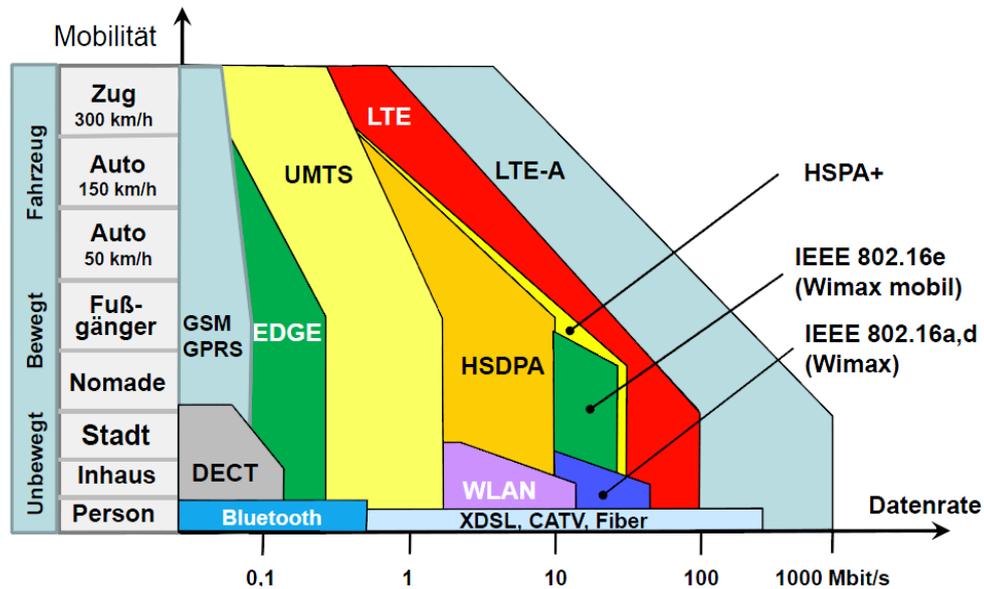


Quelle: Gutt, E. (2010)

### *Mobilität des Nutzers*

Die dritte beeinflussende Komponente ist die Mobilität des Nutzers. Vereinfacht gesagt gilt: Je schneller sich der Nutzer fortbewegt, beispielsweise mit dem Auto oder dem Zug, desto geringer wird die Datenübertragungsrate. Der Zusammenhang von Mobilitätszustand und Datenrate ist in der nachfolgenden Abbildung für die relevanten Mobilfunktechnologien wiedergegeben.

Abbildung 9: Zusammenhang von Mobilitätszustand und Datenrate für unterschiedliche Mobilfunktechnologien



Quelle: Wolff, I. (2011); LTE Netztopologien und Zukunftsentwicklungen, Vortrag BMWi-Workshop, 25.05.2011, Berlin

Die Abbildung zeigt, dass die Datenrate sinkt sobald sich der LTE- Nutzer fortbewegt. Bewegt er sich z.B. mit dem Auto in der Stadt (mit etwa 50 km/h) sinkt sie von 100 Mbit/s im unbewegten Zustand auf Werte um die 10 Mbit/s. Sitzt der Nutzer dagegen im ICE, der sich mit annähernder Höchstgeschwindigkeit (300 km/h) bewegt, sinkt die Datenrate auf nur noch 1 Mbit/s. Für LTE-A Nutzer gilt diese Degression entsprechend: Gegenüber der verfügbaren Bandbreite im Ruhezustand von 1 Gbit/s verringert sich die Bandbreite bei einer Fahrt mit dem Auto in der Stadt (mit etwa 50 km/h) auf Werte zwischen 50 und 100 Mbit/s und bei einer Fahrt mit dem ICE mit 300 km/h auf Werte zwischen 1 und 10 Mbit/s

### Abschirmung

Viertens beeinflusst die Abschirmung z.B. durch Wände und Fenster bzw. durch Gebäude sowie topografische Hindernisse die verfügbare Datenrate. Generell gilt, dass die Verbindung schwächer wird, je stärker der Nutzer abgeschirmt ist. Optimal für hohe Datenraten ist folglich eine Sichtverbindung zur Basisstation.

### *Erwartungen der Netzbetreiber*

Für die Praxis rechnet die Telekom Deutschland damit, dass sich in einer Funkzelle zwischen 200 und 300 Leute befinden.<sup>22</sup> Für den einzelnen Nutzer sollen sich so Bandbreiten zwischen 10 und 14 Mbit/s realisieren lassen.

Vodafone will seinen Kunden im ländlichen Raum Bandbreiten zwischen 5 und 6 Mbit/s in der Hauptverkehrszeit garantieren, unter der Annahme, dass sich maximal 100 Nutzer zu dieser Zeit in der Funkzelle befinden.<sup>23</sup>

Messungen in Schweden zeigen, dass mit LTE 800 und einer Kanalbandbreite von 10 MHz durchschnittliche Datenraten von 5 bis 20 Mbit/s realisiert werden. Für Haushalte am Rand des Versorgungsgebiets einer Funkzelle sind Werte von 3 bis 5 Mbit/s realistisch.<sup>24</sup>

---

<sup>22</sup> Jacobfeuerborn, B. (2012); Geschäftsführer Technik Telekom Deutschland GmbH in: CW testet LTE in der Stadt; 23.05.2012, (<http://www.computerwoche.de/a/cw-testet-lte-in-der-stadt,1234979>)

<sup>23</sup> Quelle: European Commission (2013); The socio-economic impact of broadband, S. 82

<sup>24</sup> Vgl. BITKOM (2012b), Stellungnahme Technische Potentiale LTE Mobilfunk und VDSL Vectoring.

### 3 LTE-Frequenzauktion und Marktpositionierung der LTE-Anbieter in Deutschland

#### 3.1 Frequenzvergabe, regulatorische Vorgaben und ihre Erfüllung

##### 3.1.1 Ergebnisse der LTE Auktion

Der Startschuss des LTE-Netzausbaus erfolgte im Frühjahr 2010 mit der Versteigerung freier Frequenzen in den Bereichen 800 MHz, 1,8 GHz, 2,0 GHz und 2,6 GHz. Die gesamte Frequenzbreite betrug 390 MHz und damit doppelt so viel wie beider UMTS-Lizenzvergabe.<sup>25</sup>

Die Auktion hat 224 Runden und 27 Auktionstagen gedauert. Am Ende liegt die Gesamtsumme für die 41 Frequenzblöcke bei 4,4 Milliarden Euro. Vodafone hat für insgesamt 12 Blöcke 1,423 Milliarden Euro gezahlt, Telekom 1,3 Milliarden für 10 Blöcke. O2 Telefónica hat 11 Blöcke ersteigert und 1,379 Milliarden Euro gezahlt. E-Plus hat aufgrund des Verzichtes auf die teuren LTE-Lizenzen im 800 MHz Bereich nur 283,645 Millionen Euro gezahlt. Ersteigert hat das Unternehmen 8 Blöcke.<sup>26</sup>

Wie die folgende Tabelle zeigt, verfügt Vodafone nach der Auktion über Frequenzen im 800er, 2100er und 2600er MHz-Bereich und über ein Frequenzspektrum von insgesamt 94,9 MHz. In den selben Frequenzbereichen ist O2 Telefónica aktiv und verfügt über ein Frequenzspektrum von 99,1 MHz. Die Deutsche Telekom kommt auf eine Frequenzspektrum von insgesamt 95 MHz in den Bereichen 800 MHz, 1800 MHz und 2600 MHz. E-Plus wiederum kam nur in den hohen Frequenzbereichen zum Zuge und verfügt mit 69,8 MHz über das kleinste Frequenzspektrum.

Tabelle 5: Verteilung der Frequenzbänder nach Netzbetreiber in Deutschland

LTE Bänder – Bereich um ...	800 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2600 MHz	Frequenzspektrum insgesamt
Vodafone	✓	x	✓	✓	94,9 MHz
Dt. Telekom	✓	✓	x	✓	95,0 MHz
O2 Telefónica	✓	x	✓	✓	99,1 MHz
E-Plus	x	✓	✓	✓	69,8 MHz

<sup>25</sup> Vgl. BNetzA (2010). Präsentation zum Ende der Frequenzversteigerung.

<sup>26</sup> Eine detaillierte Zuordnung der einzelnen Frequenzblöcke zeigt eine Abbildung der BNetzA die unter dem folgenden Link zu finden ist:  
[http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2010/100830\\_VerlosungErsteigerteFrequBloecke.html](http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2010/100830_VerlosungErsteigerteFrequBloecke.html)

### 3.1.2 LTE-Netzabdeckung der Weißen Flecken

Im Rahmen der Breitbandinitiative der Bundesregierung wurden die Zuteilungen der 800-MHz-Frequenzen an eine stufenweise Aus- und Aufbauverpflichtung geknüpft. Die Mobilfunkunternehmen Deutsche Telekom, Vodafone, O2 und E-Plus haben sich verpflichtet, zuerst in jedem Bundesland 90% der mit Breitband unterversorgten Gebiete zu schließen, bevor sie die 800 MHz-Frequenzen aus der Digitalen Dividende frei nutzen können. Der Ausbau musste dabei nicht zwangsläufig mit LTE erfolgen. Die Auflage galt als vollständig erfüllt, wenn ein Anbieter eine Gemeinde mit einer gleichwertigen oder höherwertigen Breitbandlösung versorgt.<sup>27</sup>

Die Abdeckung der Weißen Flecken mit LTE erfolgte in vier Prioritätsstufen:

- Stufe 1. Gemeinde mit einer Einwohnerzahl von bis zu 5.000
- Stufe 2. Städte und Gemeinden mit bis zu 20.000 Einwohnern
- Stufe 3. Städte mit bis zu 50.000 Einwohnern
- Stufe 4. Alle Orte mit über 50.000 Einwohnern

Wenn in einer Prioritätsstufe ein Ausbaugrad von 90% erreicht wurde, durften die Betreiber zur nächsten Stufe übergehen.<sup>28</sup> Damit wurde aus regulierungsbehördlicher Sicht ein Rahmen vorgegeben, um den Ausbau von LTE-Netzen voranzutreiben.

Die Netzbetreiber haben nach der Versteigerung schnell mit dem LTE-Ausbau begonnen, sodass dieser zügig voran schritt. Tabelle 6 zeigt die jeweilige Erfüllung der Versorgungsaufgaben der LTE-Abdeckung der Weißen Flecken nach den einzelnen Bundesländern.

---

<sup>27</sup> Vgl. <http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2011/110928Versorgungsverpflichtung.html>

<sup>28</sup> Ebenda.

Tabelle 6: Erfüllung der Versorgungsverpflichtungen des LTE-Ausbau nach Bundesländer

Bundesländer (ohne Stadtstaaten)	LTE-Abdeckung der Weißen Flecken
Nordrhein-Westfalen	August 2011
Saarland	August 2011
Baden-Württemberg	August 2011
Bayern	August 2011
Hessen	August 2011
Rheinland-Pfalz	August 2011
Schleswig-Holstein	Dezember 2011
Niedersachsen	April 2012
Sachsen	Mai 2012
Sachsen-Anhalt	Juni 2012
Thüringen	Juni 2012
Mecklenburg-Vorpommern	Oktober 2012
Brandenburg	November 2012

Quelle: [www.4g.de](http://www.4g.de)

Allein im Jahr 2011 wurden die Versorgungsverpflichtungen schon in sieben alten Bundesländern erfüllt. Brandenburg war dann im November 2012 das letzte Bundesland in dem die Aufbauverpflichtungen erfüllt wurden.

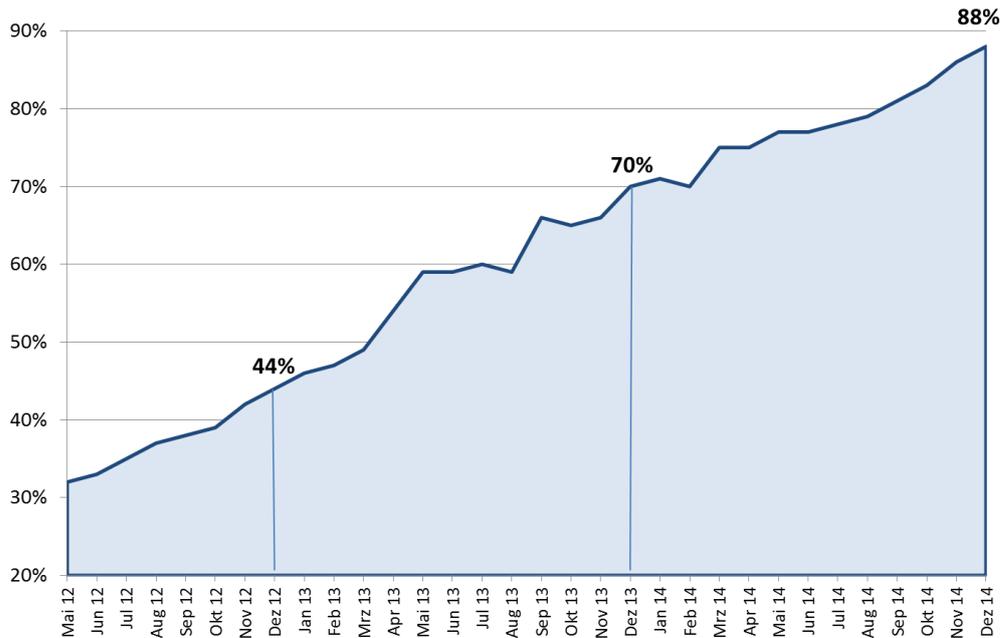
### 3.1.3 Entwicklung der LTE-Netzabdeckung

Mit der Umsetzung der bundesweiten Versorgungsverpflichtungen mit 800-MHz Ende 2012 war ein wichtiger Meilenstein der LTE-Versorgung in ländlichen Gebieten erreicht. Die Netzbetreiber konnten nun dazu übergehen, die Städte mit 800-MHz wie auch die einzelnen Länder flächendeckend mit LTE zu versorgen.

Seitdem ist eine ständig wachsende LTE-Abdeckung sowohl auf dem Land als auch in den Städten Deutschlands zu verzeichnen. Nach den Angaben des Infoportals 4G.de lag die LTE-Netzabdeckung (Indoor) in Deutschland im Dezember 2014 bei 88%. Die folgende Abbildung zeigt, dass die Netzbetreiber die Netzabdeckung innerhalb von nicht einmal drei Jahren nahezu verdreifacht haben und LTE in naher Zukunft fast flächendeckend zur Verfügung steht.

Bei der Betrachtung der Outdoor-Verfügbarkeit liegt die Netzabdeckung noch einmal deutlich höher. So konnten schon Mitte 2014 etwa 34,5 Mio. Haushalte LTE nutzen, was einer Outdoor-Coverage von 86,5% entspricht.<sup>29</sup>

Abbildung 10: Entwicklung der LTE-Netzabdeckung, Mai 2012 – Mai 2014



Quelle: [www.4g.de](http://www.4g.de). Dargestellt ist die Indoor- bzw. Mindestverfügbarkeit. Daten basieren auf 619.283 Verfügbarkeitsabfragen am 01.07.2014 zu Standorten in ganz Deutschland. Schwankungen in den Daten entstehen durch die Veränderung der monatlichen Stichproben.

Mit Blick auf die einzelnen Bundesländer zeigen sich bei der LTE-Netzabdeckung jedoch deutlich regionale Unterschiede. Während in den Stadt-Staaten Berlin, Bremen und Hamburg die LTE-Verfügbarkeit erwartungsgemäß am höchsten ist, hier erreicht sie ein Niveau von fast 100%, liegt sie in den Flächenländern zum Teil deutlich darunter. So ist die LTE-Verfügbarkeit im Saarland, Bad Württemberg, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern am niedrigsten und liegt teilweise deutlich unter 80%. Dagegen erreichen die Ländern Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen und auch Sachsen-Anhalt eine LTE-Versorgung von fast 90%.

<sup>29</sup> TÜV Rheinland (2014); Bericht zum Breitbandatlas Mitte 2014 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Stand Mitte 2014.

Tabelle 7: LTE-Verfügbarkeit nach Bundesländern (Mitte 2014)

Bundesland	LTE-Versorgung	Bundesland	LTE-Versorgung
Baden-Württemberg	74,6	Niedersachsen	87,7
Bayern	87,4	Nordrhein-Westfalen	89,6
Berlin	99,9	Rheinland-Pfalz	80,6
Brandenburg	78,7	Saarland	72,1
Bremen	99,6	Sachsen	86,8
Hamburg	99,7	Sachsen-Anhalt	88,6
Hessen	87,1	Schleswig-Holstein	91,6
Mecklenburg-Vorpommern	78,5	Thüringen	87,3

Quelle: TÜV Rheinland (2014)

## 3.2 Strategische Ausrichtung der Mobilfunknetzbetreiber mit Blick auf Netzausbau und Produktangebot

### 3.2.1 Telekom Deutschland

Die Telekom nutzt für das eigene LTE Netz derzeit Frequenzen im 800 und 1.800 MHz Bereich. Dabei werden über 1.800 MHz vor allem dicht besiedelte Gebiete versorgt, während der 800 MHz Bereich aufgrund einer deutlich höheren Reichweite vor allem in schlechter erschlossenen Gebieten zum Einsatz kommt.

Die Telekom nahm am 30.08.2010 ihre erste LTE Basisstation in Kyritz (Brandenburg) in Betrieb. Entsprechend den Vorgaben der BNetzA begann die Telekom in ländlichen Regionen damit, die technischen Bedingungen für einen Auftritt als LTE-Anbieter zu schaffen. Schließlich sollte die Telekom dazu beitragen, dass zunächst mit schnellem Internet unterversorgte Regionen versorgt wurden.

Nachdem die Telekom im Jahr 2012 die Ausbauvorgaben der BNetzA erfüllt hatte, begann sie verstärkt mit der Verbreitung des Netzes innerhalb von Ballungsgebieten. Im Juli 2012 waren bereits 50 Städte an das Telekom LTE Netz angeschlossen, Ende 2012 waren es dann 100.<sup>30</sup> Im September 2013 hat die Telekom damit begonnen, das bereits vorhandene Netz für höhere Geschwindigkeiten aufzurüsten, wodurch die Maximalgeschwindigkeit von Telekom LTE-Cat4 inzwischen 150 Mbit/s statt 100 Mbit/s beträgt. Vor allem soll die Erhöhung der Geschwindigkeit für den mobilen Gebrauch des Funkstandards eingesetzt werden und daher sind die 150 Mbit/s-Angebote zuerst in den Ballungsgebieten verfügbar. Laut den Presseberichten versorgte die Telekom im

<sup>30</sup> <http://www.lte-provider.info/telekom-lte.htm>.

Herbst 2013 schon 40% der Haushalte mit LTE-Cat4.<sup>31</sup> Bis 2015 soll das Netz 60% der Haushalte erreichen und in allen Regionen verfügbar sein, in denen LTE im Frequenzband 1.800 MHz ausgebaut ist. Seit Ende November 2014 bieten die Telekom, als erster Mobilfunknetzbetreiber LTE-Advanced bis zu 300 Mbit/s im Download an. Das Angebot ist zunächst in 17 Städten verfügbar (siehe Kap. 2.5).

Die aktuellen Zahlen der LTE-Netzabdeckung (Ende September 2014) der Telekom zeigen, dass der Netzbetreiber die 70 Prozent - Marke deutlich überschritten hat und LTE mittlerweile für 79% der Bevölkerung verfügbar ist.<sup>32</sup> Der LTE-Netzausbau bei der Telekom geht weiter, mit dem Ziel bis 2016 eine Abdeckung von 85% zu erreichen.<sup>33</sup> Die mit LTE-Technik auszurüstenden Basisstationen sind hierbei bei der Telekom zu über 90% mit Glasfasertechnologie ans Kernnetz angeschlossen (siehe Kap 4.3).

Seit 2012 bietet die Telekom LTE-Anschlüsse für den mobilen Gebrauch. Wie Vodafone hatte auch die Telekom zunächst nur einen reinen Datentarif für die mobile Nutzung im Angebot. Später konnte LTE als Option zu den regulären Handytarifen hinzugebucht werden. Infolge der Tarifumstellung im Mai 2013 wurde LTE dann schließlich als Bestandteil in die übliche Tarifstruktur eingefügt.<sup>34</sup> In den aktuellen MagentaMobil-Tarifen, bei Preisen zwischen 29,99€ und 79,99€ für Privatkunden, ist die LTE-Nutzung in allen Tarifvarianten enthalten. Dies gilt ebenso für die reinen Datentarife.

In ihren Mobilfunk-Tarifen bietet die Telekom Übertragungsbroadbandbreiten von 16 bis zu 300 Mbit/s an. Die damit verbundenen monatlichen Übertragungsvolumen liegen zwischen 500MB und 5 GByte. Mit Blick auf „LTE-zu Hause“ bietet die Telekom drei unterschiedliche Tarife an, die maximal Bandbreite hier bei 100 Mbit/s mit einem Inklusiv-Datenvolumen von 30 GByte. Entgegen vielfältigen Tarifanpassungen bei den reinen Mobilfunktarifen hat es bei den „LTE- Zu Hause“ Tarifen in den vergangenen zwei Jahren keine Veränderungen gegeben.

Mit Blick auf die Einführung von VoLTE nimmt die Telekom eine eher abwartende Haltung ein. Die heute eingesetzte CSFB Technologie funktioniert problemlos und von Seiten der Endkunden verspürt die Telekom gegenwärtig keine Druck VoLTE einzuführen.

Auch das Thema Data Offloading spielt bei der Telekom bisher keine gewichtige Rolle. Die Telekom betreibt in Deutschland etwa 40.000 WLAN-Access-Points. Unter der Marke „HotSpot“ vermarktet die Deutsche Telekom Netzzugänge insbesondere an Flughäfen, Bahnhöfen, Hotels, Messen und in der Gastronomie. Daneben gibt es Kooperationsvereinbarungen mit großen Firmenkunden.

---

<sup>31</sup> Siehe <http://www.zdnet.de/88176873/lte-status-deutscher-mobilfunkprovider/> für die Auskunft des Pressesprechers der Deutschen Telekom.

<sup>32</sup> Deutsche Telekom AG (2014); KONZERN-ZWISCHENBERICHT 1. JANUAR BIS 30. SEPTEMBER 2014.

<sup>33</sup> <http://www.smartweb.de/telekom-lte-verfuegbarkeit>

<sup>34</sup> <http://www.lte-provider.info/telekom-lte.htm>

Weiterhin kooperiert die Deutsche Telekom seit 2013 mit der kommerziellen WLAN-Community FON. Unter der Marke „WLAN TO GO“ besteht für die Festnetzkunden mit IP-basiertem Breitbandanschluss (NGA) und einem bestimmten Router-Modell die Möglichkeit, sich durch einen WLAN-Anschluss an der Community zu beteiligen. Zum Jahresende 2013 nahmen rund 13.000 Telekomkunden dieses Angebot wahr, um damit im Gegenzug kostenlosen Zugang zu allen HotSpots der Deutschen Telekom sowie von FON im In- und Ausland zu erhalten. Das zum Start der WLAN TO GO-Community kommunizierte Ziel von 2,5 Millionen Teilnehmern bis zum Jahr 2016 wird angesichts des bisher eher verhaltenen Wachstumstempos als eher ambitioniert eingeschätzt.<sup>35</sup>

Technologischer Vorreiter ist die Telekom mit ihrem neuen Anschluss-Produkt „MagentaZuhause Hybrid“. Dieser Anschluss bündelt über den Router „Speedport Hybrid“ die Bandbreiten aus Festnetz und LTE-Mobilfunk und bietet dadurch Übertragungsbreiten bis zu 200 Mbit/s. Während der Internetnutzung zuhause wird der Datenverkehr in erster Priorität über die DSL bzw. VDSL Leitung transportiert. Bei Spitzenlasten schaltet der Router im Down- und Upload bei Bedarf automatisch das schnelle LTE-Mobilfunknetz dazu. Damit können auch Kunden dann im optimalen Fall die verfügbare Bandbreite verdoppeln.

Die neuen Hybrid-Anschlüsse sind seit Herbst 2014 in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen, Bremen, Hamburg, Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin verfügbar. Ab Frühjahr 2015 soll die Nutzung von Hybrid-Anschlüssen bundesweit möglich sein.

### 3.2.2 Vodafone

Vodafone realisiert seine LTE-Verbindungen sowohl über den 800 MHz als auch den 2.600 MHz Bereich ab. Damit kann auf unterschiedliche Rahmenbedingungen flexibel reagiert werden: Während die 800 MHz Frequenzen aufgrund einer großen Reichweite vor allem im ländlichen Raum Anwendung finden, werden die einen Umkreis von ca. 2 Kilometer abdeckenden 2.600 MHz Frequenzen vor allem im Ballungsraum eingesetzt.

Nach der Inbetriebnahme seines LTE-Netzes am 23.09.2010 in Heiligendamm (Mecklenburg-Vorpommern) beschleunigte Vodafone seinen Netzausbau in kurzer Zeit und erfüllte Anfang 2012 bereits zum LTE-Ausbau die gestellten Auflagen. Die rasante Entwicklung des Netzausbaus von Vodafone setzte danach mit dem nächsten Meilenstein im April 2013 fort: Alle 81 Großstädte waren mit Vodafone LTE versorgt, aber auch alle Städte mit mehr als 50.000 Einwohnern waren ans LTE Highspeed-Netz angebunden, so dass bereits in 160 Städten mit LTE im Internet gesurft werden konnte. Insgesamt war Vodafone LTE für 50 Mio. Einwohner verfügbar.<sup>36</sup> Im September 2013 setzte Vodafone seinem weiteren Netzausbau durch die Aufrüstung auf LTE Cat4 fort.

<sup>35</sup> Detaillierte Informationen zum Thema WLAN in: Stamm, P., Büllingen, F. (2014); Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 391, Oktober 2014.

<sup>36</sup> <http://www.smartweb.de/vodafone-lte-verfuegbarkeit>

Aufgrund eines besonders starken Fokusses auf die Umrüstung der Mobilfunkmasten auf die neue LTE Technik hat Vodafone aktuell deutschlandweit eine LTE Verfügbarkeit in Höhe von 70% erreicht.<sup>37</sup> Ziel des Unternehmens ist es in 2015 LTE flächendeckend anbieten zu können bzw. 90% der Bevölkerung zu erreichen. Um diese ambitionierten LTE-Ziele zu erreichen, hat Vodafone in 2014 angekündigt in den nächsten zwei Jahren 4 Mrd. € in den Netzausbau zu investieren. Mehr als dreiviertel dieser Investitionen fließen dabei direkt in die Netzmodernisierung und den LTE-Ausbau. Im Focus steht dabei u.a. die Umrüstung der Basisstationstechnik auf SRAN-Technologie (siehe Kapitel 4.2). Fast alle Basisstationen sind heute bei Vodafone über Richtfunk angeschlossen. Vodafone sieht jedoch die Notwendigkeit mittelfristig eine Glasfaseranbindung unumgänglich ist (siehe Kapitel 4.3).

Vodafone war im Oktober 2010 der erste LTE Anbieter, der konkrete LTE Tarife im Markt platziert hat. Mittlerweile ist LTE in die normale Tarifstruktur von Vodafone Mobilfunk integriert. So ist in den aktuellen Red-Tarifen die LTE-Nutzung kostenlos möglich. Diese Tarife bieten je nach Ausprägung Übertragungsvolumen zwischen 1,5 und 20 GByte und stellen eine maximale Bandbreite von 100 Mbit/s zur Verfügung. Die monatlichen Kosten bewegen sich dabei zwischen 39,99 € und 104,99 €, jeweils in Abhängigkeit vom Übertragungsvolumen und dem mitgekauften Mobilfunkendgerät.

Wie auch die Telekom bietet Vodafone drei Tarife zur „LTE zu Hause“ Nutzung an. Die maximale Bandbreite liegt hier bei 50 Mbit/s mit einem Inklusiv-Datenvolumen von 30 GByte. Entgegen vielfältigen Tarifanpassungen bei den reinen Mobilfunktarifen hat es bei den „LTE- Zu Hause“ Tarifen in den vergangenen zwei Jahren keine Veränderungen gegeben.

Vodafone ist in Deutschland der einzige Mobilfunknetzbetreiber, bei dem auch Pre-Paid-Kunden LTE nutzen können. Die „CallYa Smartphone“-Tarife bieten hierbei jedoch nur eine Übertragungsbandbreite von maximal 21,6 Mbit/s.

Was die technologische Weiterentwicklung der LTE Netze angeht, so strebt Vodafone insbesondere bei VoLTE und LTE-Advanced eine schnelle Integration in ihre Netz an. Bei VoLTE stehen dabei zwei Aspekte im Vordergrund. Zum einen können durch den Einsatz von VoLTE die Kunden dann auch HD Voice nutzen, was eine deutliche Verbesserung bei der Sprachqualität mit sich bringt. Zum anderen reduziert sich durch VoLTE der Stromverbrauch bei den Endgeräten und der Verbindungsaufbau wird deutlich schneller. LTE-Advanced betreibt Vodafone zur Zeit noch im Testbetrieb und realisiert hierbei maximale Übertragungsbandbreiten von 225 Mbit/s. Vodafone hat hierzu 10 MHz aus dem 800MHz Frequenzbereich und 20 MHz aus dem 2600 MHz Bereich zusammengefasst.

Mit Blick auf Data Offloading denkt Vodafone durchaus über WLAN-Lösungen nach, die die mobilen Netze entlasten könnten. Hier ist die Technik jedoch noch nicht so weit,

---

<sup>37</sup> Ebenda.

dass eine WLAN-Nutzung für den Nutzer ohne Anmeldeprozedur (Eingabe von Login-Daten) möglich ist. Ziel ist es, dass der Nutzer nicht „bemerkt“ ob er einen Dienst per WLAN oder per Mobilfunk-Technologie nutzt, d.h. dass eine Anmeldung an einem WLAN-Hotspot automatisch von statten geht. Weiterhin offen in diesem Kontext sind auch Abrechnungsmodelle für das genutzte Datenvolumen. Etwa die Frage, wird das über WLAN genutzte Datenvolumen auf das mobile incl. Datenvolumen angerechnet oder nicht. Was die technischen Hürden angeht so könnte hier „Hotspot 2.0“ Abhilfe schaffen. Hotspot 2.0 (HS 2.0) ist eine Spezifikation, die von Mitgliedern der Wi-Fi Alliance entwickelt wurde. Ziel ist es, den Aufwand für einen Anwender, wenn er sich sicher mit einem WLAN verbinden und verschiedene Netzwerke nutzen möchte, zu vereinfachen und weitgehend zu automatisieren.<sup>38</sup>

Nach der Übernahme von Kabel Deutschland verfügt Vodafone über eine große Anzahl von WLAN-Hotspots. Denn Kabel Deutschland betreibt WLAN-Hotspots sowohl als Outdoor-Hotspots, Indoor-Hotspots und auch als Homespots. Die sog. Homespots werden als unabhängige WLAN-Netze physikalisch neben den privaten WLANs der Anschlussinhaber in den Routern der Breitbandkunden eingerichtet. Die Zahl der Homespots beläuft sich etwa 350.000.<sup>39</sup> Vodafone könnte die WLANs auch für die Mobilfunkkunden öffnen und auf diesem Wege eine Verkehrsentlastung der städtischen Mobilfunknetze sowie eine - aus Kundensicht - verbesserte Netzperformance mit der Ableitung des mobilen Datenverkehrs über das leistungsfähige Kabelnetz erzielen.

### 3.2.3 Telefónica

Deutlich später als die Telekom und Vodafone hat Telefónica erst am 02. Juli 2012 den Startschuss für seinen LTE-Netzausbau bekannt gegeben. Damit lässt sich auch erklären, warum Telefónica bei der Netzabdeckung deutlich hinter den beiden Wettbewerbern zurück liegt. So erreicht Telefónica Mitte 2014 etwa 50% der Bevölkerung mit seinem LTE-Netz. Ziel von Telefónica ist es bis 2018 eine flächendeckende Coverage (etwa 85%) zu erreichen.

Wie auch bei Vodafone sind im Netz von Telefónica die Basisstationen fast ausschließlich über Richtfunk ans Kernnetz angeschlossen. Jedoch ist auch Telefónica Deutschland darauf bedacht, zukünftig verstärkt Basisstationen per Glasfaser anzubinden und hat hierzu eine Kooperationsvereinbarung mit der Telekom geschlossen (siehe Kap. 4.3).

Telefónica bietet in seinem Netz kein LTE Cat. 4 Unterstützung an, so dass die maximalen Übertragungsbandbreite in den LTE Tarifen bei 50 Mbit/s liegt. Die Datenvolumen bei den Tarifen, in den die LTE-Nutzung inklusive ist, liegen zwischen 1 und 5 GByte. Der Kunde muss hierfür zwischen 29,99 € und 49,99 € zahlen. In den günstigen „O2 Allnet Flat“ war bisher eine LTE-Nutzung nicht möglich. Seit Anfang Februar 2015 hat

<sup>38</sup> von Hoesslin, C. (2014); Hotspot 2.0 bringt neue Umsatzströme, in: Computerwoche vom 12.08.2014

<sup>39</sup> Siehe hierzu: Stamm, P., Büllingen, F. (2014).

Telefónica jedoch nun die LTE-Nutzung für alle Postpaid-Tarife freigeschaltet. Die Vermarktung seines „LTE zu Hause“ – Angebotes hat Telefónica schon Mitte 2014 eingestellt.

LTE-Advanced wie auch VoLTE befinden sich bei Telefónica noch im Testbetrieb. LTE-Advanced realisiert Telefónica dabei genauso wie Vodafone indem es 10 MHz aus dem 800MHz Frequenzbereich und 20 MHz aus dem 2600 MHz Bereich zusammenfasst und so maximale Übertragungsbandbreiten von 225 Mbit/s erreicht. VoLTE hat Telefónica schon in Teilen seines Netzes implementiert und hat es für die interne Nutzung mit Testgeräten freigeschaltet.

### 3.2.4 E-Plus

Anfang März 2014 ging E-Plus als letzter der vier deutschen Netzbetreiber mit dem schnellen Mobilfunkstandard LTE an den Start. E-Plus realisiert LTE im Bereich von 1800 MHz und erreicht eine Flächendeckung von 20%. Nach der Übernahme von E-Plus durch Telefónica ist noch unklar wie und in welcher Form die beiden Mobilfunknetze zusammengeführt werden und was dies mit Blick auf den weiteren LTE-Ausbau bedeutet. Telefónica äußert sich bisher nur insoweit: „Die Zusammenlegung der Netze wird sukzessive vorangetrieben und wir sind gerade in den Planungen, wie wir das umsetzen. Bis dahin steht den Kunden das bisherige Netz ihres Providers unverändert zur Verfügung.“<sup>40</sup>

Mit Blick auf die Tarifierung gibt es bei E-Plus keine gesonderten LTE-Tarife. Vielmehr können alle E-Plus Kunden LTE nutzen, soweit es das Netz zur Verfügung stellt und sie über ein entsprechendes Endgerät verfügen. Dies gilt im Übrigen auch für alle E-Plus Kunden der firmeneigenen MVNOs (Blau.de; Simyo) und zum Teil auch für eigenständige MVNOs (z.B. Aldi Talk). Die maximale Übertragungsbandbreite die E-Plus seinen Kunden zur Verfügung stellt liegt bei 42,1 Mbit/s.

---

<sup>40</sup> <http://www.teltarif.de/o2-e-plus-uebernahme-fragen-marken-netze/news/57404.html?page=2>

## 4 Faktoren für die Dynamik beim LTE-Netzausbau und -Diensteangebot

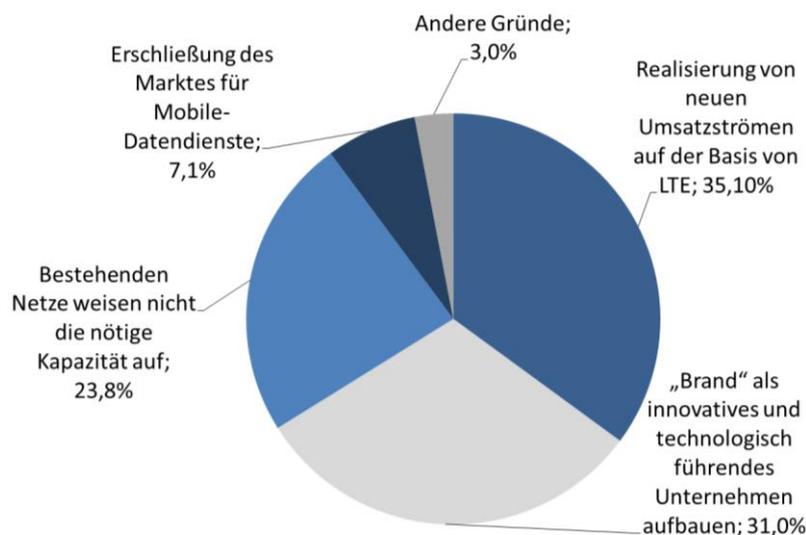
In diesem Abschnitt fokussieren wir auf Faktoren, die uns auf der Anbieterseite im Mobilfunkmarkt wesentlich für den LTE-Netzausbau bzw. die Bereitstellung von LTE-basierten Diensten und Anwendungen erscheinen.

### 4.1 Erschließung neuer Umsatzsegmente und Brand-Building

Die Telekom Deutschland und Vodafone sowie inzwischen auch Telefónica Deutschland haben ihre LTE-Netze deutlich schneller ausgebaut als erwartet. Neben den regulatorischen vorgegebenen Netzausbau-Verpflichtungen (siehe Kapitel 3.1), die mit der Lizenzvergabe verbunden waren, spielen hier natürlich auch unternehmensstrategische Gründe eine wesentliche Rolle.

Das Beratungsunternehmen informa hat Mobilfunkcarrier dazu befragt, was sie zum schnellen Aufbau von LTE-Netzen motiviert. Einen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse zu dieser Frage gibt die nachfolgende Abbildung.

Abbildung 11: Motivation für den Aufbau von LTE-Netzen



Quelle: informa Telecoms & Media (2012); Successful LTE strategies

Die Abbildung zeigt, dass an erster Stelle die Realisierung von neuen Umsatzströmen auf der Basis von LTE genannt wurde. Dies ist vor dem Hintergrund sinkender ARPUs sicher nicht verwunderlich.<sup>41</sup> An zweiter Stelle folgt, dass sich die Unternehmen mit

<sup>41</sup> Im den vergangenen 12 Monaten sind die ARPU bei der Telekom Deutschland und Telefónica um 8% bzw. 5% gesunken. Quelle: Unternehmensreports zum 2. Quartal 2014

einem frühzeitigen LTE-Angebot einen „Brand“ als innovatives und technologisch führendes Unternehmen aufbauen möchten. Erst dann folgt, dass die bestehenden Netze nicht die nötige Kapazität aufweisen um das steigende mobile Datenvolumen zu bewältigen. Nur ein kleiner Teil der befragten Unternehmen gibt an, dass sie LTE als Chance sehen, sich zusätzlich zum bestehenden Dienstangebot auf dem Markt für mobile Datendienste zu etablieren. Folgt man den Ergebnissen dieser Befragung, so dürften die wesentlichen Triebfedern für einen möglichst frühen Netzausbau darin liegen, den Bestandskunden ein leistungsfähiges und innovatives Mobilfunknetz zur Verfügung zu stellen und damit die Kundenbindung zu erhöhen, ARPUs zu steigern und erfolgreich im Neukundengeschäft zu agieren.

Mit Blick auf die Entwicklung der ARPUs durch LTE kommt die Unternehmensberatung Deloitte<sup>42</sup> zu dem Ergebnis, dass spätestens Ende 2014 etwa 10% der Mobilfunk-Serviceumsätze aus LTE-Tarifen generiert werden, von etwa 3-4% der Kundenbasis. Dies impliziert einen signifikant höheren ARPU bei LTE-Kunden als bei 3G-Kunden. Die Gründe hierfür sind einerseits, dass voraussichtlich vor allem die Kunden mit hohen Umsätzen aus 3G-Tarifen zu LTE wechseln, zum anderen haben die LTE-Kunden wegen der höheren Geschwindigkeiten eine höhere Zahlungsbereitschaft.

## 4.2 Kostenaspekte

Mit Blick auf Kostenaspekte sind zwei Dimensionen zu unterscheiden:

- direkte Kosten des Netzbetriebs,
- Investitionskosten.

Ein wichtiger Beitrag für die Reduktion von Betriebskosten dürfte in der Single-RAN-Technologie (Single Radio Access Network) liegen. Hierbei steuern die Single-RAN-Module gleichzeitig die drei Mobilfunkgenerationen 2G, 3G sowie 4G auf verschiedenen Frequenzen. Faktisch ersetzt damit ein neues Single-RAN-Module zwei alte Einheiten für 2G und 3G und stellt darüber hinaus 4G zur Verfügung. Telefónica Deutschland und Vodafone setzen bei der Modernisierung bzw. Umstellung ihres Netzes auf LTE offenbar auf diese technologische Weiterentwicklung. Nach Angaben dieser Netzbetreiber soll die neue Technik schneller, wartungsfreundlicher und stromsparender sein. So erwartet z.B. Vodafone als Folge der Netzmodernisierung eine Reduktion des Strombedarfs in seinem Netz um 30%<sup>43</sup>, was insgesamt zu einer signifikanten Senkung der Netzbetriebskosten führt.

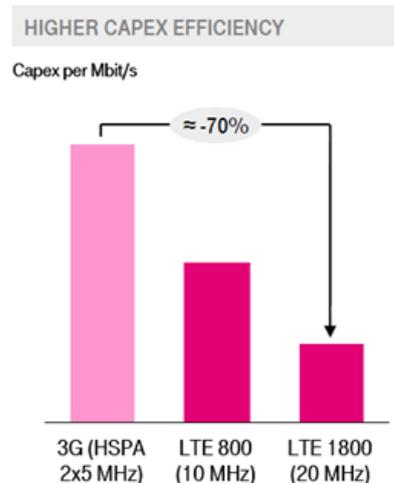
---

<sup>42</sup> Deloitte (2013a); Technology, Media & Telecommunications Predictions 2013.

<sup>43</sup> Vodafone (2013); Netzmodernisierung, Deutschland im Datenrausch: Wie Vodafone seine Netze fit für die Zukunft macht, weiterhin Aussage von Jousen: "Wenn man überlegt, dass wir alleine eine Stromrechnung von 100 Millionen Euro begleichen - die können Sie mit der neuen Technik mittelfristig mehr als halbieren." Quelle: LTE-Ausbau: Vodafone-Chef Jousen zum Thema LTE; 2012, (<http://www.lte-abdeckung.de/news-anbieter/items/lte-ausbau-vodafone-chef-jousen-zum-thema-lte.html>)

LTE ist als reines ALL-IP-Netz konzipiert und auf die Übertragung von großen Datenmengen hin optimiert. Gerade vor dem Hintergrund eines schnell wachsenden Datenvolumens in den mobilen Netzen<sup>44</sup>, zeigen sich die Vorteile von LTE auch mit Blick auf die Effizienz von Investitionen. So sinken nach Angaben der Telekom Deutschland die Investitionen pro Mbit/s beim Einsatz von LTE (1800 MHz Bereich und Kanalbreite von 20 MHz) um 70% gegenüber den Investitionen die in einem 3G Netz notwendig sind; vgl. die folgende Abbildung.

Abbildung 12: Steigerung der Effizienz von Investitionen durch den Einsatz von LTE



Quelle: Deutsche Telekom AG (2012); Capital Markets Day 2012

### 4.3 Netzanbindung von Basisstationen (Backhaul)

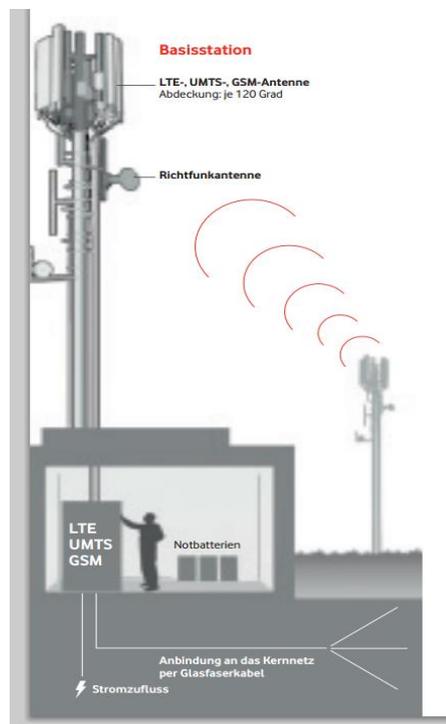
In der Zeit als die Mobilfunknetze fast ausschließlich zur Sprach- und SMS-Übertragung genutzt wurden, reichte es aus, die Anbindung der Mobilfunkbasisstationen ans Kernnetz (d.h. die Mobile Backhaul-Netze)<sup>45</sup> auf der Basis von kupferbasierten (Miet-) Leitungen zu realisieren. Mit der stärker aufkommenden mobilen Datennutzung haben die Mobilfunk-Netzbetreiber jedoch schon seit 2007 damit begonnen, ihre Backhaul-Anbindungen zunehmend auf Richtfunk- und Glasfaser basierte Lösungen umzustellen.

In der folgenden Abbildung ist die Anbindung einer Basisstation über Richtfunk bzw. eine Glasfaser-Lösung stilisiert dargestellt.

<sup>44</sup> Vgl. Kapitel 5.4

<sup>45</sup> Vgl. Kapitel 4.3

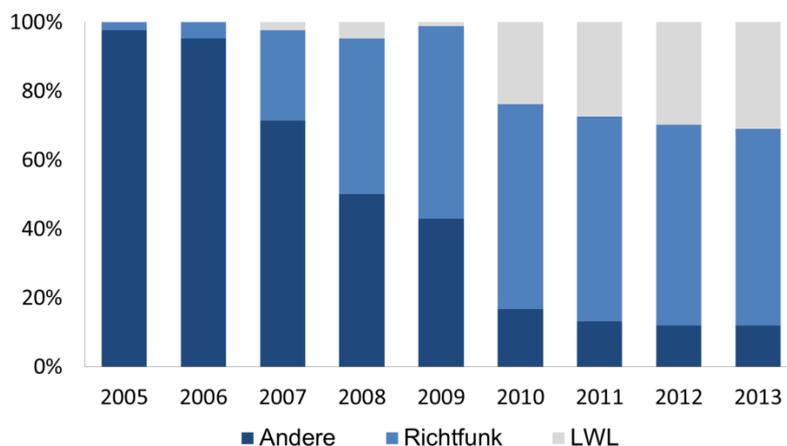
Abbildung 13: Schematische Darstellung der Anbindung einer Basisstation über Richtfunk bzw. Glasfaser-Lösung



Quelle: Vodafone (2013)

Die folgende Abbildung zeigt, dass in Deutschland der Anteil der Basisstationen, die per Glasfaser an das Kernnetz angebunden sind, Ende 2011 bei etwa 25% liegt; etwa 60% aller Anbindungen beruht auf Richtfunk-Technologien.

Abbildung 14: Backhaul-Anbindung von Basisstationen in Deutschland nach Technologien (Stand: Ende 2011)



Quelle: ITM (2011); Mobile Backhaul Anbindung von Mobilfunk-Basisstationen

Die Kapazität einer E1-Leitung liegt bei 2 Mbit/s, eine Richtfunk-Verbindung stellt maximal 1Gbit/s zur Verfügung.<sup>46</sup> Gerade mit Blick auf die hohen Bandbreiten, die mit LTE-Advanced realisierbar sind, stellt sich daher die Frage, ob die Anbindung der Basisstationen ans Kernnetz nicht zu einem Bottleneck werden und die LTE-Nutzung bzw. -Verbreitung einschränken könnte.<sup>47</sup>

Im Folgenden wird dargestellt, wie die Mobilfunk-Netzbetreiber in Deutschland auf diese Herausforderung reagieren.

*Telekom Deutschland:* Die Telekom Deutschland, als Marktführer im Mobilfunkmarkt in Deutschland und mit einem weit ausgebautem LTE-Netz<sup>48</sup>, setzt bei der Anbindung ihrer Basisstationen hauptsächlich auf Glasfasertechnik. Sie nutzt hierbei natürlich den Vorteil, dass sie in Deutschland bereits über ein sehr gut ausgebautes Glasfasernetz verfügt. Der Ausbau des Mobilnetz-Backhails mit Glasfaser lässt sich so für die Telekom deutlich günstiger realisieren als für die Wettbewerber. Weit über 90% der LTE-Basisstationen der Telekom Deutschland sind schon heute über Glasfaser angebunden.<sup>49</sup> Nach Ansicht der Telekom basiert ihre hohe Netzqualität insbesondere auf der glasfaserbasierten Anbindung ihrer Basisstationen. Die entsprechende Netzqualität ließe sich über Richtfunk nicht realisieren, da es hier immer wieder zu Schwankungen in der bereitgestellten Bandbreite komme. Auch stehe nicht immer das benötigte Frequenzspektrum zur Verfügung. Gleichwohl weist die Telekom auch darauf hin, dass es eine 100 prozentige Glasfaseranbindung nicht geben werde. Der Grund ist, dass eine solche Anbindung an wenig genutzten Basisstationen nicht für notwendig erachtet wird. Diese Basisstationen werden auch weiterhin über Richtfunk angebunden.

*Vodafone:* Nach Angaben von Vodafone sind heute fast alle Basisstationen noch über Richtfunk angeschlossen. Eine Aufrüstung dieser Richtfunkstrecken auf Bandbreiten von 1 Gbit/s sei aus technischen (Entfernung) und frequenztechnischen Gründen nicht immer einfach möglich. Wann immer es daher möglich ist, sollen bei Vodafone sukzessive Basisstationen mit Glasfaser angeschlossen werden. In der Regel soll dies insbesondere in Abhängigkeit davon geschehen, ob Vodafone in der Nähe einer gegebenen Basisstation über eigene Glasfaserinfrastruktur verfügt.

*Telefónica Deutschland:* Nach Angaben von Telefónica Deutschland sind heute etwa 99% aller Basisstationen des Unternehmens noch mit Richtfunk ans Backhaul angebunden. Dies wird nach Unternehmensangaben bei untergeordneten Basisstationen auch auf absehbare Zeit so bleiben. Jedoch ist auch Telefónica Deutschland darauf bedacht, zukünftig verstärkt Basisstationen per Glasfaser anzubinden. Hierzu hat Telefónica Deutschland Anfang 2012 eine Netz-Kooperation mit der Telekom Deutschland

---

<sup>46</sup> Richtfunkverbindungen haben darüber hinaus den Nachteil, dass die Verbindung bei extremen Wetterlagen wie starkem Regen, Schnellfall oder Gewitter unter Stabilitätsproblemen leidet.

<sup>47</sup> Wie in Kapitel 2.4 ausgeführt, ist z.B. über LTE-Advanced Cat8 eine Übertragungsgeschwindigkeit von 1,2 Gbit/s möglich.

<sup>48</sup> Vgl. Kapitel 3.2.1.

<sup>49</sup> Quelle: Interview im Rahmen des LTE-Projekts mit der TDG (14.07.2014).

geschlossen.<sup>50</sup> Diese sieht vor, dass Telefónica in Zukunft Teile der Telekom-Netzinfrastruktur nutzen wird. Nach der langfristigen Vereinbarung wird die Telekom Deutschland in den kommenden Jahren bis zu 2000 Mobilfunk-Aggregationspunkte von Telefónica über Glasfaser anschließen. Dies entspricht etwa 10% aller Basisstationen, die Telefónica Deutschland in Deutschland betreibt.

*E-Plus:* E-Plus hat, ebenso wie Vodafone und Telefónica Deutschland, seine Basisstationen bisher fast ausschließlich über Richtfunk-Lösungen angeschlossen. Auch wenn die Qualität der Richtfunk-Anbindung insbesondere durch Witterungsbedingungen schwankend ist, sieht E-Plus bisher keine Veranlassung, auf eine Glasfaser-basierte Anbindung umzusteigen. Gegen eine Glasfaser-Anbindung spricht laut Angaben des Unternehmens die mangelnde Verfügbarkeit eines eigenen Glasfaser-Netzes und daraus abgeleitet die hohen Kosten, die mit einem Glasfaserausbau verbunden sind.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass nur die Telekom Deutschland schon heute fast alle ihrer LTE-Basisstationen mit Glasfaser an ihr Kernnetz angebunden hat und auf die zunehmende LTE-Nutzung damit gut vorbereitet ist. Die anderen Mobilfunknetzbetreiber realisieren die Backhaul-Anbindung (noch) fast ausschließlich über Richtfunk-Lösungen. Sie sehen jedoch durchaus die Notwendigkeit, in den kommenden Jahren ihre Basisstationen verstärkt mit Glasfaser ans Kernnetz anzubinden. Hierbei gehen die Wettbewerber jedoch unterschiedliche Wege. Vodafone setzt bei der Anbindung verstärkt auf das eigene Glasfasernetz während Telefónica Deutschland auf eine Kooperation mit der Telekom Deutschland fokussiert.

#### 4.4 Verfügbarkeit und Leistungsspektrum von Endgeräten

Nach dem Start von LTE in Deutschland im Jahr 2010 war die Zahl der verfügbaren LTE-fähigen Endgeräte sehr übersichtlich. Anfangs wurden von den Netzbetreibern nur LTE-Router für die stationäre LTE-Nutzung angeboten, dann folgten die ersten LTE-Surfsticks und erst ab 2012 die ersten LTE-Mobilfunkendgeräte. Bei Letzteren handelte es sich fast ausschließlich um die teureren Top-Modelle der Hersteller, die 4G-fähig waren.

Im Detail sah die Endgeräte-Entwicklung in Deutschland in etwa so aus<sup>51</sup>:

- Mitte 2011 waren LTE-Router zur stationären LTE-Nutzung die ersten LTE-Endgeräte in Deutschland. Die Mobilfunk-Netzbetreiber lieferten für ihre „LTE zuhause“ Angebote vor allem den 4G-Router Huawei B390s-2 aus.
- Seit Anfang 2012 haben 4G-Surfsticks mit dem zunehmenden LTE-Ausbau in den Städten an Bedeutung gewonnen. Man nutzt die LTE-Geräte zum mobilen

---

<sup>50</sup> Vgl. hierzu Weidner M. (2012); o2 vereinbart Netz-Kooperation mit der Deutschen Telekom; abrufbar unter: <http://www.teltarif.de/o2-telekom-netz-kooperation/news/45273.html>

<sup>51</sup> <http://www.4g.de/hardware/uebersicht-lte-geraete-zubehoer/>

Surfen mit einem Laptop. Wie bei den 4G-Routern dominieren hier Endgeräte des Herstellers Huawei. T-Mobile und Vodafone lieferten den Surfstick Huawei E398 mit ihren 4G-Tarifen aus. Nur der Mobilfunkanbieter O2 Telefónica bietet seit Juli 2012 einen LTE-Surfstick von ZTE an.

- Seit März 2012 kamen dann langsam die ersten LTE-Mobilfunkendgeräte auf den Markt. Das erste LTE-Smartphone in Deutschland war das HTC 4G Velocity, welches es exklusiv bei Vodafone gab. Kurze Zeit später bot das Düsseldorfer Unternehmen weitere LTE-Handys wie das HTC One XL oder Samsung Galaxy S2 LTE an. Mit deutlich unter 20 verschiedenen Modellen war in 2012 das Angebot jedoch noch sehr übersichtlich. Dabei ist auch anzumerken, dass es sich hierbei in der Regel um die Top-Modelle der Hersteller handelt, die sich preislich in Regionen oberhalb von 500 € bewegen. Einmal abgesehen von Apples iPhone 5, das (bisher in Deutschland) nur den 1800 MHz Bereich unterstützt, arbeiten alle anderen angebotenen Smartphone Geräte mindestens in den Frequenzbereichen 800 MHz, 1800 MHz und 2600 MHz.
- Seit Mitte 2012 gibt es auch die ersten LTE-Tablets in Deutschland. Vodafone bietet seit Juni 2012 das Galaxy Tab 8.9 LTE an. Nur wenige Wochen später zog O2 mit dem ASUS Transformer PAD TF300TL nach.

Aktuell hat der LTE-Nutzer in Deutschland die Auswahl zwischen über 60 LTE-fähigen Endgeräten.<sup>52</sup> Diese arbeiten in der Regel mindestens in den LTE-Frequenzbereichen 800, 1800 und 2600 MHz und sie lassen sich den LTE-Gerätekategorien CAT 3 bzw. CAT 4 zuordnen.

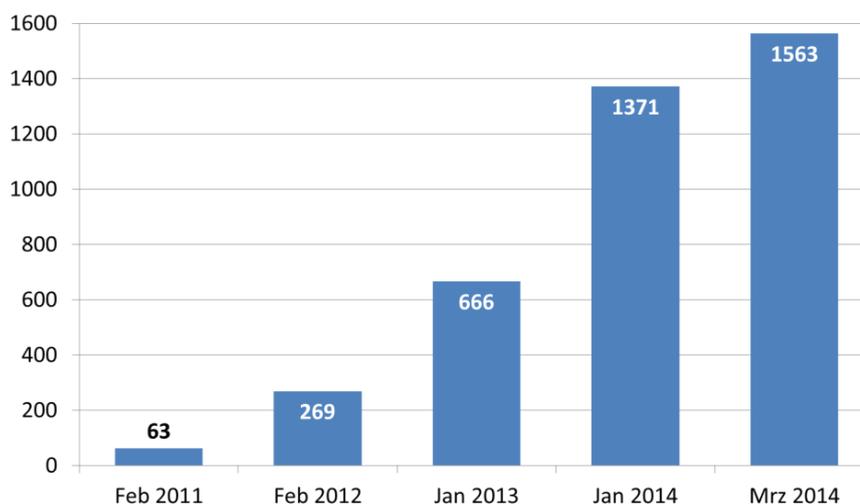
Die gerade dargestellte Entwicklung der Verfügbarkeit von LTE-fähigen Endgeräten in Deutschland spiegelt sich im aktuellen Bericht der GSA (Global mobile Suppliers Association) mehr als deutlich; vgl. die nachfolgende Abbildung).<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> WIK-C Auswertung (Stand: Mitte 2014); Basis: <http://www.handy-deutschland.de/lte-smartphone.html>

<sup>53</sup> GSA (2014b); GSA confirms 1,563 LTE user devices announced for 90% growth, 1800 MHz band secures the largest ecosystem; abrufbar unter [http://www.gsacom.com/news/gsa\\_403.php](http://www.gsacom.com/news/gsa_403.php).

Abbildung 15: Zahl der weltweit verfügbaren LTE-Endgeräte-Modelle



Quelle: GSA (2014b)

wik

Die Abbildung zeigt, dass es im März 2014 weltweit 1563 LTE-fähige Endgeräte auf dem Markt gibt; im Februar 2011 waren es dagegen nur 63.

Laut GSA bieten mittlerweile 154 Hersteller entsprechende LTE-Geräte an. Bei der 4G-Hardware dominieren mit einem Anteil von 40% LTE-Handys (636 Endgeräte), laut GSA unterstützen davon bereits 57 Handys VoLTE (Voice over LTE). Auf Platz zwei der Endgeräte stehen 4G-Router (453 Endgeräte), gefolgt von LTE-Surfsticks mit 178 Geräten und LTE Tablets (132 Geräte). In ihrem Bericht von März 2014 hebt die GSA besonders die starke Zunahme bei LTE-Handys über die letzten zwölf Monate hervor. Der Großteil der 4G-Hardware (43%) unterstützt das Frequenzspektrum im Bereich 1800 MHz. Die GSA beobachtet dabei aktuell die gleiche Entwicklung wie bei den kommerziellen LTE-Netzen weltweit: Hier dominieren ebenso die 4G-Frequenzen mit 1800 MHz und werden quasi zum Standard für 4G.

Die Preise für LTE-fähige Endgeräte sind dabei in den vergangenen Monaten deutlich gesunken, so dass heute schon eine stattliche Anzahl von Modellen um die 200 € am Markt verfügbar sind <sup>54</sup>.

Insgesamt lässt sich damit festhalten, dass die Verfügbarkeit von LTE-fähigen Endgeräten heute kein Hemmnis mehr für die LTE-Nutzung darstellt. <sup>55</sup>

<sup>54</sup> So ist z.B. das LTE fähige Samsung Galaxy Ace 3 im Online-Handel für unter 150 Euro erhältlich ([www.redcoon.de](http://www.redcoon.de))

<sup>55</sup> Dieser Befund wird auch noch einmal daran deutlich, dass im 2. Quartal 2014 86% aller vermarkteten Smartphones bei Telefónica Deutschland LTE-fähig waren.

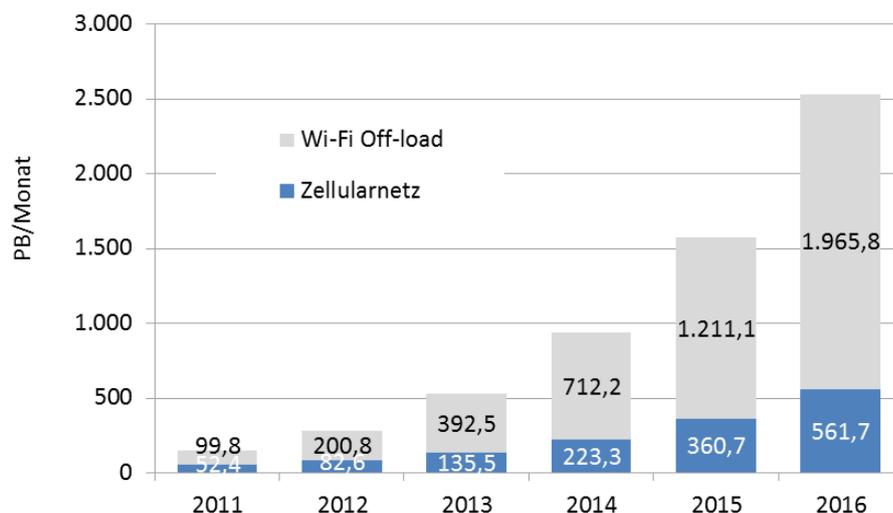
## 4.5 Data-Off-Loading

Die EU-Kommission definiert Data Off-Loading als Routing von drahtlosem Datenverkehr, welcher auf makro-zellularen Netzen (UMTS, LTE oder WiMAX) abgewickelt werden könnte, über alternative Zugangsnetztechnologien, die auf eine lokale Abdeckung (mit kürzerer Übertragungsreichweite) abstellen und die in Frequenzbereichen arbeiten, zu denen ein Netzbetreiber nicht notwendigerweise ausschließlichen Zugang hat. Ein solcher alternativer Zugang zu drahtlosem Breitband basiert typischerweise auf „Kleinzellen“-Technologien wie Wi-Fi Hotspots oder sogenannten Femto- und Picozellen von Zellulernetzen.

Für die Zukunft ist zu erwarten das der Datenverkehr in den Mobilfunknetzen weiterhin rasant wachsen wird (siehe Kap. 5.4). Getrieben wird dieses Wachstum durch die steigende Penetration von Smartphones und Tablets und der zunehmenden Nutzung von Video-Diensten.

Bisher wird wenig wahrgenommen, dass der Verkehr in den Mobilfunknetzen (Makro-zellularenetzen) nur einen kleinen Anteil des Verkehres ausmacht der von mobilen Endgeräten generiert wird. Tatsächlich übersteigt das Verkehrsvolumen, das bereits per Off-Loading abgewickelt wird, das des Mobilfunknetzes um mehr als das vierfache (siehe folgende Abbildung). Es ist zu erwarten, dass ersteres in der Zukunft noch schneller wachsen wird. Beim Data-Off-Loading dominiert dabei der Verkehr der über Wi-Fi Lösungen im eigenen Haus/ eigener Wohnung oder aber am Arbeitsplatz generiert wird. Zunehmend an Bedeutung gewinnen jedoch auch öffentlich Wi-Fi-Lösungen. Weiterhin werden von den Mobilfunknetzbetreibern eine Vielzahl von kommerziellen Wi-Fi Hotspots betrieben an denen Off-Loading Verkehr entsteht.

Abbildung 16: Beobachtetes bzw. prognostiziertes Offloading von mobilem Datenverkehr (Petybytes/Monat)



Gerätehersteller und Normungsgremien haben in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen in die Entwicklung sowohl von Wi-Fi- als auch Zellulernetzstandards investiert, um die Verknüpfung zwischen beiden Ansätzen zu verbessern und die Nutzung des verfügbaren Spektrums zu optimieren.

Während der größte Teil der in der Vergangenheit implementierten Wi-Fi-Geräteausstattung auf dem 802.11g Standard mit einer maximalen Bitrate von 54 Mbps basiert und ausschließlich im 2.4 GHz-Band operiert, benutzen aktuelle Geräte die 802.11n Variante. Diese unterstützt sowohl den 2.4 GHz als auch 5 GHz Bereich und stellt dabei eine maximale Brutto-Datenübertragungsrate von 450 Mbit/s bereit. Im Herbst 2013 wurde die jüngste Variante, der Standard 802.11ac vom IEEE ratifiziert. Dieser stellt eine maximale Brutto-Bandbreite von 1.200 Mbit/s zur Verfügung.

Von besonderem Interesse für die Mobilfunkanbieter ist die Standardvariante 802.11u, die für eine besonders nutzerfreundliche automatische Authentifizierung beim WLAN-Access Point inklusive dem Aufbau einer verschlüsselten Verbindung im Zusammenspiel mit Mobilfunk-SIM-Karten sorgt. Die Wi-Fi-Alliance führt diesen Standard unter der Marke „Hotspot 2.0“.

Durch die Nutzung von Data-Off-Loading sind die Mobilfunknetzbetreiber in der Lage ihre Netzkosten deutlich zu senken. Eine aktuelle EU-Studie kommt zu dem Ergebnis, dass in den EU-27 Ländern insgesamt in 2012 schon Netzkostenersparnisse von 35 Mrd. Euro generiert wurden und gehen für 2016 von einer Ersparnis in Höhe von 200 Mrd. Euro aus.<sup>56</sup>

Vor diesem Hintergrund ist es sehr erstaunlich, dass sich die deutschen Mobilfunknetzbetreiber beim Thema Data-Off-Loading bisher sehr zurückhaltend zeigen. Angesichts des mittelfristig weiterhin stark zunehmenden mobilen Datenverkehrs wird die Komplementarität zwischen privaten WLANs und den Mobilfunknetzen zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Mobilfunknetze werden das derzeit durch Smartphones und Tablet-PCs induzierte Datenverkehrswachstum wohl nicht alleine bewältigen können und ihre Betreiber müssten ihre ohnehin vorgesehenen Milliardeninvestitionen in neue LTE-Netze noch deutlich erhöhen. Wesentlich günstiger ist es für die Netzbetreiber daher, das Angebot an PWLANs zu erhöhen und ihren Kunden eine automatische und sichere Nutzung der bereits vorhandenen Hotspot-Landschaft zu ermöglichen.<sup>57</sup>

---

<sup>56</sup> Europäische Kommission (2013); Studie zu Off-Loading von Datenverkehr in drahtlose Netze und entsprechende technologische Trends – Auswirkungen auf die Nachfrage nach Frequenzspektrum“.

<sup>57</sup> Vgl. P.Stamm, F. Büllingen (2014).

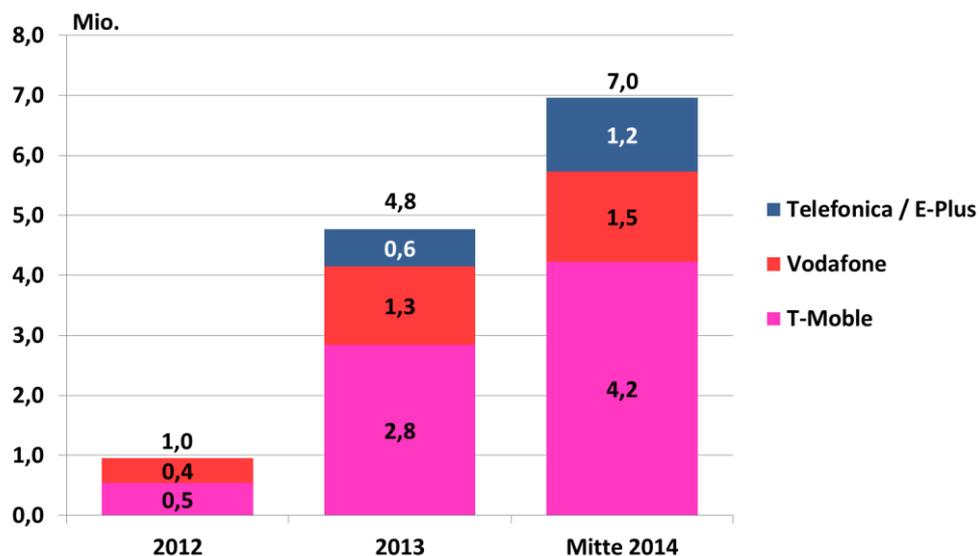
## 5 Faktoren für die Dynamik auf der Nachfrageseite

### 5.1 LTE Penetration in Deutschland

Die Zahl der LTE-Nutzer<sup>58</sup> ist in Deutschland in den vergangenen drei Jahren deutlich angestiegen. Während es Ende 2012 nur etwa 1 Mio. LTE-Nutzer gab, hat sich in den folgenden 1 ½ Jahren die Zahl versiebenfacht. Wie die folgende Abbildung zeigt, nutzten Mitte 2014 bereits 7 Mio. Mobilfunkkunden ein LTE-fähiges Endgerät in Verbindung mit einem Mobilfunkvertrag der die LTE-Nutzung zulässt. Bezogen auf die 116,5 Mio. aktiven Mobilfunkteilnehmer<sup>59</sup> entspricht dies einer Penetrationsrate von aktuell 6%.

Es wird erwartet, dass die Zahl der LTE-Nutzer in Deutschland in den nächsten Jahren weiterhin deutlich zunehmen wird. Der Branchenverband BITKOM kommt in seiner LTE-Marktprognose<sup>60</sup> zu dem Ergebnis, dass es bereits in 2016 34 Mio. LTE-Kunden in Deutschland geben wird. Damit würden dann über 40% der Bundesbürger LTE nutzen, bzw. die LTE-Penetration auf fast 30% ansteigen. Ähnliche Prognosen zeigt Ericsson für Westeuropa. In seiner aktuellen Marktstudie<sup>61</sup> geht der Ericsson, Hersteller von TK-Equipment davon aus, dass in 2019 etwa 50% aller Mobilfunkkunden LTE-Dienste nutzen.

Abbildung 17: Zahl der LTE-Nutzer in Deutschland (in Mio.)



Quelle: Unternehmensangaben, WIK-Consult Schätzung

<sup>58</sup> Ein LTE-Nutzer verfügt über eine LTE-fähiges Endgerät (Smartphone, Tablet, Daten-Stick) in Verbindung mit einem Mobilfunktarif der die LTE-Nutzung zulässt bzw. integriert.

<sup>59</sup> Hierbei handelt es sich um Teilnehmerzahlen die auf der Anzahl der vermarkteten SIM-Karten der Netzbetreiber beruhen.

<sup>60</sup> BITKOM (2012a); Deutschland ist Vorreiter beim mobilen Breitband.

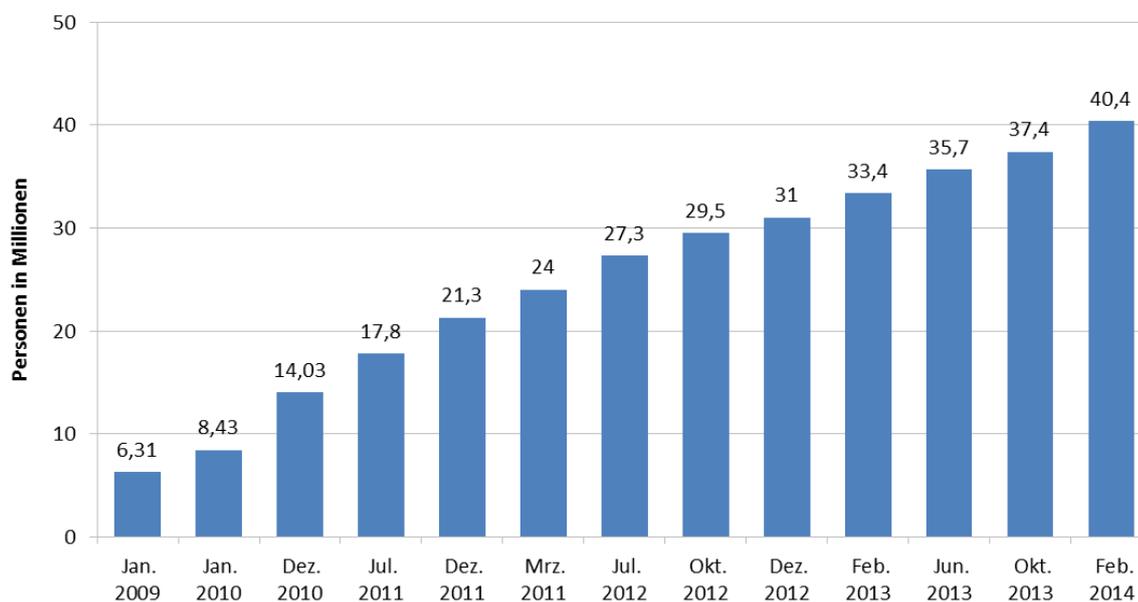
<sup>61</sup> Ericsson (2014); Ericsson Mobility Report, June 2014.

## 5.2 Adoption von Endgeräten

Um mobile Datendienste zu nutzen ist die Verfügbarkeit entsprechender Endgeräte notwendig. Neben Daten-Sticks sind dies insbesondere Smartphones. Smartphones sind internetfähige Mobiltelefone, auf denen Apps<sup>62</sup> installiert sind und die in der Regel über einen berührungsempfindlichen Bildschirm gesteuert werden. Den Durchbruch für diese Geräteklasse brachte das iPhone von Apple, das 2007 auf den Markt kam. Mittlerweile werden Smartphones stärker genutzt als herkömmliche Handys.

Wie die folgende Abbildung zeigt, gibt es in Deutschland mittlerweile 40,4 Mio. Smartphone-Nutzer. Damit hat sich die Zahl der Smartphone-Nutzer seit 2009 mehr als sechsfacht. Nach einer aktuellen repräsentativen Umfrage des BITKOM verwenden aktuell 55% aller Bundesbürger ab 14 Jahren zumindest gelegentlich ein Smartphone. Vor einem Jahr waren es erst 41% der Bürger. Das Smartphone ist damit innerhalb von sieben Jahren zum Standard-Handy geworden. Die Hauptgründe hierfür sind das Smartphones mittlerweile in allen Preisklassen und für unterschiedliche Bedürfnisse zur Verfügung stehen. Zudem steigt die Nachfrage der mobilen Internetnutzung seit Jahren stark an und diese wird auf der Hardwareseite in der Regel durch Smartphones bedient.<sup>63</sup>

Abbildung 18: Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland



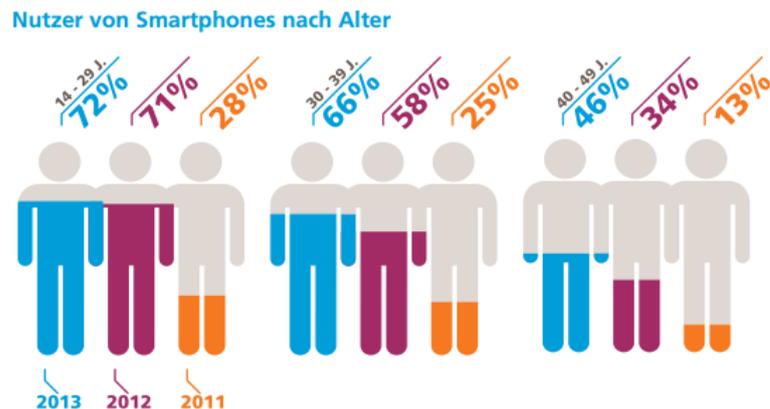
Quelle: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/198959/umfrage/anzahl-der-smartphonenuutzer-in-deutschland-seit-2010/>

<sup>62</sup> Der Begriff App ist die Abkürzung für Applikation Software. Eine App ist eine Anwendungssoftware für Mobilgeräte bzw. mobile Betriebssysteme.

<sup>63</sup> BITKOM (2014); Smartphones stärker verbreitet als normale Handys; abrufbar unter: [http://www.bitkom.org/de/markt\\_statistik/64046\\_79598.aspx](http://www.bitkom.org/de/markt_statistik/64046_79598.aspx)

Der Anteil der Smartphone-Nutzer hat in allen Altersklassen innerhalb der letzten drei Jahre deutlich zugelegt. Zur Zeit gilt noch: Je jünger die Nutzer, desto stärker die Verbreitung der Smartphones. In der Altersgruppe bis einschließlich 29 Jahren nutzen 72% der Befragten die Touchscreen-Geräte, in der Gruppe von 30 bis 39 sind es 66%. Ab der Altersstufe 40+ ist die Smartphone-Durchdringung geringer, steigert sich allerdings deutlich. Die 40- bis 49-Jährigen liegen 2013 bereits bei 46% – mit einer großen Steigerung gegenüber dem Vorjahreswert (2012: 34%). Entsprechend dieser Tendenz wird die Zahl der Smartphone-Nutzer in dieser Gruppe im Laufe des Jahres 2013 ebenfalls die 50-Prozent-Marke durchbrechen. Mit weiter zunehmendem Alter sinkt der Anteil: Von den Senioren ab 60 Jahren nutzt bisher nur jeder Zehnte ein Smartphone, wobei auch hier die Verbreitung kontinuierlich steigt.

Abbildung 19: Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland



Quelle: E-PLUS (2013); Mobilfunkstudie 2013

Der BITKOM erwartet, dass sich die starke Nachfrage nach Smartphones auch in 2014 fortsetzen wird. In diesem Jahr werden voraussichtlich rund 30 Millionen Geräte in Deutschland verkauft. Das entspricht einem Plus von 12% im Vergleich zum Vorjahr. Damit werden über 80% aller in Deutschland verkauften Mobiltelefone in 2014 voraussichtlich Smartphones sein. Bezogen auf den Umsatz beträgt ihr Anteil sogar 97 %.

Die Nutzung von Smartphones ist jedoch nicht bei allen Carrier gleich hoch, sondern schwankt von Netzbetreiber zu Netzbetreiber sehr stark. Die höchste Smartphone Nutzerquote weist die Telekom Deutschland aus. Ende 2013 nutzen deutlich über 60% der Kunden des Unternehmens ein Smartphone. Der Anteil bei Vodafone liegt zum gleichen Zeitpunkt bei 42%. Die Smartphone-Nutzung der Telefónica Deutschland und E-Plus-Kunden liegt noch einmal deutlich darunter. Nur 33% der Telefónica Deutschland Kunden nutzen ein Smartphone und bei E-Plus sind es nur 30%.

Nach einer Studie von E-Plus gibt es eine starke Korrelation zwischen Smartphone-Nutzung und Zahlungsmodell. So nutzen nach dieser Studie 63 % der Kunden mit Postpaid-Vertragsmodellen ein Smartphone. Bei Prepaid-Kunden liegt der Anteil nur bei 25%. Auch aktuelle Daten von Telefónica Deutschland zeigen dies noch einmal deutlich. Während 72% der Postpaid-Kunden von Telefónica Mitte 2014 ein Smartphone nutzen, sind dies bei den PrePaid-Kunden lediglich 21%.

Da insbesondere E-Plus über einen hohen Anteil von Prepaid-Kunden verfügt, lässt sich hieraus erklären warum bei diesem Netzbetreiber der Anteil von Smartphone-Nutzern noch so gering ist.

### 5.3 Änderung des Nutzungsverhaltens (Neue Dienste)

#### 5.3.1 Mobile Internetnutzung

Auch Smartphones werden zuerst einmal wie die klassische Mobilfunktelefon genutzt. Fast 100% der Smartphone-Besitzer verwenden ihre Geräte zum Telefonieren und noch versenden 96% der Nutzer weiterhin Kurznachrichten (SMS) damit. Weiterhin regelmäßig genutzt werden am Smartphone die Kamera, der Taschenrechner und der Wecker. In der Nutzungsrangliste folgen dann Online-Anwendungen wie Suchmaschinennutzung, Internet-Surfen, die Nutzung von Apps und der Versand von eMails<sup>64</sup>.

Betrachtet man bei der Smartphone-Nutzung nur die Altersgruppe der 12- bis 19-Jährige in Deutschland zeigt sich ein wenig anders Bild. Hier haben die Nutzung von Online-Communities, Online-Spiele und das anschauen von Videos übers Internet einen hohen Stellenwert, wobei sich gerade die Video-Nutzung von 2012 auf 2013 verdoppelt hat. <sup>65</sup>

Insgesamt gesehen verliert die klassische Nutzung von Telefonie und SMS jedoch an Bedeutung und die Nutzungsschwerpunkte verschieben sich. Dies wird besonders deutlich bei den Nutzern des mobilen Internets. Diese stark wachsende Gruppe, in 2014 waren das etwa 54% aller Deutschen<sup>66</sup>, setzen ihre Geräte überwiegend für die Nutzung von Online-Diensten ein. Die Attraktivität der mobilen Internetnutzung nimmt dabei über alle Altersgruppen hinweg zu. Insbesondere jedoch in denen, für die „always on“ heute zum Alltag gehört. In der Altersgruppe der 20 bis 29 Jährigen nutzen zu 68% das Internet auch mobil, in 2012 lag der Anteil noch bei 40%. Unter den 30 bis 49 Jährigen ist inzwischen fast die Hälfte der Onliner auch mobil unterwegs, während der Anteil bei den über 50 Jahren deutlich darunter liegt.<sup>67</sup>

---

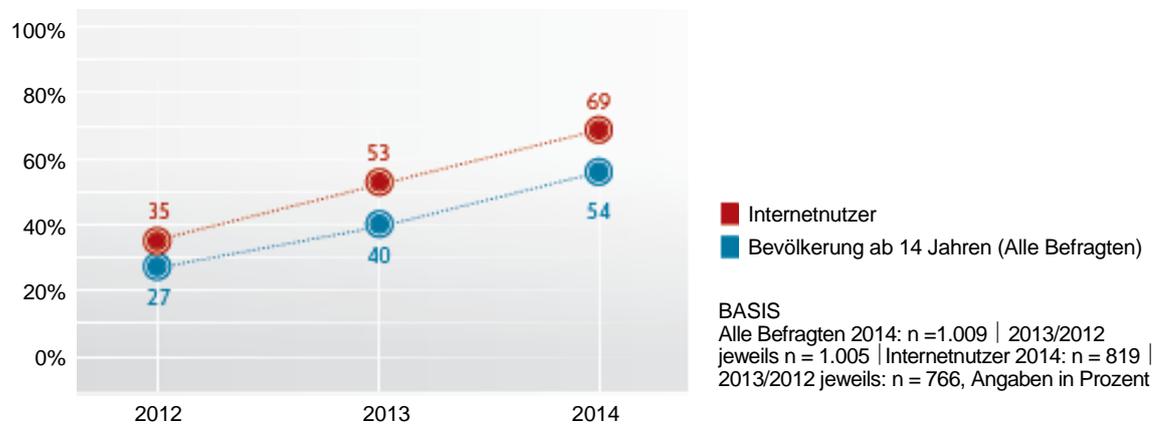
<sup>64</sup> E-PLUS (2013).

<sup>65</sup> Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2013); JIM Studie 2013.

<sup>66</sup> Der Prozentsatz der Menschen die das Internet auch mobil nutzen ist von 27% in 2012 auf 54% in 2014 angestiegen und hat sich damit verdoppelt. Quelle: Initiative D21 (2014); Mobile Internetnutzung 2014.

<sup>67</sup> Ergebnisse der ARD/ZDF – Onlinestudie 2013; abrufbar unter:  
<http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/index.php?id=439>

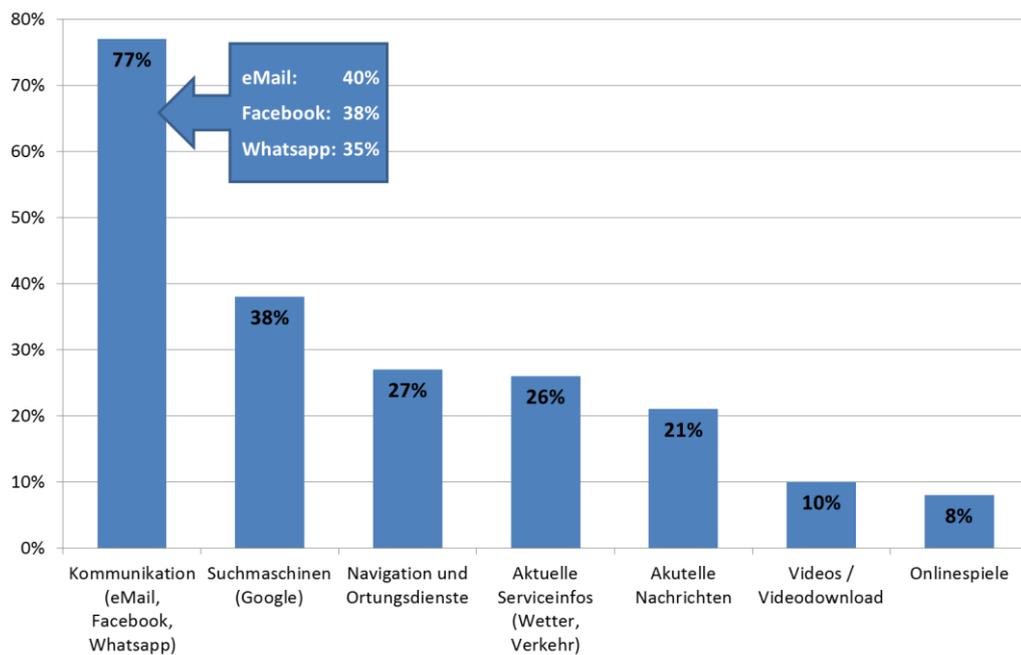
Abbildung 20: Mobile Internetnutzung in Deutschland



Quelle: Initiative D21 (2014)

Zu den wichtigsten mobilen Internetanwendungen zählen mit 77% Dienste die der individuellen Kommunikation dienen. Neben der eMail-Nutzung sind das insbesondere die neuen Kommunikationsplattformen Facebook und Whatsapp. Die Nutzung von Suchmaschinen (Google) folgt an zweiter Stelle mit 38%, gefolgt von Navigations- und Ortungsdiensten (27%) und aktuellen Serviceinfos (Wetter/Verkehr) mit 26%. Weiterhin häufig genutzte Dienste sind Anwendungen wie aktuelle Nachrichten, Videos bzw. Videodownloads und Online-Spiele.

Abbildung 21: Die wichtigsten mobilen Internet-Anwendungen



Quelle: Ergebnisse der ARD/ZDF – Onlinestudie 2013

Neben dem deutlichen Anstieg der mobilen Internetnutzung ist auch die tägliche Nutzungsdauer von 2012 auf 2013 mehr als deutlich angestiegen. Lag die Nutzungsdauer des mobilen Internets in 2012 bei 133 Minuten, so ist sie in 2013 auf 169 Minuten oder fast 3 Stunden angestiegen.

### 5.3.2 Ökosystem Apps

Mit der wichtigste Treiber für die starke Zunahme der mobilen Internet-Nutzung ist neben dem Smartphones-Angebot und dem technologischen Ausbau der Mobilfunknetze das Öko-System der Apps. Apps sind Anwendungs-Programme die auf Tablet-PCs und Smartphones laufen. Ihr Erfolg ist insbesondere auf die folgenden Merkmale zurückzuführen:

- Apps verfügen in der Regel über eine hervorragende Usability mit Blick auf Kauf, Installation und Bedienung. Große und komplizierte Anwendungen, wie sie aus der Welt des PCs bekannt sind, kommen hier eher selten vor. Apps sind schnell geladen, intuitiv bedienbar und in ihren Navigationswegen oft gut nachvollziehbar. Das ist sicherlich ein Garant für den Erfolg bei neuen Zielgruppen. Besonders Senioren, für die die PC-Nutzung bisher eher problematisch war, sind fasziniert.
- Apps sind über die App-Stores der Anbieter (Apple; Google) einfach und online überall verfügbar.
- Apps sind oft kostenlos oder werden „preisgünstig“ zur Verfügung gestellt. Die meisten Programme kosten zwischen 50 Cent und 5 Euro, preisliche Ausreißer über zehn Euro sind eher selten (z.B. Professionelle Navigationslösungen).

Viele der in der vorigen Abbildung genannten Anwendungen werden häufiger über Apps genutzt als über den klassischen Internet-Browser. Mit einem Anteil von etwa 80% ist die Apps-Nutzung bei Instant Messaging, Spielen, Navigation/Routenplanung sowie Wetterinformationen, aber auch die Nutzung von Musik- und Social Network-Angeboten besonders hoch.<sup>68</sup>

Für die verschiedenen Betriebssystem-Plattformen (Apple OS; Android (Google), Blackberry) gibt es insgesamt etwa 2 Mio. Apps. Alleine in Deutschland wurden in 2012 geschätzte 1,7 Mrd. Apps auf Smartphones und Tablets herunter geladen. Durchschnittlich hat ein Smartphone-Nutzer 33 Apps auf seinem Gerät installiert, wo von er 18 regelmäßig nutzt. Die mit Abstand meistgenutzten Apps sind WhatsApp und Facebook. Danach folgen Google Maps, Youtube sowie eBay und die Google Suche.<sup>69</sup>

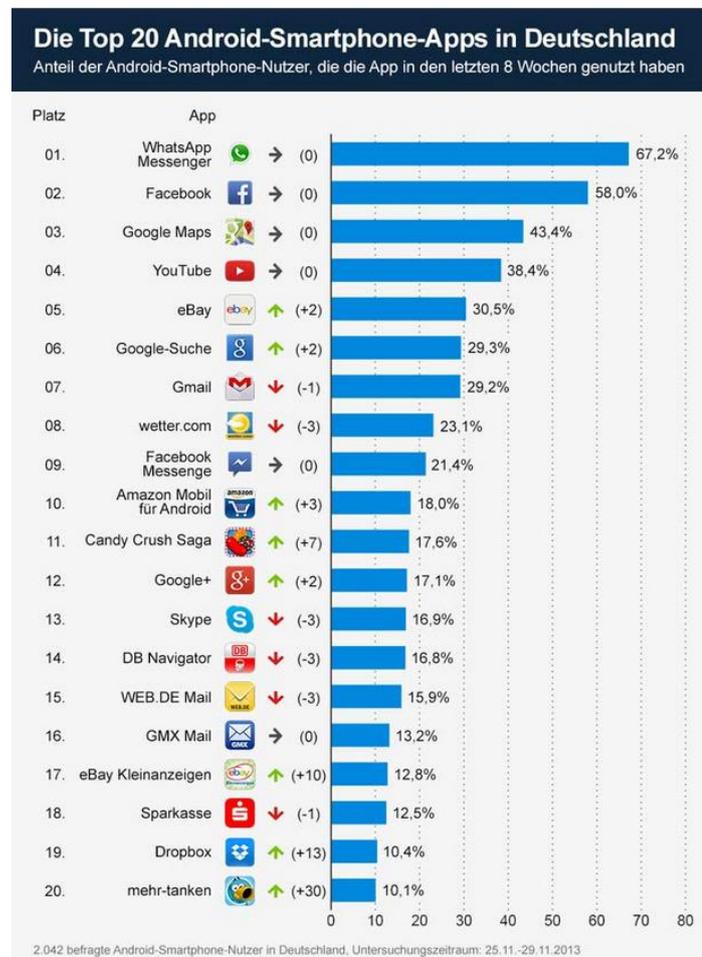
---

<sup>68</sup> Fittkaus & Mass Consulting (2014); WWW-Benutzer-Analyse W3B-Umfrage

<sup>69</sup> Kroker, M. (2013); Status Quo der Nutzung mobiler Geräte 2013 in Deutschland: Smartphones, Apps & Co.

Nach Angaben der ARD/ZDF-Onlinestudie nutzen in 2013 44% der Onliner Apps, im Vergleich dazu lag der Anteil in 2011 noch bei nur 17%.

Abbildung 22: Die meist genutzten Apps in Deutschland in 2013



Quelle: <http://pc-pedia.de/2013/12/top-20-die-meist-genutzten-android-apps-im-november-2013/>

### 5.3.3 Spezifisches LTE-Nutzerverhalten

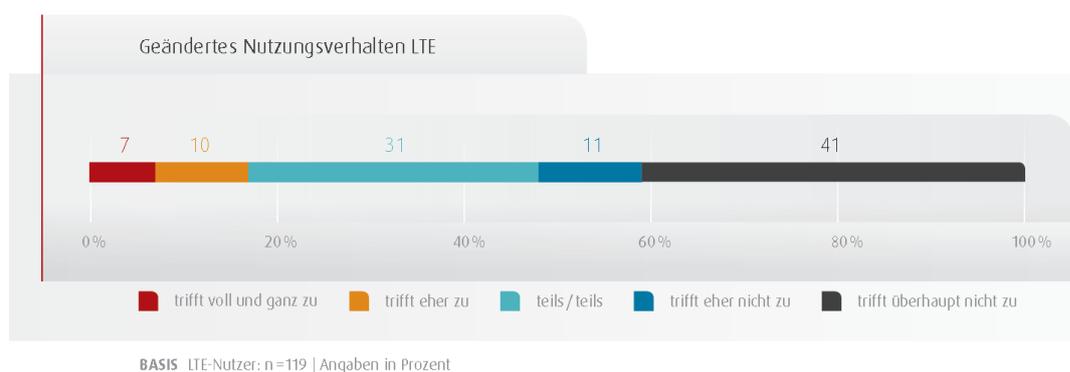
Nach einer aktuellen Studie von Deloitte ändern Mobilfunkkunden ihre Nutzungsgewohnheiten nicht nennenswert durch die Verfügbarkeit von LTE. Es stehen ähnliche Anwendungen im Mittelpunkt wie bei den bisherigen Netztechnologien. So steht bei den deutschen LTE-Nutzern die eMail-Nutzung, das Lesen von Nachrichten und die Aktivitäten in sozialen Netzwerken (Facebook) ganz oben auf der Aktivitätenliste. Datenintensive Anwendungen wie Video- oder Streaming-Dienste und auch Online Gaming werden auch bei den LTE-Nutzern nicht häufiger genutzt. Die Autoren der Studie kommen daher zu dem Schluss, dass die typische LTE-Killerapplikation noch nicht am Markt präsent ist.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt die aktuelle Studie „Mobile Internetnutzung 2014“ der Initiative D21. Danach nutzen durch LTE nur etwa 17% der Befragten neue bzw. andere Anwendungen als vorher. Über die Hälfte der LTE-Nutzer hingegen greifen nicht auf neue bzw. andere Anwendungen zu (siehe Abbildung).

Abbildung 23: Auswirkungen von LTE auf das Nutzungsverhalten



» Durch LTE nutze ich ganz neue bzw. andere Anwendungen als vorher. «



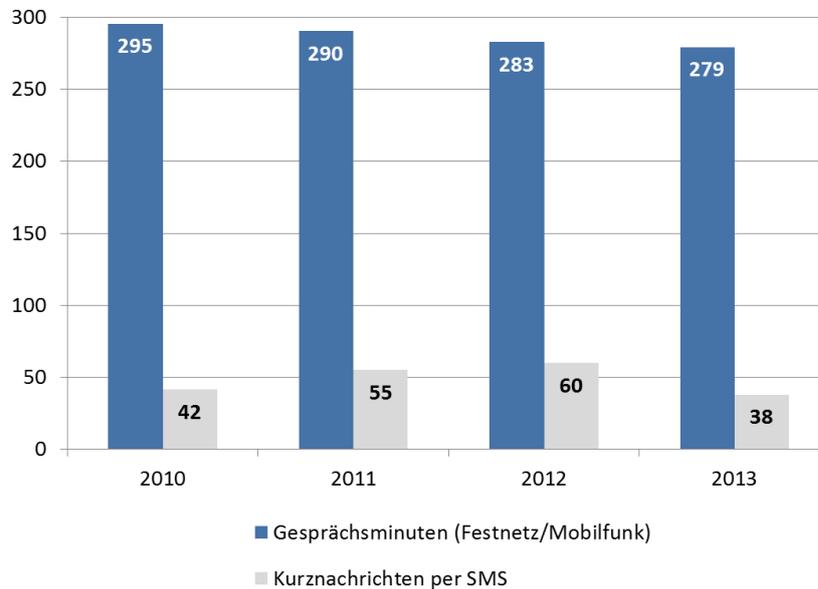
Quelle: Initiative D21 (2014)

### 5.3.4 Rückgang der klassischen Kommunikation

Das sich im Wandel befindende Kommunikationsverhalten zeigt deutliche Wirkungen mit Blick auf die klassischen Kommunikationswege. Die Nutzung von Sprachtelefonie und SMS geht zum Teil drastisch zurück. Und dies trotz der starken Verbreitung von Flatrates in den Festnetzтарifen und der Einführung von Bündeltarifen<sup>70</sup> im Mobilfunk. Wie die folgende Abbildung zeigt, geht die Gesamtzahl der Gesprächsminuten (Festnetz und Mobilfunk) seit 2010 zurück. Der weiterhin leichte Anstieg der abgehenden Minuten im Mobilfunk kann dabei den Rückgang bei den festnetz-basierten Gesprächsminuten nicht kompensieren. Einen regelrechten Einbruch hat im vergangenen Jahr die SMS-Nutzung verzeichnet. So ist die Zahl der versendeten Kurznachrichten per SMS von 60 Mrd. in 2012 auf 38 Mrd. in 2013 zurück gegangen. Dies entspricht einem Rückgang von über 60% innerhalb nur eines Jahres. Aktuelle Zahlen von Telefónica Deutschland zeigen, dass sich diese Entwicklung fortsetzt. So ist bei Telefónica der SMS-Umsatz auch in den ersten zwei Quartalen 2014 um deutlich über 20% zurück gegangen. Hier zeigen sich deutlich die Substitutionswirkung durch die Nutzung des Kurznachrichtendienstes Whatsapp. Trotz aller Sicherheitsbedenken gibt es in Deutschland etwa 30 Mio. Whatsapp-Nutzer. Weltweit werden über die Plattform täglich 18 Mrd. Kurznachrichten versendet, Tendenz weiterhin stark steigend.

<sup>70</sup> In Bündeltarife beinhalten in der Regel die Nutzung von Telefonie, SMS und mobiler Internetnutzung.

Abbildung 24: Entwicklung der Gesprächsminuten und versendeten SMS in Deutschland (in Mrd.)



Quelle: Bundesnetzagentur; Jahresbericht 2013

## 5.4 Nutzungsintensität – Entwicklung des mobilen Datenvolumens

### 5.4.1 Prognose Weltweit

Nach Berechnungen von Cisco<sup>71</sup> lag in 2013 das weltweite generierte mobile Datenvolumen bei 1,5 Exabyte (EByte) monatlich. In Übereinstimmung mit anderen Prognosen<sup>72</sup> ist die Erwartung, dass sich das Volumen in den nächsten fünf bis sechs Jahren verzehnfachen wird. Um die geschätzten 15,9 EByte pro Monat in 2015 zu erreichen, ist eine durchschnittliche jährliche Wachsrates (CAGR) von über 60% notwendig (siehe Abbildung 26). Die bestimmenden Gründe für diese Entwicklung sind die folgenden:

#### *Zunehmende Smartphone Penetration*

Die Zahl der mobile Endgeräte wird auch in den nächsten Jahren weiterhin deutlich zunehmen. Dabei wird der Anteil von „einfachen“ Handys deutlich zurück gehen, während der Anteil von Smartphones von heute 24,9% auf 38,5% ansteigen wird. Weiterhin zunehmen wird die Zahl der Tablets und insbesondere die Zahl der M2M-Endgeräte.

<sup>71</sup> Cisco, Cisco Visual Networking Index: Global MobileData Traffic Forecast Update, 2013–2018

<sup>72</sup> Ericsson Mobility Report 2014

Insbesondere die zunehmende Smartphone Penetration treibt dabei das mobile Datenvolumen. Denn ein Smartphone generiert heute etwa 48x mehr Datenverkehr als ein Basis-Handy. Während ein Basis-Handy im Durchschnitt monatlich etwa 11 Mbyte Datenverkehr generiert, waren es beim Smartphone in 2013 529 Mbyte. Beachtlich ist hierbei auch der Zuwachs im Vergleich zum Vorjahr. In 2012 lag das durchschnittliche monatliche Datenvolumen bei Smartphones bei 353 Mbyte und ist somit innerhalb eines Jahres um 50% gestiegen.<sup>73</sup>

#### *Zunehmende LTE-Coverage*

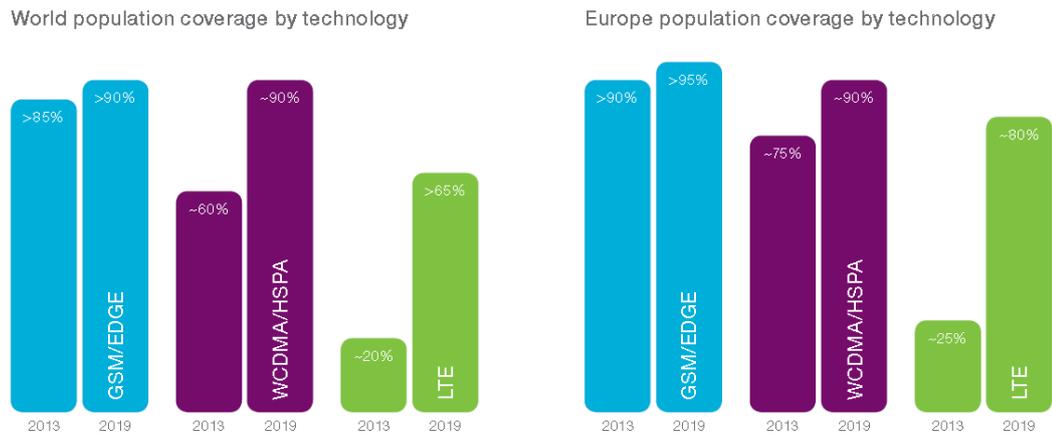
Die LTE Coverage wird in den nächsten Jahren in Europa wie auch weltweit deutlich steigen. In Europa wird in 2019 eine LTE Coverage von etwa 80% erwartet und weltweit soll sie auf 65% ansteigen (siehe die folgenden Abbildung). Einhergehend mit dieser Entwicklung, wird durch die Einführung von LTE-Advanced, die Übertragungsgeschwindigkeit pro Nutzer deutlich ansteigen. Diese liegt in 2013 nach Cisco Angaben bei etwa 8 Mbit/s und wird sich mit 14 Mbit/s in 2018 fast verdoppeln. Im Vergleich dazu steht heute einem 3G-Nutzer eine Bandbreite von etwas mehr als 2 Mbit/s zur Verfügung. Die höhere verfügbare Bandbreite führt dazu, dass ein LTE-Nutzer heute 14,5x mehr mobilen Datenverkehr generiert als ein nicht-LTE-Nutzer.

Das Zusammenspiel von höherer LTE Coverage, zunehmender LTE-Nutzung und durch LTE-A höhere Übertragungsgeschwindigkeiten wird dazu führen, dass der LTE-Verkehrsanteil am gesamten mobilen Datenvolumen in den nächsten Jahren deutlich steigen wird. Obwohl heute erst 2,9% der mobilen Verbindungen LTE-Verbindungen sind, liegt der LTE-Verkehrsanteil schon bei 30%. In 2018 ist die Erwartung, dass über die Hälfte des mobilen Datenverkehrs über 4G-Technologie generiert wird.

---

<sup>73</sup> Cisco (2014a), Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013–2018

Abbildung 25: Entwicklung der LTE-Coverage Weltweit und in Europa



Quelle: Ericsson (2014); Ericsson Mobility Report, Jun2014

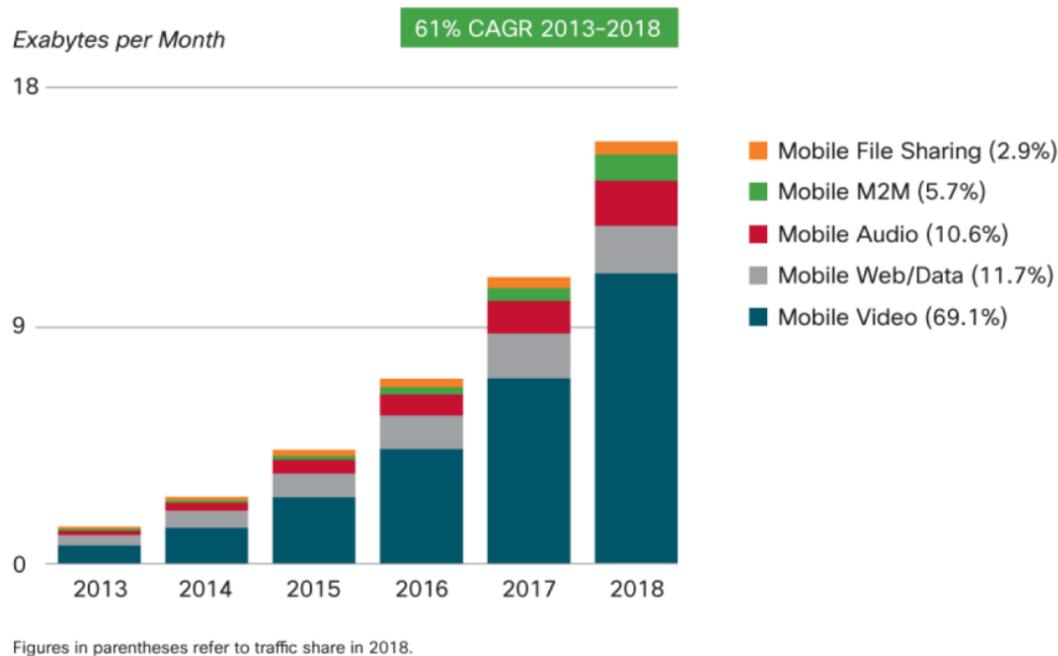
### Zunehmende Video-Nutzung

Durch die technischen Möglichkeiten der Smartphones und der durch LTE möglichen Übertragungsgeschwindigkeiten wird die mobile Video-Nutzung immer populärer. Die mobile Video-Nutzung ist der Dienst, der auch zukünftig für den starken Anstieg des mobilen Datenvolumens verantwortlich ist. Die folgende Abbildung zeigt dies eindrucksvoll. So entfallen in 2018 fast 70% des gesamten mobilen Datenverkehrs auf die mobile Video-Nutzung.

Zur Steigerung des Datenverkehrs im Mobilfunk wird zukünftig die starke Nutzung der Machine-to-Machine (M2M)-Dienste<sup>74</sup> beitragen. Während das Übertragungsvolumen aus diesem Bereich heute noch kaum eine Rolle spielt, wird es in 2018 einen signifikanten Anteil am gesamten mobilen Datenverkehr haben.

<sup>74</sup> Machine-to-Machine (M2M) steht für den automatisierten Informationsaustausch zwischen Endgeräten wie Maschinen, Automaten, Fahrzeugen oder Containern untereinander oder mit einer zentralen Leitstelle, zunehmend unter Nutzung des Internets und den verschiedenen Zugangsnetzen, wie dem Mobilfunknetz. Eine Anwendung ist die Fernüberwachung, -kontrolle und -wartung von Maschinen, Anlagen und Systemen, die traditionell als Telemetrie bezeichnet wird. Die M2M-Technologie verknüpft dabei Informations- und Kommunikationstechnik.

Abbildung 26: Entwicklung des weltweiten mobiles Datenvolumens



Quelle: Cisco (2014a)

#### 5.4.2 Entwicklung in Deutschland

Wie weltweit, so ist auch in Deutschland in den letzten Jahren das mobile Datenvolumen stark angestiegen. Lag das Volumen in 2009 noch bei 33,3 Mio. Gbyte, so erreichte es in 2013 267 Mio. Gbyte. Dies entspricht einem jährlichen Wachstum von 62% oder anders ausgedrückt: Das mobile Datenvolumen verdoppelt sich alle zwei Jahre.

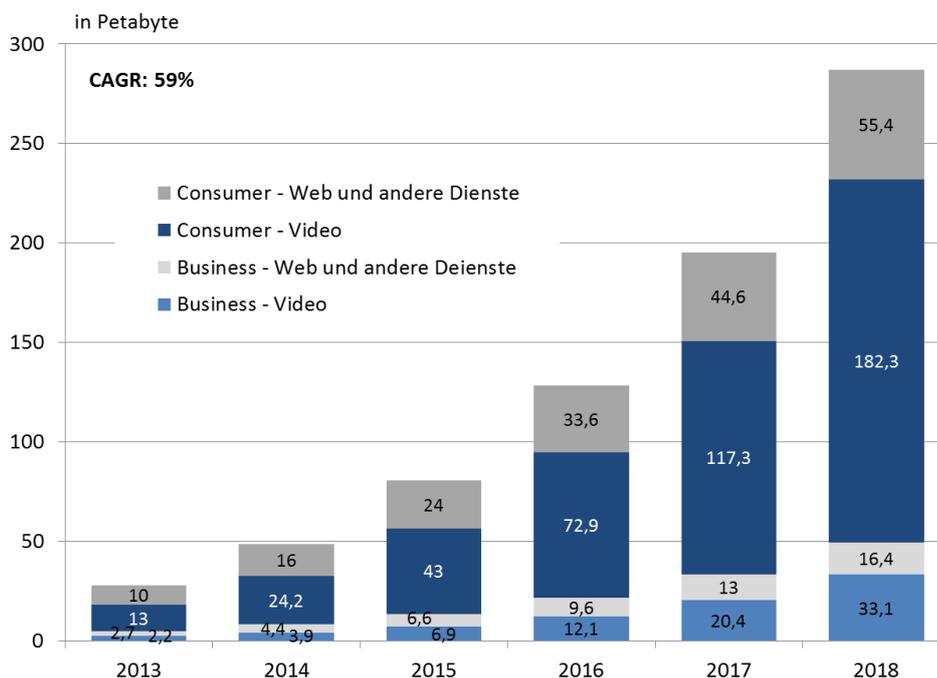
Datendienste werden in der Regel von den UMTS bzw. LTE Nutzern in Deutschland genutzt. Bezogen auf die 36,9 Mio. UMTS / LTE-Nutzer in 2013, ergibt sich ein monatliches Datenvolumen von 0,6 GByte monatlich pro UMTS / LTE Nutzer. In 2009 lag dieser Wert noch bei 0,15 GByte pro Monat, hier hat also eine Vervielfachung innerhalb der letzten fünf Jahre stattgefunden. Trotz dieses starken Anstiegs in den vergangenen Jahren, ist das mobile Datenvolumen im Vergleich zum Festnetz Datenvolumen noch immer sehr gering. Denn im Vergleich dazu wurde an einem festnetzbasierendem Breitbandschluss in 2013 ein Datenvolumen von über 22 Gbyte generiert. Damit liegt es um den Faktor 40 über dem Datenvolumen eines durchschnittlichen UMTS / LTE Nutzers. Das ganze relativiert sich ein wenig, wenn man berücksichtigt, dass ein festnetzbasierter Anschluss häufig von mehr als einem Nutzer verwendet wird.

Es gibt keine offiziellen Statistiken wie sich das mobile Datenvolumen im internationalen Vergleich darstellt. Beim Blick in die Daten von Vodafone zeigt sich jedoch, dass die

mobile Datennutzung in Deutschland aktuell etwa 20% unter der im europäischen Durchschnitt<sup>75</sup> bei Vodafone liegt. Ein Vodafone-Smartphone Nutzer verbraucht im Durchschnitt ein Datenvolumen von 444 Mbyte / Monat, der europäische Durchschnittsnutzer liegt bei 530 Mbyte / Monat. Das mobile Datenvolumen pro Nutzer hat dabei im 1. Halbjahr 2014 weiterhin stark zugenommen (+25%).<sup>76</sup>

Nach den Prognosen von Cisco<sup>77</sup> wird das mobile Datenvolumen in Deutschland, mit jährlichen Wachstumsraten von knapp 60%, auch bis 2018 ungebremst weiter wachsen. Wie die folgende Abbildung zeigt, gehen die Wachstumsimpulse dabei verstärkt vom Segment der Video-Dienste aus. Während bei den anderen Internet-Diensten Zuwächse von etwa 50% erwartet werden, sollen die Video-Dienste in den nächsten Jahren um durchschnittlich 62% zulegen. Dabei erfolgt die Zunahme der Video-Nutzung sowohl im privaten wie auch im geschäftlichen Bereich. Entfallen heute etwa 50% des gesamten Internet-Verkehrs in Deutschland auf die Nutzung von Video-Streams, so ist die Erwartung, dass der Anteil in 2018 auf 75% ansteigen wird.

Abbildung 27: Entwicklung des monatlichen mobilen Datenverkehrs in Deutschland (in PByte)



Quelle: Cisco (2014b)

<sup>75</sup> Hier werden die Länder betrachtet in denen Vodafone aktiv ist: Niederlande, UK, Deutschland, Portugal, Griechenland, Spanien, Italien und die Tschechische Republik

<sup>76</sup> Vodafone Group Plc (2014), Interim Management Statement, 25m July 2014

<sup>77</sup> Cisco (2014b); Projecting global IP traffic growth; abrufbar unter: <http://www.ciscovni.com/forecast-widget/index.html>

## 6 Gemessene Performance im Vergleich zu anderen Technologien

### 6.1 Dienstqualität des stationären LTE-Zugangs in Deutschland

Vor dem Hintergrund von Transparenzvorgaben in §§ 43a, 45n Telekommunikationsgesetz (TKG) und aufgrund eines hohen Beschwerdeaufkommens zu maximal möglichen Bandbreiten hat die Bundesnetzagentur eine Reihe von Maßnahmen<sup>78</sup> zur Transparenzsteigerung durchgeführt. Im Rahmen dieser Maßnahmen führte die BNetzA in 2012 und 2013 jeweils eine Messkampagne durch, bei der Internetnutzer die Geschwindigkeit ihres Breitbandanschlusses überprüfen konnten. Gegenstand der Messungen waren die Übertragungsraten der Breitbandverbindungen über Kabel-, DSL- und stationäre LTE-Anschlüsse.<sup>79</sup> Basierend auf einer Viertelmillion ausgewerteter Messungen geht die Studie der Fragestellung nach, wie häufig und wie stark die tatsächlich erreichte Datenübertragungsrate von der vermarkteten „bis zu“-Übertragungsrate abweicht. Dabei wurden verschiedene Technologien und regionale Unterschiede in den Blick genommen. Die Studie 2013 kommt zu dem Schluss, dass (a) deutliche Diskrepanz zwischen der vertraglich vereinbarten Maximaldatenübertragungsrate und der tatsächlich realisierten Datenübertragungsrate vorliegen, und dass (b) Transparenz bei der Leistungserbringung einen wichtigen Einfluss auf die Kundenzufriedenheit hat.

Von den 153.216 durchgeführten validen Messungen entfielen 6.091 Messungen bzw. 4% auf stationäre LTE-Verbindungen. LTE stationär bezeichnet in dieser Untersuchung den Einsatz der LTE-Zugangstechnologie als Alternative zu Festnetzanschlüssen über ein LTE-Modem/Router.<sup>80</sup> Mobile LTE-Verbindungen über Smartphones, Surfsticks und Tablets wurden nicht berücksichtigt.

Als Ergebnis der Untersuchung zeigt sich, dass der Anteil der Nutzer der x % (50%, 60%, 70%...100%) der markteten Datenübertragungsrate erhalten bei den festnetz-basierten DSL und Kabelanschlüssen mit einer Ausnahme immer höher liegen als bei stationären LTE-Anschlüssen. So erhalten bei Kabelanschlüssen 86,7% 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate, bei DSL sind dies 76,2 % während bei stationären LTE-Anschlüssen „nur“ 57,6% der Nutzer 50% der vermarkteten Bandbreite erhalten (siehe die folgende Tabelle). Besonders groß ist der Unterschied mit Blick auf 100% der vermarkteten Bandbreite. Diese erhalten bei den Kabelanschlüssen immerhin 50,7% der Nutzer, während es bei LTE dagegen nur noch 14,5% der Nutzer sind. Bei DSL-Anschlüssen fällt der Wert auf sehr geringe 9% zurück.

---

78 Vgl.

[http://www.bundesnetzagentur.de/cln\\_1412/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen\\_Institutionen/Breitband/Dienstqualitaet/Eckpunkte/Eckpunkte-node.html;jsessionid=4817BAD517394DCC784E1E3B40D521E4](http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1412/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/Dienstqualitaet/Eckpunkte/Eckpunkte-node.html;jsessionid=4817BAD517394DCC784E1E3B40D521E4)

79 Das Messverfahren basiert auf sich ergänzenden Messansätzen: Die Messungen erfolgten zum einen über eine deutschlandweite Messplattform und zum anderen über eine Software-Applikation, die Endkunden über die Webseite [www.initiative-netzqualitaet.de](http://www.initiative-netzqualitaet.de) genutzt haben.

80 Vgl. [www.initiative-netzqualitaet.de](http://www.initiative-netzqualitaet.de).

Beim Vergleich der Studienergebnisse zwischen 2012 und 2013 zeigen sich bei LTE nur geringe Verbesserungen der Werte. Bei 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate stieg der Wert um knapp 2% von 55,6% auf die eben genannten 57,4%. Ein Grund hierfür kann sein, dass sich durch die steigende Zahl der LTE-Nutzer nun mehr Nutzer in jeweils einer Zelle aufhalten und damit die Bandbreite pro Nutzer sinkt.

Tabelle 8: Anteil der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate						
Technologie	50%	60%	70%	80%	90%	100%
DSL	76,2%	68,9%	60,1%	48,7%	35,6%	9%
Kabel	86,7%	82,8%	77,7%	72,9%	66,5%	50,7%
LTE	57,4%	48,2%	41,1%	33,6%	26,9%	14,5%

Quelle: Bundesnetzagentur (2014); Dienstqualität von Breitbandzugängen II

Bei allen untersuchten Technologien geht mit erhöhten Datenübertragungsraten der Anteil der Nutzer die x% der markteten Datenübertragungsrate erhalten zurück. Als besonders stabil zeigen sich jedoch die Werte bei den Kabelanschlüssen, während gerade bei DSL-Anschlüssen der Prozentsatz der Nutzer die 100% der vermarkteten Bandbreite erhalten am geringsten ist.

Im Detail zeigt sich bei LTE-Anschlüssen hier das folgende Bild. Von den LTE-Anschlüssen mit den vermarkteten Geschwindigkeiten von 2-8 Mbit/s erhielten 71% der LTE-Nutzer die halbe und fast 30% die volle Datenübertragungsrate. Besonders große Abweichungen von den im Vertrag genannten LTE-Bandbreiten wurde bei Übertragungsraten zwischen 25 Mbit/s und 50 Mbit/s festgestellt. Hier erhielten nur 38,7% der LTE-Nutzer die Hälfte der vermarkteten Datenübertragungsrate, während lediglich 5,5% der Nutzer die volle Geschwindigkeit bekommen.

Tabelle 9: Anteil der Nutzer von LTE Technologie, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten

Datenübertragungsraten	Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate					
	50%	60%	70%	80%	90%	100%
2-8 Mbit/s	71%	63,9%	59,5%	54,7%	48,2%	29,5%
18-25 Mbit/s	38,7%	28,4%	21,8%	15,5%	10,7%	5,5%
25-50 Mbit/s	38,7%	28,4%	21,8%	15,5%	10,7%	5,5%

Quelle: Bundesnetzagentur (2014)

## 6.2 Dienstqualität des mobilen LTE-Zugangs in Deutschland

In verschiedenen Fachzeitschriften werden jährlich Netztests durchgeführt um die besten Mobilfunknetzbetreiber zu küren. Wir stellen in diesem Kapitel die Ergebnisse des LTE-Tests der Zeitschrift „CHIP“ dar.<sup>81</sup>

CHIP hat für diesen Netztest Deutschlandweit über 100.000 Messungen Mitte 2014 durchgeführt. Im Fokus des Tests standen dabei zwei Fragestellungen: Zum einen wie gut ist die LTE-Verfügbarkeit und zum anderen welche Performance liefern die Netze im LTE-Modus. Mit Blick auf die einzelnen Netzbetreiber liefert der Netztest dabei die folgenden Ergebnisse:

Die Telekom Deutschland erreicht bei der mittleren Downloadrate mit 38,4 Mbit/s den mit Abstand höchsten Wert aller Netzbetreiber. Auch die mittleren Upload-Raten liegen durchweg fast doppelt so hoch wie bei den Wettbewerbern. Ebenso bei der Zuverlässigkeit ihres LTE-Netzes belegt die Telekom den ersten Platz. Die Erfolgsquote für Downloads, Uploads, Streaming und Seitenaufrufen liegt immer über 99%. Lediglich bei der LTE-Verfügbarkeit (bezogen auf die Messzeit) liegt die Telekom mit 68,6% leicht hinter Vodafone. Bei den Messungen nutzte die Telekom zu 77% das 1.800 MHz Band. Dort hat der Konzern einen 20 MHz breiten Abschnitt ersteigert, und das ist notwendig, um das theoretische Maximum bei den Transferraten zu erreichen. Nur 22% des LTE-Datenverkehrs wickelte die Telekom während des Tests übers 800-MHz-Band ab. Zu den hohen Down- und Uploadraten trägt darüber hinaus auch bei, dass die Telekom fast alle ihrer Basisstationen per Glasfaser angebunden hat.

Mit einer Quote von 75,5% führt Vodafone den Netztest bei der LTE-Verfügbarkeit an. Dies ist eine deutliche Steigerung gegenüber dem Vorjahr als der Wert bei 60% lag. Hier zeigt sich deutlich mit welcher Dynamik Vodafone seinen Netzausbau voran getrieben hat. Bei den Down- und Uploadraten bleibt Vodafone mit Werten von 17,1 Mbit/s und 13,2 Mbit/s jedoch deutlich hinter dem Konkurrenten Telekom zurück. Auch bei der Zuverlässigkeit seines LTE-Netzes erreicht Vodafone deutlich geringere Werte als die gesamte Konkurrenz. So liegen die Erfolgsquoten bei Down und Upload unter 97%.

O2 Telefónica hat sein LTE-Netz im Vergleich zum letzten Jahr deutlich ausgebaut. Im vergangenen Jahr erreichte O2 Telefónica vor allem auf dem flachen Land nur eine LTE Verfügbarkeit von 7,7%, während die Städte mit über 50% ganz gut versorgt waren. In diesem Jahr sieht O2 in den Messungen über Autobahn und Landstraße mit einem Anteil von 40% der Messzeit passabel aus. Insgesamt beträgt die von uns ermittelte Quote für die LTE-Verfügbarkeit fast 58%. Die Performance-Werte von O2 zeigen eine ähnliche Tendenz wie die für Vodafone: Die Downloads erreichen im Schnitt 16,6 Mbit/s und die Uploads kommen auf 10,7 Mbit/s.

---

<sup>81</sup> CHIP (2014); LTE im Test: Das Netz der Zukunft

Die LTE-Verfügbarkeit von E-Plus ist mit 27,7% noch relativ bescheiden, dafür zeigt das LTE-Netz jedoch eine gute Performance. Das Netz von E-Plus zeichnet sich durch hohe Downloadraten aus. Ein Schnitt von 26,7 Mbit/s liegt zwischen dem des Spitzenreiters Telekom und den Netzen von Vodafone und O2. Auch bei den Uploadraten liegt E-Plus auf dem zweiten Platz. Schaut man sich die Erfolgsquoten für Datentransfers, Webseiten-Aufrufe und YouTube-Streaming an, behauptet E-Plus ebenfalls einen kleinen Vorsprung vor Vodafone und O2.

Tabelle 10: Ergebnisse des LTE-Netztests der Zeitschrift CHIP 2014

	TELEKOM	VODAFONE	O2	E-PLUS
<b>Anteil LTE</b>	68,7%	75,5%	57,9%	27,6%
<b>davon im 800 MHz Band</b>	22%	82%	99%	0%
<b>davon im 1.800 MHz Band</b>	77%	0%	1%	100%
<b>davon im 2.600 MHz Band</b>	1%	18%	1%	0%
<b>Performance</b>				
<b>Erfolgsquote Download</b>	99,8%	96,5%	99,9%	99,1%
<b>Mittlere Downloadrate</b>	38,4 Mbit/s	17,1 Mbit/s	16,6 Mbit/s	26,7 Mbit/s
<b>Downloads mit mehr als 5 Mbit/s</b>	98,8%	85,4%	88,7%	96,0%
<b>Erfolgsquote Upload</b>	99,5%	96,7%	96,8%	99,2%
<b>Mittlere Uploadrate</b>	25,2 Mbit/s	13,2 Mbit/s	10,7 Mbit/s	13,6 Mbit/s

## 7 Substitutionseffekte im Retail-Bereich

In diesem Kapitel soll erstens untersucht werden, inwieweit a priori ein LTE-Anschluss ein Substitut für einen festnetzbasieren Breitbandanschluss darstellen kann (Abschnitte 7.1. – 7.5). Zweitens fokussieren wir aus empirischer Sicht auf die Frage, inwieweit es in Deutschland tatsächlich zu Substitutionsbeziehungen zwischen stationärem LTE- und Festnetz-Breitband gekommen ist (Abschnitt 7.6). Drittens adressieren wir Aspekte der mobilen LTE-Nutzung und fragen nach Belegen für substitutive oder komplementäre Nutzung (Abschnitt 7.7).

Die Analyse in diesem Kapitel geht dabei von folgender Charakterisierung eines Substitutes aus: Substitute sind Güter oder Dienste, die dieselben oder ähnliche Bedürfnisse stillen und daher vom Konsumenten als gleichwertig angesehen werden. Anders gesagt, die funktionale Austauschbarkeit zwischen den Gütern oder Diensten ist gegeben, wenn sie sich hinsichtlich Leistung(sumfang), Qualität, Preis, Nutzungsbedingungen und Verfügbarkeit so weit entsprechen, dass sie dazu geeignet sind, denselben Bedarf beim Nachfrager zu decken.

### 7.1 Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf den Leistungsumfang

Über einen vollwertigen Breitbandanschluss sollte grundsätzlich die Nutzung aller internetbasierten Dienste und Applikationen möglich sein. Dies wird durch das Gebot der Netzneutralität sichergestellt.<sup>82</sup>

Im Mobilfunkbereich gibt es aber schon bei der Internet-Nutzung über die 3G-Technologie (UMTS / HSDPA) häufig Einschränkungen, insoweit als die Nutzung von Voice over IP (VoIP) und/oder Peer-to-Peer (P2P) Kommunikation bei einzelnen Netzbetreibern nicht erlaubt ist. Dies ist kein deutsches Phänomen allein, sondern gängige Praxis sowohl in Europa als auch außerhalb Europas.<sup>83</sup>

Auch beim LTE-Dienstangebot in Deutschland gibt es bereits Einschränkungen. Mit Blick auf stationäre LTE-Anschlüsse („LTE-zu Hause“ Angebote) gilt:

- Bei Vodafone ist es laut Fußnoten in den „LTE Zuhause Telefon & Internet“ Tarifen nicht gestattet, Voice over IP und Peer-to-Peer-Kommunikation zu nutzen. Damit ist insbesondere die Skype-Nutzung bei den LTE-Tarifen ausgeschlossen.

<sup>82</sup> Gemäß dem Report von Pilar del Castillo Vera zum European single market for electronic communications, COM(2013)0627 – C7-0267/2013 – 2013/0309(COD) vom 26. März enthält Recital 45 den folgenden Passus: “The principle of ‘net neutrality’ in the open internet means that traffic should be treated equally, without discrimination, restriction or interference, independent of the sender, receiver, type, content, device, service or application.” Vgl. European Parliament (2014), Proposal for a regulation, Recital 45; abrufbar unter: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+AMD+A7-2014-0190+237-244+DOC+PDF+V0//EN>.

<sup>83</sup> Elixmann, D., Gries, C. (2012); Netzneutralität im Mobilfunk; W'IK-Diskussionsbeitrag Nr. 396; 2012

- Der Netzbetreiber O2 Telefónica schließt in seinen 4G-Tarifen „O2 LTE für Zuhause“ explizit „Peer-to-Peer-Verkehr“ aus. Eine Einschränkung bei VoIP lässt sich jedoch in den Bedingungen für die 4G-Nutzung nicht erkennen.
- In den Vertragsbedingungen der Telekom für den LTE-Tarif „Call & Surf Comfort via Funk“ steht, dass die Nutzung von Peer-to-Peer-Kommunikation erst nach dem Verbrauch des Datenvolumens eingeschränkt wird: „Darüber hinaus ist ein Peer-to-Peer-Verkehr in diesem Zeitraum [nach der Drosselung der Surfgeschwindigkeit] nicht mehr möglich.“ Regelungen zur Nutzung von Voice over IP findet man in der Leistungsbeschreibung des LTE-Tarifs von T-Mobile jedoch nicht.

Bei der mobilen Internet-Nutzung über LTE gibt es bei allen Netzbetreibern Einschränkungen mit Blick auf angebotenen Leistungsumfang, diese sind jedoch von Netzbetreiber zu Netzbetreiber unterschiedlich stark ausgeprägt.

## 7.2 Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf Qualitätsaspekte

Für die Analyse des Substitutionspotenzials relevante Qualitätsaspekte sind aus unserer Sicht a priori:

- die Übertragungsbandbreite,
- das Übertragungsvolumen,
- die Parallelnutzung des Internet durch andere Nutzer.

### 7.2.1 Übertragungsbandbreite

Die maximal erreichbaren Übertragungsbandbreiten liegen bei LTE bei 300 Mbit/s im Download, mit LTE-A werden zukünftig bis zu 1200 Mbit/s möglich sein (siehe Kapitel 2.4). Die vermarkteten Übertragungsbandbreiten liegen heute zwischen 7,2 Mbit/s und 100 Mbit/s bei stationären LTE-Anschlüssen (siehe Tabelle). Bei Telekom Deutschland kann der Nutzer mobile LTE-Anschlüsse inzwischen mit einer Bandbreite von bis zu 300 Mbit/s im Download nutzen<sup>84</sup>.

Die folgende Tabelle zeigt das aktuelle Angebot von „LTE-Zuhause“ – Tarifen in Deutschland. Telekom Deutschland und Vodafone bieten drei unterschiedliche Tarife an. Telekom Deutschland hat dabei die höchsten Bandbreiten im Angebot: Der Kunde hat die Auswahl zwischen 16 Mbit/s, 50 Mbit/s und 100 Mbit/s. Im Gleichschritt mit den steigenden Bandbreiten, steigt auch das Inklusiv-Volumen.

---

<sup>84</sup> In den Tarifen „MagentaMobil L Plus Premium“ und „Complete Premium“ stehen dem Nutzer Bandbreiten von bis zu 300 Mbit/s zur Verfügung.

Tabelle 11: Übersicht der LTE-Angebote zur stationären Nutzung (LTE Zuhause)  
(Stand: Mitte 2014)

	Vodafone LTE Zuhause Telefon & Internet			Telekom Call & Surf Comfort via Funk			O2 LTE 4G Zuhause
	I	II	III	I	II	III	
Download	7,2 Mbit/s	21,6 Mbit/s	50 Mbit/s	16 Mbit/s	50 Mbit/s	100 Mbit/s	7,2 Mbit/s
Upload	1,4 Mbit/s	5,7 Mbit/s	10 Mbit/s	1,4 Mbit/s	10 Mbit/s	50 Mbit/s	
Inklusiv-Volumen, danach	10 Gbyte	15 Gbyte	30 Gbyte	10 Gbyte	15 Gbyte	30 Gbyte	10 Gbyte
Drosselung auf:	384 kbit/s	384 kbit/s	384 kbit/s	384 kbit/s	384 kbit/s	384 kbit/s	384 kbit/s
Telefon Flatrate Festnetz	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Preis (monatlich)	24,99 €	34,99 €	44,99 €	34,95 €	ab 39,95 €	ab 49,95 €	39,90 €

Im Vergleich dazu stehen aktuell bei den DSL-basierten Breitbandanschlüssen keine höheren Bandbreiten zur Verfügung. Die Kabelnetz-Anbieter haben in der jüngsten Vergangenheit ihre Download-Geschwindigkeiten deutlich erhöht und bieten Geschwindigkeiten bis zu 200 Mbit/s im Download an. Die folgende Übersicht zeigt die aktuell im Festnetz vermarkteten Bandbreiten nach Technologien.

- ADSL 16 Mbit/s
- VDSL 50 Mbit/s
- VDSL Vectoring 100 Mbit/s
- Kabelanschluss (Kabel Deutschland) 200 Mbit/s
- Kabelanschluss (Unity Media) 200 Mbit/s

Hierbei ist anzumerken, dass gerade über Kabelanschlüsse die höchsten Übertragungsbandbreiten im Download angeboten werden. Diese Anschlüsse jedoch nur sehr geringe Uploadraten von 2,5 bis maximal 12 Mbit/s bieten.

### 7.2.2 Übertragungsvolumen

Die kontraktuelle Gestaltung bzw. Tarifierung von LTE-Anschlüssen impliziert in der Regel (nicht nur in Deutschland) eine Beschränkung des monatlichen Übertragungsvolumens (Inklusiv-Volumen). Dies stellt eine funktionelle Einschränkung bei der Nutzung eines LTE-Anschlusses dar.

Die Inklusiv-Volumina liegen in Deutschland bei stationären LTE-Anschlüssen (LTE Zuhause), je nach gewähltem Tarif zwischen 10 und 30 GByte. Bei mobilen LTE-Anschlüssen ist das inklusiv Übertragungsvolumen deutlich geringer, hier liegen die Inklusiv-Volumina zwischen 300 Mbyte in Einsteiger-Tarifen und bis zu 20 GByte<sup>85</sup> in sehr teureren Premium-Tarifen. Wird das Inklusiv-Volumen erreicht, wirkt automatisch eine Daten-Drosselung, d.h. die bisher nutzbare Übertragungsbandbreite wird gesenkt.

<sup>85</sup> Vodafone bietet in seinem Tarif „Red 20“ für 99,99 € monatlich ein Inklusiv-Datenvolumen von 20 GByte

Bei stationären LTE-Anschlüssen in Deutschland wird nach Überschreiten der Inklusiv-Volumen bei allen Anbietern die Bandbreite auf 384 kbit/s gedrosselt. Bei mobilen LTE-Anschlüssen ist die Drosselung noch ausgeprägter, hier erfolgt eine Kappung der Bandbreite auf 32 kbit/s oder 64 kbit/s.

Gleichwohl ist auch festzuhalten, dass es mit Blick auf festnetzbasierende Breitbandanschlüsse Ansätze gibt, Drosselung zu implementieren. Nachfolgend sollen einige diesbezügliche Beispiele vorgestellt werden.

- Die Telekom Deutschland hatte im April 2013 die Geschwindigkeitsdrosselung bei ihren festnetzbasierenden Internetanschlüssen offiziell verkündet und einen entsprechenden Passus in alle Verträge eingeführt, die seit dem 2. Mai abgeschlossen wurden. Je nach gebuchter Internet-Geschwindigkeit sollten ab 2016 die Zugänge nach einer bestimmten Datenmenge reduziert werden. Für Zugänge mit einer Geschwindigkeit von bis zu 16 Megabit pro Sekunde, sollte die Grenze bei 75 Gigabyte liegen, bei Zugängen mit bis zu 50 Megabit pro Sekunde sollten es 200 Gigabyte sein. Ursprünglich war eine Drosselung auf 384 Kilobit pro Sekunde vorgesehen, die im Nachgang auf zwei Megabit pro Sekunde angehoben wurde. Von den neuen Geschäftsbedingungen sollten aber nur Neukunden betroffen sein. Die Telekom Deutschland darf nach einer Entscheidung des Kölner Landgerichts die Surfgeschwindigkeit bei Pauschaltarifen jedoch nicht einschränken. Die entsprechende Vertragsklausel erklärte das Kölner Landgericht für unzulässig und gab damit einer Klage der Verbraucherzentrale NRW statt. Mit dem Begriff Flatrate verbinde der Kunde bei Internetzugängen über das Festnetz einen Festpreis für eine bestimmte Surfgeschwindigkeit und rechne nicht mit Einschränkungen, begründete die Zivilkammer des Gerichts ihre Entscheidung.
- Telefónica Deutschland hat Ende 2013 neue DSL-Tarife vorgestellt, die eine Drosselung des Internetanschlusses ab einem bestimmten Datenverbrauch beinhalten. Die Drosselung befindet sich bereits in allen Verträgen zu den Tarifen O2 DSL All-In S, All-In M und All-In L beziehungsweise in allen Tarifen, die seit dem 17.10.2013 abgeschlossen wurden. Ältere Tarife sind von der Drosselung nicht betroffen. Im Einzelnen gilt: (1) Beim O2 DSL All-In S mit einer Download-Geschwindigkeit von 8 Mbit/s, wird diese bei der Überschreitung eines Datenverbrauchs von 100 GByte im Monat auf 2 Mbit/s gedrosselt. (2) Bei O2 DSL All-In M & All-In L wird laut AGB ab einem übertragenen Datenvolumen von 300 GByte pro Monat, was drei Monate in Folge erreicht werden muss, die Übertragungsgeschwindigkeit des Internet-Zugangs für den Folgemonat und für alle Folgemonate bei erneuter Überschreitung von 300 GB auf 2 Mbit/s begrenzt. Bei allen betroffenen Tarifen sollte die Drosselung ursprünglich bereits ab dem 1. Juli 2014 angewendet werden. Dieser Termin wurde inzwischen allerdings nach hinten verschoben: O2 drosselt seine Tarife jetzt erst ab dem 1. Oktober 2014.

- Auch United Internet (1&1) hat in seinem Produktangebot einen Breitbandanschluss mit Drosselung: Unter dem Namen „Surf & Phone-Flat Special“ kann der Nutzer 100 GByte im Monat mit einer Geschwindigkeit von 16 Mbit/s verbrauchen, danach wird die Downloadrate bis zum Monatsende auf 1.024 Kbit/s gedrosselt.
- Schließlich vermerkt der Kabelnetzbetreiber Kabel Deutschland in seinen AGBs: „Ab einem Gesamt-Download von mehr als 10 GB pro Tag wird die Übertragungsgeschwindigkeit für File-Sharing-Anwendungen bis zum Ablauf desselben Tages auf 100 Kbit/s Download-Geschwindigkeit begrenzt; Kabel Deutschland behält sich das Recht vor, ab 10 GB pro Tag zu drosseln.“<sup>86</sup>

Neben den oben genannten „großen“ Internet-Access-Anbietern gibt es noch einige weitere City-Carrier, die die Geschwindigkeit drosseln, wenn ein bestimmtes Datenvolumen erreicht wird.

Insgesamt ergibt damit der Vergleich Mobilfunk-Festnetz:

- Eine Begrenzung des Datenvolumens ist im Mobilfunk gängige Praxis, die von allen Netzbetreibern angewandt wird. Die mit einer Drosselung einhergehende Nutzungseinschränkung erlaubt bei stationären LTE-Anschlüssen nur noch die Basis-Nutzung des Internets, wie z.B. das Mailen oder das klassische Internet-Surfen. Bei mobilen LTE-Anschlüssen sind bestimmte Internet-Dienste gar nicht mehr nutzbar, da die benötigte „Mindestbandbreite“ höher liegt.
- Auch bei festnetzbasierteren Breitbandanschlüssen sind Drosselungsaktivitäten beobachtbar. Diese sind jedoch am Markt eher schwer durchzusetzen. Die zur Verfügung gestellten Bandbreiten nach einer Drosselung liegen beim Festnetzanschluss im Mbit/s-Bereich, sie sind also erheblich höher als bei der Drosselung im Mobilfunkbereich.
- Bei festnetzbasierteren Breitbandanschlüssen liegen die Inklusiv-Datenvolumina jedoch so hoch, dass der typische Internet-Nutzer von einer Drosselung nicht betroffen sein wird. Von einer Drosselung wären in erster Linie Nutzer betroffen, die in sehr starkem Maße Video-Downloads durchführen.

### 7.2.3 Parallelnutzung des Internet durch andere Nutzer

Die LTE Technologie ist ein „Shared Medium“, d.h. alle Nutzer in einer Funkzelle teilen sich die verfügbare Bandbreite. Mit der Folge, je mehr Nutzer gleichzeitig das Internet innerhalb einer Funkzelle nutzen, umso geringer wird die Bandbreite die dem einzelnen Nutzer zur Verfügung steht.<sup>87</sup>

---

<sup>86</sup> Kabel Deutschland; Allgemeine Geschäftsbedingungen Internetanschlüsse; abrufbar unter: [http://www.kabeldeutschland.de/static/media/AGB\\_Internet\\_Telefon.pdf](http://www.kabeldeutschland.de/static/media/AGB_Internet_Telefon.pdf)

<sup>87</sup> Siehe hierzu ausführlich Kapitel 2.7 und Kapitel 6

Dies führt letztlich dazu, dass die Bandbreite die einem Nutzer zur Verfügung steht im Nutzungszeitraum sehr stark schwanken kann. Besonders stark betroffen sind hiervon stark frequentierte Lokationen, wie z.B. Flughäfen, Bahnhöfe etc. Weiterhin abhängig sein kann die verfügbare Bandbreite bei der LTE-Nutzung von der Tageszeit. Denn gerade während der Hauptnutzungszeit des Internets, zwischen 17 und 23 Uhr, sind besonders viele Nutzer im Internet unterwegs. Hiermit steigt natürlich auch die parallele Nutzung in einer LTE-Zelle.

Die Tatsache dass LTE ein „Shared Medium“ ist, hat zur Konsequenz, dass die verfügbare Bandbreite eines LTE-Nutzers deutlich höheren Schwankungen unterliegt wie die eines festnetzbasierten Internet-Nutzers. Für einen Mobilfunknetzbetreiber ist es bei LTE, trotz Netz- und Verkehrsmanagement deutlich anspruchsvoller einem Nutzer die vermarktete Bandbreite zur Verfügung zu stellen.

### **7.3 Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf Preise**

#### 7.3.1 Preishöhe

Die Preise für einen stationären LTE-Anschluss beginnen bei der Telekom Deutschland bei 34,95 €, für den schnellsten Anschluss sind monatlich 49,95 € zu zahlen (siehe Tabelle 9). Der teuerste Tarif bietet dabei eine maximale Bandbreite von 100 Mbit/s und ein Datenvolumen von 30 GByte.

Die stationäre LTE-Nutzung ist bei Vodafone bereits ab 24,95 € möglich. Hierfür erhält der Kunden eine maximale Downloadrate von 7,2 Mbit/s und das Inklusiv-Volumen liegt bei 10 Gbyte. Im Top-Tarif von Vodafone steht dem Kunden für 44,99 € im Monat eine maximale Bandbreite von 50 Mbit/s, verbunden mit einem Download-Volumen von 30 GByte zur Verfügung. Insgesamt gesehen sind die Tarife bei Vodafone ein wenig günstiger als bei der Telekom, dafür muss der Kunde jedoch geringere Bandbreiten in Kauf nehmen.

Telefónica Deutschland hat nur einen einzigen Tarif für seine Kunden im Angebot, wobei die aktive Vermarktung des Produktes eingestellt wurde. Mit einer geringen Bandbreite von nur 7,2 Mbit/s und einem im Verhältnis zu den beiden anderen Anbietern hohen Preis von monatlich 39,90 € erscheint das Angebot auch nicht wirklich wettbewerbsfähig.

#### *Wettbewerbsfähiger Preis*

Wie eben aufgezeigt, liegen die Preise für einen „LTE zu Hause“ Anschluss mit einer Bandbreite bis zu 21,6 Mbit/s bei 34,95€ monatlich. Im Vergleich dazu kosten vergleich-

bare festnetzbasierete ADSL-Breitbandanschlüsse, mit einer maximalen Bandbreite von 16 Mbit/s bei Telekom Deutschland oder 1&1 (United Internet) monatlich 34,99 €. <sup>88</sup>

Bei mit VDSL-Anschlüssen vergleichbaren Bandbreiten von 50 Mbit/s zahlt der Nutzer bei den LTE-Anbietern zwischen 39,99 € (Telekom Deutschland) und 44,99 € (Vodafone). Die entsprechenden VDSL-Anschlüsse kosten bei der Telekom Deutschland bzw. 1&1 (United Internet), von besonderen Preisaktionen abgesehen, 39,99 € im Monat.

Im Ergebnis zeigt sich also, dass sich die monatlichen Basispreise für ADSL/VDSL und LTE-Anschlüsse mit vergleichbarer Bandbreite nicht wesentlich unterscheiden.

#### **7.4 Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf Verfügbarkeit**

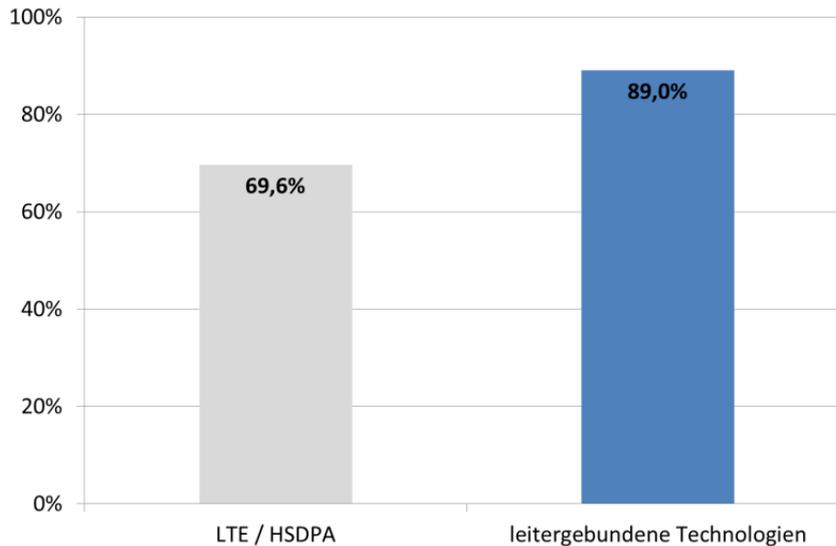
Ein Produkt oder Dienst kann nur dann ein Substitut für ein anderes sein, wenn beide grundsätzlich in etwa in gleichem Maße verfügbar sind. Zum Vergleich der Verfügbarkeit betrachten wir in diesem Abschnitt die Bandbreitenverfügbarkeit von LTE / UMTS – Anschlüssen mit der von leitergebundenen Anschlüssen. Verglichen wird dabei die Verfügbarkeit von Anschlüssen, die eine Übertragungsgeschwindigkeit von 6 Mbit/s und mehr bieten.

Wie die folgende Abbildung zeigt, können heute in Deutschland 89% der Haushalte über einen festnetzbasiereten Breitbandanschluss verfügen, der eine Übertragungsgeschwindigkeit von 6 Mbit/s und schneller bietet. Dagegen liegt die Verfügbarkeit von LTE/HSDPA – Anschlüssen, die diese Bandbreiten bereitstellen können, bei etwa 70%.

---

<sup>88</sup> Von einmaligen temporalen Aktionspreisen einmal abgesehen.

Abbildung 28: Bandbreitenverfügbarkeit in Deutschland nach Technologien bezogen auf Haushalte (Bandbreitenklasse  $\geq 6$  Mbit/s); Stand: Mitte 2014



Quelle: TÜV Rheinland (2014)

wik

Damit ist die Verfügbarkeit von schnellen drahtlosen Anschlüssen innerhalb eines Jahres deutlich angestiegen, denn sie lag Mitte 2013 noch bei 44,3%. Hieran zeigt sich deutlich der weiterhin schnelle LTE Ausbau der Netzbetreiber. Nach eigenen Angaben erreicht Vodafone aktuell etwa 70% der Bevölkerung, bei der Telekom Deutschland liegt die Outdoor-Coverage bei 74% und Telefónica Deutschland spricht von einer Coverage-Rate von 50%. E-Plus fällt mit 20% dagegen deutlich ab.

Mittelfristig wird sich die Verfügbarkeit von LTE wohl in etwa der der Festnetz-Produkte angleichen. Denn alle Netzbetreiber nennen als Ziel, innerhalb der nächsten zwei bis vier Jahre eine Coverage von etwa 85-90% zu erreichen.

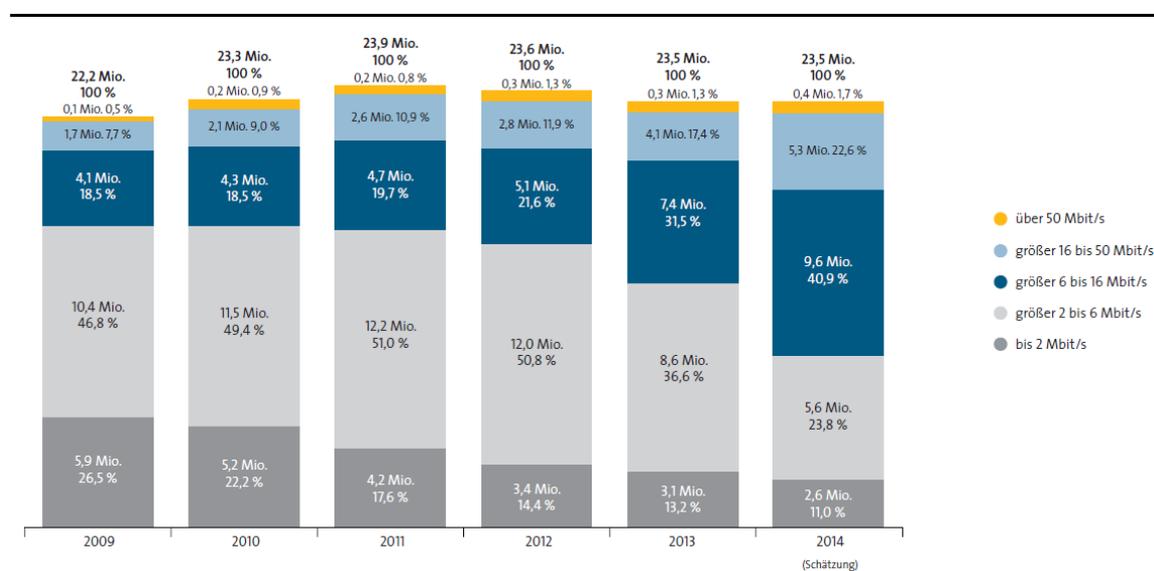
## 7.5 Substitutionspotenzial Festnetz- und LTE-Breitband mit Blick auf das Nutzungsverhalten

*Vergleich Angebot „LTE Zuhause“ und aktuelles Breitband-Nutzungsverhalten im Festnetzbereich*

Beim Vergleich des Angebots von „LTE Zuhause“ und dem was DSL-Kunden Ende 2013 an Bandbreite zur Verfügung steht, zeigt sich, dass diese Bandbreite für den überwiegenden Teil der Nutzer auch über „LTE Zuhause“ realisierbar wäre. Insbesondere mit Blick auf die aktuellen Angebote von Telekom Deutschland und Vodafone.

Denn auch Ende 2014 verfügen noch immer 76% der DSL- und FTTB Festnetzkunden nur über einen Anschluss mit einer maximalen Downloadrate von 16 Mbit/s. Etwa 35% der festnetzbasiereten Breitband-Nutzer steht nur eine maximale Bandbreite von bis zu 6 Mbit/s zur Verfügung.<sup>89</sup> An diesem Bild ändert sich auch wenig, wenn man die Breitbandanschlüsse der Kabelnetzbetreiber mit berücksichtigt. Diese weisen in der Regel zwar höhere Downloadbandbreiten auf, aber auch dann liegt der Anteil der vermarkteten Bandbreiten bis 30 Mbit/s noch immer bei 84% und der Anteil der Anschlüsse bis 10 Mbit/s bei fast 45%.<sup>90</sup> Wie die folgende Abbildung zeigt, hat sich an dieser Verteilung in den vergangenen drei Jahren wenig verändert. Die angebotenen LTE-Bandbreiten von Vodafone und Telekom bieten hier deutlich mehr Leistung.

Abbildung 29: Verteilung der DSL- und FTTB/H-Anschlüsse nach Download-Bandbreiten



Quelle: Dialog Consult / VATM (2014)

Im Ergebnis bedeutet dies, dass weit über 70% der festnetzbasiereten Internet-Nutzer ihre Bandbreite über einen LTE-Anschluss erhöhen könnten.

Wie sieht jedoch das über Festnetz-Breitbandanschlüsse generierte Datenvolumina aus? Könnten über „LTE zu Hause“ Anschlüsse entsprechende Datenvolumina realisiert werden oder reichen Letztere nicht aus, um das Internet wie im Festnetzbereich gewünscht zu nutzen?

Nach Berechnungen der Bundesnetzagentur lag 2013 das über Breitbandanschlüsse im Festnetz übertragende Datenvolumen pro Anschluss bei über 22 GByte im Monat.<sup>91</sup>

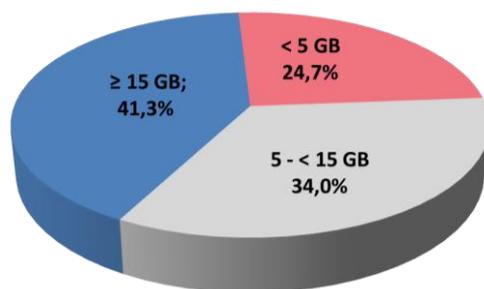
<sup>89</sup> Dialog Consult / VATM (2014), 15. TK-Marktanalyse Deutschland 2014

<sup>90</sup> BNetzA (2013); Jahresbericht 2013, S. 72

<sup>91</sup> BNetzA (2013); Jahresbericht 2013; S. 75

Damit wären in der Tat nur die Top-Tarife beim „LTE Zuhause“ Angebot so ausgestattet, um eine entsprechende Nachfrage zu bedienen. Eine differenzierte Betrachtung zeigt jedoch, dass bei fast 60% der DSL- und FTTB/H Anschlüsse das monatlich generierte Datenvolumen bei unter 15 GByte liegt. An 25% der Anschlüsse liegt es sogar unter 5 Gbyte im Monat (siehe Abbildung 28). Damit zeigt sich, dass das Inklusiv-Datenvolumen der „LTE Zuhause“ Anschlüsse für die Mehrzahl der festnetzbasieren Internet-Nutzer durchaus ausreichen würde.

Abbildung 30: Verteilung des durchschnittlichen monatlichen Datenvolumens bei DSL- und FTTB/H-Anschlüssen in 2014



100 % = 23,5 Mio. DSL- und FTTB/H-Anschlüsse

Quelle: Dialog Consult / VATM (2014)

## 7.6 Tatsächliche Substitutionsmerkmale bei der stationären LTE-Nutzung

Ein vordringliches Ziel des LTE-Aufbaus in Deutschland war, ländliche Gebiete mit schnellem Internet zu versorgen. So sollten gerade Regionen, in denen bisher keine festnetzbasieren Breitbandanschlüsse zur Verfügung standen bzw. schlecht versorgte Gebiete, in denen DSL-Nutzer nur sehr geringe Bandbreiten nutzen konnten, versorgt werden. Strategie war also, durch LTE-Anschlüsse klassische Telefonanschlüsse bzw. DSL-Anschlüsse zu ersetzen. Im Folgenden untersuchen wir, welche tatsächlichen Marktentwicklungen sich diesbezüglich in Deutschland ergeben haben und aus mittelfristiger Sicht zu erwarten sind.

### 7.6.1 Die Vision von Vodafone für LTE-Breitband aus dem Jahre 2011

Vodafone hatte im Jahr 2011 – vor dem Hintergrund der über die Integration von ARCOR im Unternehmen betriebenen Festnetz-Breitbandanschlüsse - einen besonderen strategischen Fokus auf LTE gelegt. Die Ankündigungen von Vodafone gingen dabei so weit, dass das Unternehmen alle seine DSL-Anschlüsse bei Privatkunden auf LTE-Anschlüsse umstellen wollte. Der damalige Vodafone-Chef Jousen unterstrich dabei, dass die besten Zeiten des Festnetzes vorbei seien, und zumindest mittelfristig LTE die bevorzugte Technologie bei den Privatkunden sei. Dies bedeutet insbesondere,

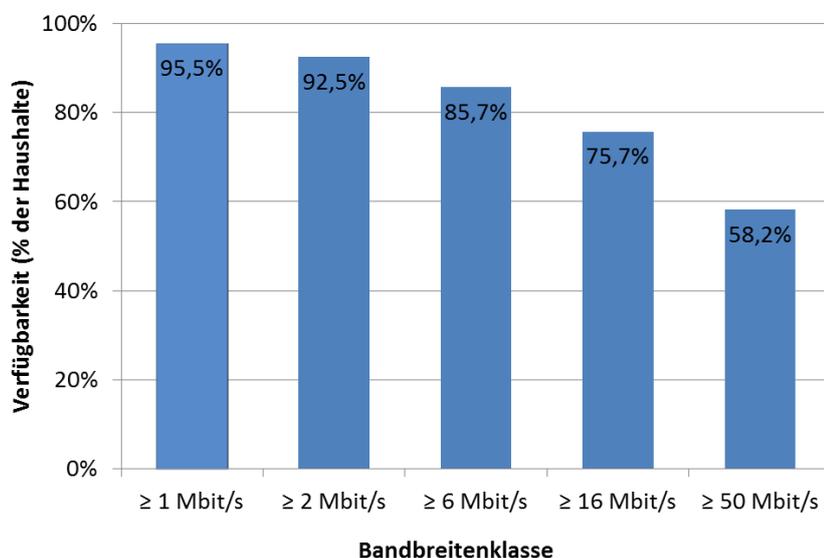
dass man die 3,5 Millionen (ARCOR-) DSL-Anschlüsse spätestens in drei Jahren auf LTE umgestellt haben möchte.<sup>92</sup>

Neben dem technologischen Potential von LTE, hat damals natürlich auch eine Rolle gespielt, die Gewinnmarge des Unternehmens zu verbessern. Denn für jeden DSL-Kunden musste Vodafone damals 10,20 € (aktuell 10,19 €) monatlich an die Telekom Deutschland zahlen, wenn der Kunde über die TAL angeschlossen ist. Nutzt Vodafone ein Bitstrom-Produkt um den Endkunden zu erschließen, geht nach Angaben von Vodafone die Marge praktisch gegen null. Diese Vorleistungskosten entfallen, wenn Vodafone seine Endkunden direkt über einen LTE-Anschluss versorgt.

### 7.6.2 Das Marktpotential für die stationäre LTE-Nachfrage

In Deutschland steht fast 5% der Haushalte kein bzw. nur ein festnetzbasierter Breitbandanschluss mit einer Bandbreite von unter 1 Mbit/s zur Verfügung (siehe folgende Abbildung). Diese 2 Mio. Haushalte können als das Basis-Nachfragepotential für stationäre LTE Anschlüsse angesehen werden.

Abbildung 31: Verfügbarkeit von festnetzbasierter Breitbandanschlüssen in Deutschland



Quelle: TÜV Rheinland (2013)

Wir halten das tatsächliche Nachfragepotential für stationäre LTE Anschlüsse jedoch für bedeutend höher: Auf Grund der bisher zur Verfügung stehenden Bandbreite im Festnetzbereich bzw. des genutzten Datenvolumens<sup>93</sup> gehen wir davon aus, dass für min-

<sup>92</sup> Vodafone (2011), Jahresbericht 2011

<sup>93</sup> Vgl. Abschnitt 7.5

destens 35% der bisherigen DSL-Nutzer ein „LTE Zuhause“ Produkt durchaus als Alternative zum bisherigen DSL-Anschluss in Frage kommen könnte.

In wieweit dieses Potential im Zeitverlauf stabil bleibt ist abzuwarten. In den vergangenen Jahren hat die Zahl der festnetzbasierter Breitbandanschlüsse mit einer Bandbreite von über 50 Mbit/s nur leicht zugenommen.<sup>94</sup> Ihr Anteil stieg von 0,5% in 2008 auf 1,7% in 2014 (ohne Berücksichtigung von Kabelanschlüssen). Vor dem Hintergrund des angekündigten weiteren Ausbaus von VDSL und insbesondere von VDSL-Vectoring ist hier zukünftig mit einem stärkerem Anstieg zu rechnen. Ebenso ist zu erwarten das durch die zunehmende Video-Nutzung die Zahl der Anschlüsse zurück geht, die nur ein geringes Datenvolumen im Monat verbrauchen.

### 7.6.3 Tatsächliche Entwicklung der „LTE zu Hause“ Nutzerzahl bis heute

Die Zahl der LTE-Teilnehmer ist in Deutschland im vergangenen Jahr stark angestiegen. Sie hat sich mit Blick auf 2012 fast versechsfacht und lag Ende 2013 bei 5,6 Mio. (vgl. folgende Abbildung). Verantwortlich für diese Entwicklung ist dabei die starke Zunahme bei den mobilen LTE-Nutzern, während sich die Zahl der stationären LTE-Nutzer deutlich langsamer entwickelt hat.

Nach dem LTE-Start in 2011 haben sich im folgenden Jahr 0,4 Mio. Nutzer für einen stationären LTE-Anschluss entschieden. Mit seiner damaligen Unternehmensstrategie, die mit den entsprechenden Marketing-Maßnahmen unterstützt wurde, schaffte es Vodafone, mehr als zwei Drittel der „LTE zu Hause“ Nutzer für sich zu gewinnen.

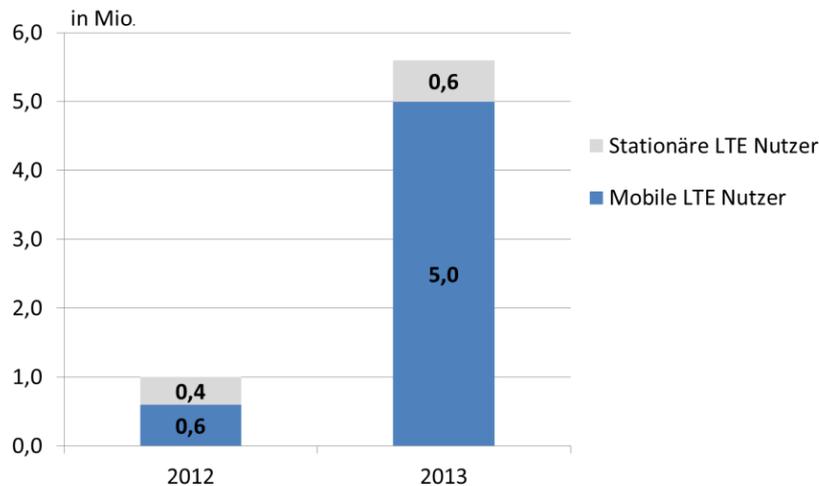
Die folgende Abbildung zeigt, dass die Zahl der stationären LTE-Nutzer in 2013 um 50% angestiegen ist und am Ende des Jahres bei etwa 0,6 Mio. liegt. Die Zugewinne bei Vodafone sind dabei jedoch in 2013 deutlich zurück gegangen. Insgesamt konnte das Unternehmen nur etwa 70.000 neue „LTE zu Hause“ Kunden hinzugewinnen. Die Telekom Deutschland hingegen konnte im ersten Halbjahr 2013 deutlich mehr „LTE zu Hause“ Nutzer verbuchen. Doch auch bei der Telekom ist die Zahl der Neukunden in den folgenden drei Quartalen deutlich zurück gegangen. Dieser Trend setzt sich auch im ersten Halbjahr 2014 weiter fort. So hat die Deutsche Telekom in diesem Zeitraum lediglich noch 31 Tsd. „LTE zu Hause“ Anschlüsse neu hinzu gewonnen, im Vorjahresvergleich bedeutet dies einen Rückgang von über 50%.

Insgesamt ist festzustellen, dass nach einer anfänglich starken Nachfrage nach stationären LTE-Anschlüssen diese im Zeitverlauf jedoch deutlich nachgelassen hat. Dies zeigen die aktuellen Zahlen der Deutschen Telekom deutlich und auch die Einstellung der Vermarktung von „LTE zu Hause“ bei Telefónica ist ein deutliches Indiz dafür.

---

94 Quelle: Dialog Consult / VATM (2014)

Abbildung 32: Entwicklung der LTE Teilnehmer in Deutschland (in Mio.)



Quelle: Bundesnetzagentur (2013); Unternehmensangaben, WIK-Consult Schätzung.

wik

#### 7.6.4 Gründe für die bisherigen Marktentwicklungen

Von der technologischen Leistungsfähigkeit und dem Preisniveau her hat „LTE zu Hause“, gespiegelt am heutigen Nutzerverhalten, durchaus das Potential als Substitut für ADSL-Anschlüsse zu dienen. Trotzdem zeigt das tatsächliche Marktgeschehen, dass Substitutionseffekte nur in Ansätzen zu erkennen sind, eher werden stationäre LTE-Anschlüsse dort nachgefragt wo keine festnetzbasiereten Breitbandanschlüsse verfügbar sind.

Die Gründe hierfür liegen dabei zu einen auf der Nachfrage wie auch Angebotsseite.

##### *Nachfragersicht*

Aus Nachfragersicht sind die folgenden Gründe besonders relevant, sich nicht für einen LTE-Anschluss zu entscheiden:<sup>95</sup>

- LTE-Tarife sind zu teuer;
- Nutzer sind mit den bisher verfügbaren Bandbreiten zufrieden;
- Kunden sind noch in einem laufenden Vertrag gebunden;
- Nachfrager wissen nicht, was LTE ist;
- LTE-Endgeräte werden als zu teuer empfunden.

Gerade die „LTE zu Hause“ Tarife werden immer wieder als Hinderungsgrund für die Nachfrage nach einem LTE-Anschluss genannt.<sup>96</sup> Bemängelt wird die zu starke Orien-

<sup>95</sup> Deloitte (2013b); Global Mobile Consumer Survey 2013

tierung an den „normalen“ Mobilfunktarifen“ und die zu starke Drosselung, sobald das Inklusivvolumen erreicht ist. Die Drosselung in der bisherigen Stärke macht eine weitere Internetnutzung in der Regel nicht mehr möglich.

Darüber hinaus ist damit die Kritik verbunden, dass der Zukauf von weiteren Datenvolumina (Speed-On Optionen) deutlich zu teuer ist. So verlangt z.B. die Telekom Deutschland für 10 GByte zusätzliches Datenvolumen in ihren „Call & Surf Comfort via Fun“ Tarifen 14,95 €.

#### *Anbietersicht*

Auch auf der Anbieterseite lassen sich Gründe ausmachen, die die (bisher) relativ geringe Adoption und Diffusion von stationären LTE-Anschlüssen erklären können:

- *Netzausbau:* Der LTE-Netzausbau der vier Netzbetreiber in Deutschland ist noch nicht abgeschlossen. Die Coverage bei Telekom Deutschland und Vodafone liegt bei über 70%, Telefónica Deutschland erreicht etwa 50% der Bevölkerung. Somit ist das volle Nachfragepotentiale noch nicht erreichbar.
- *Vermarktung:* Die Vermarktung aller Anbieter in Deutschland konzentriert sich heute auf Ballungsgebiete und auf die mobile Internet-Nutzung. Einzig Vodafone wirbt noch - deutlich zurückhaltender als noch vor einem Jahr - für die LTE-basierte Alternative zu einem festnetzgebundenen Internet-Zugang. Telefónica Deutschland bewirbt seinen LTE-Zuhause-Tarif dagegen schon länger nicht mehr. Auch wurden keinerlei Preis- und Leistungsanpassungen vorgenommen, um gegenüber den Mitbewerbern konkurrenzfähig zu sein. Im Sommer 2014 hat das Unternehmen darüber hinaus seinen Fachhändlern mitgeteilt, dass das Angebot „LTE 4G für zu Hause“ vorübergehend ganz aus dem Programm genommen wird und nicht mehr gebucht werden kann. Gründe hierfür und nähere Angaben, für welchen Zeitraum die Vermarktung unterbrochen werden soll, sind allerdings nicht öffentlich kommuniziert worden.<sup>97</sup>
- *Vertragliche Konditionen:* Bei Vodafone gibt es Einschränkungen bei der Bereitstellung von „LTE Zuhause“- Anschlüsse, d.h. der Kunde bekommt nur einen „LTE-zu Hause“ Anschluss bereitgestellt, wenn an der Lokation kein Vodafone DSL-Anschluss mit einer Bandbreite von mehr als 2 Mbit/s verfügbar ist.

---

<sup>96</sup> Initiative "Gerechtigkeit für LTE - Schafft die Drossel ab!" (2014); Breitband für „die letzten 5%“

<sup>97</sup> Weidner, Markus; o2 stoppt vorübergehend Verkauf von LTE für Zuhause; abrufbar unter: <http://www.teltarif.de/o2-lte-zuhause-vermarktung/news/53130.html>

## 7.7 Mobile LTE-Nutzung: Substitut oder komplementäre Nutzung

Im Fokus dieses Abschnitts steht die Frage, ob die zunehmende LTE-Coverage dazu führt, dass die in Deutschland im Vergleich zu anderen europäischen Ländern relativ geringe Zahl der „Mobile-Only-Haushalte“ in Zukunft deutlich ansteigen wird.

### 7.7.1 Mobile-Only-Haushalte

Wie die Ergebnisse des „infas Telekommunikationsmonitors 2012“<sup>98</sup> zeigen, steigt in Deutschland die Zahl der Mobile-Only-Haushalte weiter an. Im Vergleich zum Vorjahr erhöhte sich der Anteil der Haushalte, die über keinen Festnetzanschluss verfügen nach den Umfrageergebnissen von infas um einen Prozentpunkt auf 19% und damit insgesamt auf 7,7 Mio. Haushalte.

Eine aktuelle GfK-Studie<sup>99</sup>, die im Auftrag des Mobilfunkanbieters E-Plus erstellt wurde, zeigt ebenfalls die wachsende Bereitschaft, auf einen Festnetzanschluss zu verzichten und stattdessen ganz auf Mobilfunk zu setzen. Nach dieser Studie können sich 30% der deutschen Festnetz-Kunden vorstellen, auf den Festnetzanschluss zu verzichten und nur über das Mobilfunknetz zu telefonieren.

Auf eine zunehmende Anzahl von Mobile-Only-Haushalten lässt auch die Statistik zur Entwicklung der Zahl der Telefonanschlüsse schließen: <sup>100</sup> Diese Zahl ist seit 2004 um über 2 Mio. Anschlüsse zurückgegangen und liegt aktuell bei 37,1 Mio. Besonders stark war dabei der Rückgang in den vergangenen drei Jahren. Dies ist insoweit bemerkenswert, als die Zahl der Haushalte in Deutschland von Jahr zu Jahr kontinuierlich zunimmt.<sup>101</sup>

Hinsichtlich ihrer demografischen Struktur und ihres Konsumverhaltens unterscheiden sich die Mobile-Only-Nutzer deutlich von dem „durchschnittlichen“ Festnetznutzer.<sup>102</sup> Insbesondere Studenten und jüngere männliche Geringverdiener, also ökonomisch tendenziell schlechter gestellte Gruppen, verzichten häufiger auf den Festnetzanschluss. Dies ließe darauf schließen, dass in erster Linie Kostengründe für die Mobile-Only-Nutzung sprechen. Darüber hinaus mag ein anderes wichtiges Motiv für die ausschließlich mobile Nutzung sein, dass festnetzbasierende Breitbandangebote gänzlich fehlen bzw. zu langsam sind.

---

<sup>98</sup> Infas (2013), infas-Telekommunikationsmonitor 2012

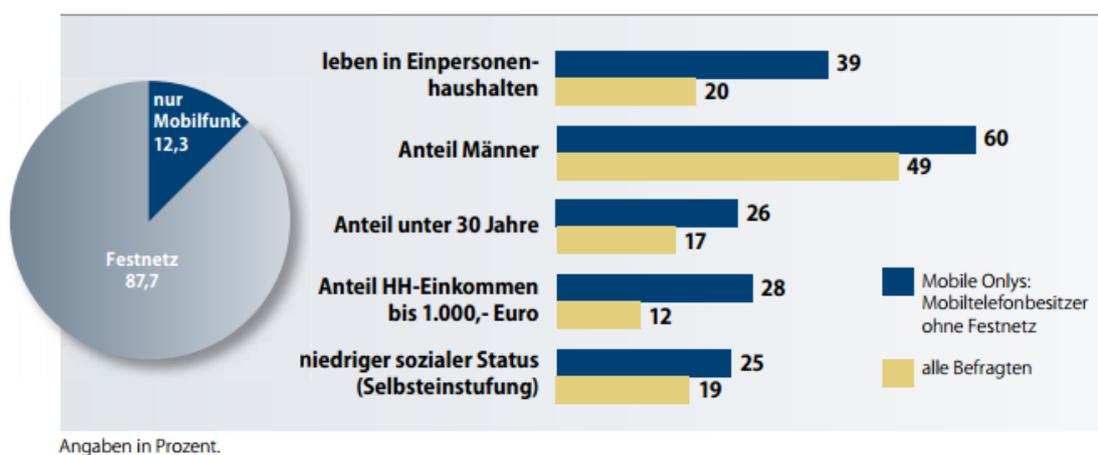
<sup>99</sup> GfK (2011); Studie zum Festnetz Verzicht; im Auftrag von für E-Plus

<sup>100</sup> BNetzA (2013)

<sup>101</sup> Die Zahl der Haushalte lag im Jahre 2005 bei etwa 39,2 Mio. und ist bis 2012 auf 40,7 Mio. angestiegen. Quelle: Statistisches Bundesamt; Haushalte nach Haushaltsgröße im Zeitvergleich

<sup>102</sup> Infas (2012); infas Telekommunikationsmonitor 2011

Abbildung 33: Strukturmerkmale der „Mobile-only-Nutzer“



Quelle: Infas (2012)

### 7.7.2 LTE-Angebote zur mobilen Nutzung

Tarife zur mobilen LTE-Nutzung sind weitaus zahlreicher als die Tarife zur „LTE zu Hause“ Nutzung. Die drei Mobilfunknetzbetreiber Telekom Deutschland, Vodafone und Telefónica Deutschland bieten bis zu sechs unterschiedliche Postpaid-Tarife an. Vodafone ist darüber hinaus im Juli 2014 mit zwei speziellen Pre-Paid-Tarifen gestartet, so dass auch diese Kundengruppe LTE nutzen kann. E-Plus geht hier noch einen Schritt weiter, in dem bis zum Ende März 2015 alle E-Plus Kunden, unabhängig vom gewählten Tarif, LTE nutzen können. Dabei ist jedoch anzumerken, dass das LTE-Netz von E-Plus noch einen sehr geringen Ausbaustand hat und nur relativ wenig E-Plus-Kunden über LTE-fähige Smartphones verfügen.

In der folgenden Tabelle sind die gegenwärtig (Stand: Mitte 2014) im mittleren Preissegment und damit wohl auch am häufigsten nachgefragten LTE-Tarife<sup>103</sup> der drei Netzbetreiber dargestellt. Diese bieten je nach Tarifausprägung maximale Download-Bandbreiten zwischen 21,6 und 100 Mbit/s zu monatlichen Preisen, die bei 28,49 € beginnen. Vodafone weist dabei explizit darauf hin, dass dem Nutzer zu 75% seiner Nutzungszeit eine Bandbreite von mindestens 7,2 Mbit/s zur Verfügung steht.

Mit Blick auf das Inklusiv-Volumen unterscheiden sich die Tarife zur mobilen LTE-Nutzung deutlich von denen zur stationären Nutzung. Während bei den „LTE Zuhause“ Angeboten die Inklusiv-Volumina bei 10 bis 30 GByte liegen, stehen den Nutzern der unten aufgeführten mobilen Tarife lediglich zwischen 1 GByte und 3 GByte zur Verfügung. Musik oder Video-Streams, die auf dem Smartphone im Hintergrund laufen, können sehr schnell dazu führen, dass das Inklusiv-Volumen aufgebraucht ist. Hat der Nut-

<sup>103</sup> Die Netzbetreiber sprechen hier von ihren „beliebtesten“ Tarifen

zer sein Inklusiv-Volumen in Anspruch genommen, steht ihm bis zum Ende des Abrechnungszeitraums nur noch eine Bandbreite von 64 kbit/s bei Telekom Deutschland zur Verfügung. Die beiden anderen Netzbetreiber drosseln die Geschwindigkeit noch deutlicher herunter. Hier stehen dem LTE-Kunden nach dem Erreichen des Inklusiv-Volumens nur noch Downloadraten von 32 kbit/s zur Verfügung. Dies ist für viele Dienste eindeutig zu wenig, so dass dann letztlich keine befriedigende Nutzung mehr möglich ist.

Tabelle 12: Ausschnitt der LTE-Angebote zur mobilen Nutzung (Tarife incl. subventionierte Endgeräte)

	Telekom MagentaMobil*		Vodafone Red**		O2 Blue All-in*	
	M	L	1,5 GB	3 GB	M	L
<b>Download</b> bis zu	50 Mbit/s	100 Mbit/s	100 Mbit/s	100 Mbit/s	21,6 Mbit/s	50 Mbit/s
<b>Inklusiv-Volumen, danach</b>	1,5 Gbyte	1 Gbyte	1,5 Gbyte	3 Gbyte	1 Gbyte	3 Gbyte
<b>Drosselung auf:</b>	64 kbit/s	64 kbit/s	32 kbit/s	32 kbit/s	32 kbit/s	32 kbit/s
<b>Telefon Flatrate</b>	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<b>Preis (monatlich)</b>	37,95 €	47,45 €	39,99 €	49,99 €	28,49 €	37,99 €

\* Durchschnittlicher Preis bei 24 Monaten Laufzeit

\*\* Preis bei Online-Abschluss

### *Substitutionspotential sehr gering*

Das Substitutionspotential von mobilen LTE-Anschlüssen mit Blick auf festnetzbasierete Breitbandanschlüsse ist sehr gering. Der limitierende Faktor ist hierbei das geringe Inklusiv-Volumen, das die bisher vorherrschenden Tarife bieten. Die häufig angebotenen Volumina von 1,5 bis 3 GByte liegen deutlich unter der aktuellen durchschnittlichen Nutzungsintensität eines festnetzbasiereten Anschlusses.<sup>104</sup> Schon heute beträgt bei fast 70% der Haushalte mit DSL-Anschluss das durchschnittliche monatliche Datenvolumen über 5 GByte; somit ist für diese Haushalte eine Substitution des festnetzbasiereten Anschlusses keine wirkliche Alternative.

Die zunehmende Nutzung von Video-Inhalten und IP-TV über das Internet führt zukünftig zu einem weiteren starken Anstieg des Datenvolumens.<sup>105</sup> Dies macht das Substitutionspotential für mobile LTE-Anschlüsse noch geringer, wenn die Mobilfunkanbieter zukünftig das Inklusiv-Volumen nicht deutlich erhöhen.

## 7.8 Gesamtbeurteilung

Die Frage, ob es sich bei einem LTE-Anschluss um einen vollwertigen Breitbandanschluss handelt, muss mit einem klaren Nein beantwortet werden. Denn im Gegensatz zu festnetzbasiereten Breitbandanschlüssen gibt es bei LTE-Anschlüssen eine Vielzahl von Nutzungseinschränkungen.

<sup>104</sup> Dies liegt im Jahr 2013 bei 22 GByte pro Monat.

<sup>105</sup> Vgl. Abschnitt 5.4.

So ist bei fast allen LTE-Anschlüssen das monatliche Übertragungsvolumen beschränkt, echte Flatrates wie im Festnetzbereich gibt es nicht. Wird das Inklusiv-Volumen überschritten, erfolgt eine Drosselung der Bandbreite. Diese Drosselung kann dabei so stark sein, dass sich viele Internet-Dienste nicht mehr nutzen lassen. Weiterhin gibt es grundsätzliche Einschränkungen bei der Dienste-Nutzung. So ist laut Tarifvertrag bei einigen Anbietern die VoIP oder P2P-Nutzung untersagt bzw. wird eingeschränkt.

Ein mobiler LTE-Anschluss wird auch längerfristig ein komplementäres Produkt zum festnetzbasieren Breitbandanschluss bleiben. Auf Grund der Einschränkungen beim Übertragungsvolumen und der zur Verfügung stehenden realen Bandbreite kann ein LTE-Anschluss nur für eine kleine Nutzergruppe, mit ganz spezifischen Anforderungen bzw. Nutzungsgewohnheiten einen Festnetzanschluss vollständig substituieren. Dies könnten z.B. Ein-Personen-Haushalte sein, die datenintensive Dienste selten nutzen oder aber alternative Möglichkeiten haben, uneingeschränkt auf das Internet zuzugreifen, etwa in Form von öffentlichen Hotspots oder Zugangsmöglichkeiten im Arbeitsumfeld.

## 8 Substitutionseffekte auf der Vorleistungsseite

Im Fokus dieses Abschnitts steht die Frage: Welche Implikationen sich für den Vorleistungsmarkt in Deutschland ergeben, wenn die LTE-Netzbetreiber Vodafone und Telefónica ihre bisherigen Festnetzkunden hin zu einem „LTE zu Hause“ – Anschluss migrieren (würden).

Man kann unterstellen, dass Ziel einer solchen Migration auf der Seite von Vodafone und Telefónica ist, zum einen die eigene LTE-Infrastruktur auszulasten und zum anderen, Vorleistungskosten einzusparen.

Bei den Vorleistungen sind a priori drei Produktkategorien relevant:

- (entbündelte) Teilnehmeranschlussleitung (TAL),
- Bitstream-Access,
- Mietleitungen bzw. Übertragungswege.

Die TAL ist dabei für die Teilnehmernetzbetreiber Vodafone und Telefónica Deutschland das dominierende Vorleistungsprodukt unter den drei genannten Produktkategorien. Wir konzentrieren uns daher bei der weiteren Untersuchung ausschließlich auf die Substitution der TAL.

Wir haben in Abschnitt 7.6.1 ausgeführt, dass Vodafone im Jahre 2011 angekündigt hatte, in den kommenden drei Jahren alle seine DSL-Anschlüsse bei Privatkunden auf LTE-Anschlüsse umstellen zu wollen. Vodafone hat diese Strategie jedoch nie in die Tat umgesetzt.

Unmittelbar hätte der damalige Strategiewechsel für den Wholesalemarkt folgende quantitativen Implikationen gehabt: Zum Zeitpunkt 2011 hatte Vodafone etwa 3,5 Mio. DSL-Kunden. Hätte Vodafone seine damalige Strategie umgesetzt, wäre die Zahl der angemieteten Teilnehmeranschlussleitungen in Deutschland um etwa 1/3 zurück gegangen. Das gesamte Wholesale-Marktvolumen wäre mittelfristig um etwa 400 Mio. jährlich gesunken.

Auf der Vorleistungsseite werden heute nur TAL-Anschlüsse durch LTE-Anschlüsse substituiert, wenn:

- Vodafone oder Telefónica Deutschland einen Bestandskunden zu einem „LTE zu Hause“ Anschluss migrieren, der vorher über einen TAL-Anschluss an das eigene Netz angeschlossen war.
- ein Neukunde das „LTE zu Hause“ Produkt nachfragt, der von einem anderen Teilnehmernetzbetreiber (z.B. ein City Carrier) zu Vodafone oder Telefónica Deutschland wechselt und bisher über einen TAL-Anschluss an das Wettbewerbersnetz angeschlossen war.

Handelt es sich um einen Neukunden, der bisher keinen Anschluss hatte oder von der Telekom Deutschland oder einem Kabelnetzbetreiber zu einem der beiden LTE-Anbieter wechselt, findet keine Substitution statt, die für den Vorleistungsmarkt relevant ist.

Quantitativ lässt sich folgendes festhalten: Insgesamt nutzen Ende 2013 etwa 370.000 Kunden die „LTE zu-Hause“ Produkte von Vodafone und Telefónica Deutschland. Diese Kunden sind aber nicht notwendigerweise als Bestandskunden anzusehen. Genaue empirische Informationen über das diesbezügliche Migrationsverhalten in Deutschland sind auf der Basis der veröffentlichten Quellen nicht möglich. Wir halten es aber für plausibel, dass ein signifikanter Anteil der „LTE zu Hause“ Nutzer aus Regionen kommt, die bisher breitbandmäßig nur wenig oder gar nicht erschlossen sind. In diesen Regionen waren die beiden Netzbetreiber Vodafone und Telefónica Deutschland bisher wenig aktiv und haben dort kaum Hauptverteiler erschlossen. Dies lässt den Schluss zu, dass es sich bei den LTE zu-Hause Kunden der beiden Wettbewerber größtenteils um Wechselkunden der Telekom handelt und nicht um Bestandskunden.

Nach unserer Einschätzung dürfte es sich maximal um 70.000 Bestandskunden<sup>106</sup> handeln, deren Anschluss bisher über ein Vorleistungsprodukt der Telekom Deutschland generiert wurde. Die restlichen 300.000 LTE zu-Hause Kunden sind demnach Wechselkunden, die bisher einen Telefonanschluss bei der Telekom Deutschland hatten.

Die Zahl der vermieteten Teilnehmeranschlussleitungen ist in Deutschland in den vergangenen zwei Jahren um 400.000 zurück gegangen (siehe die folgenden Abbildung). Aufgrund unserer obigen Überlegungen lässt sich damit maximal ein Fünftel des Rückgangs durch die Nachfrage nach LTE-Anschlüssen erklären.

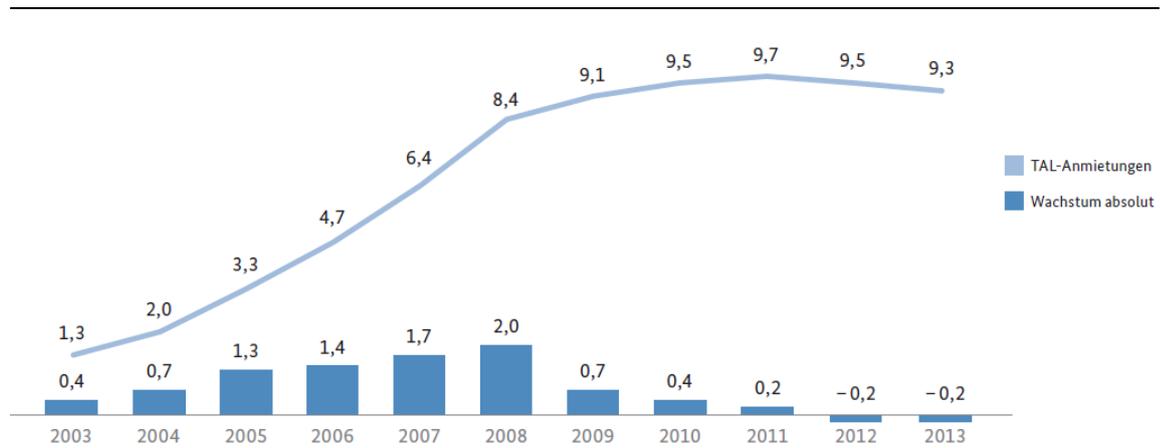
Für den Rückgang der TAL-Nachfrage spielen andere Gründe eine gewichtigere Rolle. So etwa die in den vergangenen zwei Jahren deutlichen Marktanteilsverluste der TNBs im Breitbandmarkt, einhergehend mit starken Marktanteilsgewinnen der Kabelnetzbetreiber. Insgesamt gesehen haben die TNBs seit 2012 mehr als eine halbe Million festnetzbasierter Breitbandkunden verloren. Die Anschlüsse fast aller dieser Kunden waren über das Vorleistungsprodukt TAL realisiert und werden nun nicht mehr benötigt.

In geringerem Maße dürfte auch die steigende Nachfrage nach FTTB/H-Anschlüssen zum Rückgang der Zahl der vermieteten TALs beigetragen haben. Denn einige TNBs haben eigene glasfaserbasierte Netze auf- bzw. ausgebaut und Kunden von bisherigen DSL-Anschlüssen auf FTTB/H-Anschlüsse migriert. Auch für diese Kunden werden keine TALs mehr benötigt, sofern es sich um Bestandskunden gehandelt hat.

---

<sup>106</sup> Vodafone und Telefónica verfügen gemeinsam über einen Marktanteil von etwa 20% bei Festnetzanschlüssen. Approximativ lässt sich so abschätzen dass maximal 70.000 LTE-Zuhause Kunden Bestandskunden sind.

Abbildung 34: Entwicklung der vermieteten Teilnehmeranschlussleitung



Quelle: Bundesnetzagentur (2013)

## 9 Wettbewerbs- und regulatorische Aspekte

Wettbewerb auf dem „LTE-Dienste-Markt“

Auf dem Markt für LTE-Dienste waren bis Anfang 2014 die drei Netzbetreiber Telekom Deutschland, Vodafone und Telefónica aktiv. Die Nutzung von LTE war bis dahin lediglich in den „hochpreisigen“ Post-Paid-Tarifen dieser Anbieter möglich. Für mehr Wettbewerb sorgte dann E-Plus, dass seit April 2014 zum einen die kostenlose Nutzung von LTE in allen seinen Tarifen erlaubt und darüber hinaus die LTE-Nutzung auch über seine firmeneigenen MVNOs (z.B. Simyo, Blau.de) und eigenständigen MVNOs (Aldi Talk, United Internet) zulässt.

Zu einer weiteren Intensivierung des Wettbewerbs, vor allem mit Blick auf den Preiswettbewerb, dürfte die Übernahme von E-Plus durch Telefónica zum Ende des Jahres 2014 führen. Die Fusion der beiden Unternehmen unterliegt dabei unter anderem den folgenden MBA MVNO Verpflichtungszusagen:

- Die Verpflichtungszusagen von Telefónica vom 29. Mai 2014, die im Rahmen der Fusionsgenehmigung der Kommission vom 2. Juli 2014 zu Auflagen geworden sind, schließen den Verkauf von bis zu 30% der Netzkapazität des neuen fusionierten Unternehmens an einen oder mehrere (bis zu drei) unabhängige MVNO ein.
- Der Verpflichtung zu Wholesale-Angeboten für andere MVNOs nach einem Jahr.

Am 25.6.2014 hat Telefónica bekannt gegeben, dass sie (ausschließlich) mit der Drillisch AG eine MBA MVNO-Vereinbarung entsprechend der MBA MVNO Verpflichtungszusage abgeschlossen habe. Danach nimmt Drillisch im Rahmen eines Gleitpfadmodells 20% der konsolidierten Netzkapazität von Telefónica/E-Plus ab. Drillisch hat darüber hinaus die Option auf weitere 10% der konsolidierten Netzkapazität erworben.

Auf Basis dieser Vereinbarung hat die Drillisch AG dann schon im Oktober 2014, über ihre Tochter „smartmobil.de“, erste eigenständige LTE-Tarife in den Markt gebracht. Diese Tarife sind um bis zu 50% preisgünstiger als die der etablierten Wettbewerber und bieten dabei zum Teil deutlich höhere Übertragungsvolumen. Die drei Mobilfunknetzbetreiber TDG, Telefónica und Vodafone haben Ende 2014 ihre Mobilfunk-Tarife neu strukturiert bzw. angepasst. Im Rahmen dieser Tarifänderungen ist nun die LTE-Nutzung in fast allen Post-Paid-Tarifen möglich und muss nicht mehr zusätzlich kostenpflichtig hinzu gebucht werden. Weiterhin wurden die Übertragungsvolumen in den einzelnen Tarifausrüstungen deutlich angehoben.

Für die Zukunft ist zu erwarten, insbesondere wenn Telefónica auch weiteren MVNOs Wholesale-Dienste anbieten muss, dass sich der Preiswettbewerb für LTE-Dienste weiter verstärken wird. Als Konsequenz daraus ist damit zu rechnen, dass die ARPUs im Mobilfunksektor weiterhin sinken werden.

## Intermodaler Wettbewerb

Nach dem schnellen LTE-Aufbau der Netzbetreiber im ländlichen Raum bzw. in nicht oder unterversorgten Breitbandregionen hat hier anfangs (im Jahr 2012) eine lebhafte Nachfrage nach „LTE zu Hause“-Anschlüssen stattgefunden. Diese ist dann jedoch sehr schnell abgeflacht und ist heute fast zum Erliegen gekommen. So hat etwa die TDG im 3. Quartal 2014 nur noch 12.000 „LTE zu Hause“-Anschlüsse vermarktet und Telefónica hat die Vermarktung des Produktes schon Ende 2013 eingestellt.

Ebenso die Erwartung, dass durch Einführung der LTE-Technologie in starkem Maße festnetzbasierende Breitbandanschlüsse durch mobile LTE-Anschlüsse substituiert werden, ist in der Praxis nicht zu beobachten. Die Zahl der „Mobile only Haushalte“ nimmt zwar weiterhin leicht zu, doch einen wirklichen Schub hat dieses Marktsegment durch die Verfügbarkeit von LTE nicht erhalten.

Auch wenn die Leistungsfähigkeit der LTE-Netze sehr beeindruckend ist, die tatsächlich zur Verfügung stehenden Übertragungsbandbreiten liegen in der Regel über denen der heute noch dominierenden DSL-Anschlüsse. Die Wettbewerbssituation auf den Breitbandmärkten hat sich durch die LTE-Einführung nicht merklich geändert. Der von einigen Marktbeobachtern erwartete Technologiewettbewerb, LTE-Anschluss vs. Festnetzanschluss, hat nicht in nennenswerter Intensität stattgefunden. Vielmehr hat sich der Wettbewerb innerhalb des Festnetzbereiches intensiviert. Hier gewinnen die Kabelanschlüsse weiterhin deutlich an Marktanteilen hinzu, während die DSL-Anschlüsse entsprechend Anteile verlieren.

Warum LTE nicht zu einem verstärkten Wettbewerb im Breitbandmarkt insgesamt geführt hat, liegt darin begründet, dass LTE-Anschlüsse kein vollwertiges Substitut für Festnetzanschlüsse sind. Vielmehr findet bei dem ganz überwiegenden Teil der Breitbandnutzer eine komplementäre Nutzung statt. Nur für eine kleine Nutzergruppe mit einem besonderen Nutzungsprofil hat der LTE-Anschluss Substitutionscharakter.

## Vorleistungsmärkte

Mit Blick auf die Vorleistungsmärkte hat die Einführung der LTE-Technologie nicht zu wesentlichen Marktveränderungen geführt. Die Nachfrage nach TAL-Anschlüssen und anderen Vorleistungsprodukten ist durch die LTE-Technologie nur in sehr geringem Maße berührt. Hierfür sind letztlich zwei Entwicklungen verantwortlich. Zum einen hat die Nachfrage nach „LTE zu Hause“ - Anschlüssen sehr schnell ihren Zenit erreicht, so dass aktuell die Zahl der „LTE zu Hause“ -Anschlüsse bei deutlich unter 1 Mio. liegt. Hinzu kommt noch, dass etwa ein Drittel der „LTE- zu Hause“-Anschlüsse auf die TDG selbst entfallen und damit keinerlei Einfluss auf die Vorleistungsmärkte haben. Zum anderen hat Vodafone seine Ankündigung, alle DSL-Anschlüsse bei Privatkunden auf LTE-Anschlüsse umstellen, nicht umgesetzt hat.

## 10 Fazit

In den letzten drei Jahren haben die Mobilfunknetzbetreiber ihre LTE-Netze mit einer hohen Dynamik ausgebaut. Insbesondere der Netzausbau von TDG und Vodafone ist dafür verantwortlich, dass die Netzabdeckung mit LTE heute in Deutschland bei fast 90% liegt. Telefónica / E-PLUS hat beim Netzausbau hingegen noch einen deutlichen Nachholbedarf. So erreicht Telefónica heute erst etwa 50% der Bevölkerung mit seinem LTE-Netz, die Netzabdeckungsquote von E-PLUS liegt bei nur 10%. Bis 2018 will das fusionierte Unternehmen sein LTE-Netz jedoch auch flächendeckend ausgebaut haben.

Die Leistungsfähigkeit der LTE-Netze sorgt für eine positive User Experience. Diese wird nicht nur durch die hohen Übertragungsbandbreiten hervorgerufen, die LTE bietet, sondern auch durch die niedrigen Latenzzeiten. Beides im Zusammenspiel sorgt dafür, dass sich die mobile Internetnutzung über LTE in etwa auf ADSL-Niveau bewegt. Die kommende Verfügbarkeit von LTE-Advanced und die Implementierung von VoLTE in 2015 wird dazu führen, dass die Leistungsfähigkeit der LTE-Technologie weiter zunimmt und sich positiv auf das Nutzungserlebnis auswirken.

Einher gehend damit, wird auch die Zahl der LTE-Nutzer in Deutschland in den kommenden Jahren dynamisch ansteigen. Treiber dieser Entwicklung sind zum einen die weiter steigende Penetration von LTE-fähigen Smartphones und Tablets sowie die Tarifanpassungen der Netzbetreiber. So ist in den neuen Post-Paid-Tarifen die LTE-Nutzung in der Regel inkludiert und muss nicht mehr gesondert kostenpflichtig hinzu gebucht werden. Dass die Zahl der LTE-Nutzer in Deutschland deutlich ansteigen wird, zeigen die aktuellen Geschäftszahlen von Vodafone. So hat sich die Zahl der LTE-Nutzer bei Vodafone in Deutschland im letzten halben Jahr mehr als verdoppelt.

Auch die geänderte Anbieterstruktur im LTE-Markt, in dem zukünftig MVNOs eine deutlich wichtigere Rolle spielen werden, wird den Preiswettbewerb verstärken und die Tarifvielfalt erhöhen. Dies wird dazu beitragen, dass die LTE-Nachfrage weiter zunimmt. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die heutigen LTE-Tarife nicht für die zukünftige mobile Internetnutzung geeignet sind. In der Zukunft werden die Datenvolumen durch die verstärkte Video- und Cloud-Nutzung stark ansteigen. Um dem gerecht zu werden, müssen die Datenvolumen in den LTE-Tarifen deutlich angehoben werden. Erste Schritte in diese Richtung sind im Markt zu beobachten.

Um den LTE-Nutzern die vermarktete Übertragungsbandbreite auch zur Verfügung stellen zu können ist es notwendig, die Backhaul-Anbindungen auf Glasfaser umzustellen. Die TDG hat diese Umstellung nahezu vollständig durchgeführt, während Telefónica und Vodafone die Anbindung ihrer Basisstationen fast noch ausschließlich über Richtfunkverbindungen realisieren. Beide Unternehmen werden hier mittelfristig verstärkt in die Glasfaser-Anbindungen investieren müssen.

Beim Vergleich von ADSL-Anschlüssen und stationären bzw. mobilen LTE-Anschlüssen zeigt sich, dass diese mit Blick auf den Preis und die angebotenen Übertragungsraten durchaus wettbewerbsfähig sind. In der Regel beinhalten sie jedoch deutlich geringere Übertragungsvolumen als festnetzbasierende Anschlüsse und die Aufstockung dieses Übertragungsvolumen ist sehr kostenintensiv. Aus diesem Grund sind LTE-Anschlüsse nur für eine kleine Gruppe von Internet-Nutzern als Substitut zu nutzen und stellen damit ein komplementäres (mobiles) Produkt zum festnetzbasierenden Breitbandanschluss dar. Letztlich ist festzustellen, dass LTE nicht zu einem verstärkten Breitbandwettbewerb beigetragen hat.

## Literaturverzeichnis

ARD/ZDF – Onlinestudie 2013; abrufbar unter:

<http://www.ard-zdf-onlinestudie.de/index.php?id=439>

Bundesnetzagentur (2010); Präsentation zum Ende der Frequenzversteigerung.

Bundesnetzagentur (2013); Jahresbericht 2013

Bundesnetzagentur (2014), Dienstqualität von Breitbandzugängen II

BITKOM (2012a); Deutschland ist Vorreiter beim mobilen Breitband

BITKOM (2012b), Stellungnahme Technische Potentiale LTE Mobilfunk und VDSL Vectoring.

BITKOM (2014); Smartphones stärker verbreitet als normale Handys; abrufbar unter:

[http://www.bitkom.org/de/markt\\_statistik/64046\\_79598.aspx](http://www.bitkom.org/de/markt_statistik/64046_79598.aspx)

CHIP (2014); LTE im Test: Das Netz der Zukunft

Cisco (2014a), Cisco Visual Networking Index: Global MobileData Traffic Forecast Update, 2013–2018

Cisco (2014b); Projecting global IP traffic growth; abrufbar unter:

<http://www.ciscovni.com/forecast-widget/index.html>

Deloitte (2013a); Technology, Media & Telecommunications Predictions 2013

Deloitte (2013b); Global Mobile Consumer Survey 2013

Deutsche Telekom AG (2012); Capital Markets Day 2012

Deutsche Telekom AG (2014); KONZERN-ZWISCHENBERICHT 1. JANUAR BIS 30. SEPTEMBER 2014

Dialog Consult / VATM (2014); 15. TK-Marktanalyse Deutschland 2014

Elixmann, D., Gries, C. (2012); Netzneutralität im Mobilfunk; W'IK-Diskussionsbeitrag Nr. 396; 2012

E-PLUS (2013); Mobilfunkstudie 2013

Ericsson (2014); Ericsson Mobility Report, June 2014

European Commission (2013); The socio-economic impact of broadband, S. 82

European Commission (2014); Landmark agreement between the European Commission and South Korea on 5G mobile technology, Brüssel, 16 Juni 2014

Europäische Kommission (2013); Studie zu Off-Loading von Datenverkehr in drahtlose Netze und entsprechende technologische Trends – Auswirkungen auf die Nachfrage nach Frequenzspektrum“

Fittkaus & Mass Consulting (2014); WWW-Benutzer-Analyse W3B-Umfrage

GfK (2011); Studie zum Festnetz Verzicht; im Auftrag von für E-

- GSA (2014a); 1800 MHz dominates LTE deployments and user devices ecosystem  
([http://www.gsacom.com/news/gsa\\_405.php](http://www.gsacom.com/news/gsa_405.php))
- GSA (2014b); GSA confirms 1,563 LTE user devices announced for 90% growth, 1800 MHz band secures the largest ecosystem; abrufbar unter:  
[http://www.gsacom.com/news/gsa\\_403.php](http://www.gsacom.com/news/gsa_403.php)
- GSA (2014c), Market Technology Update, September 2014
- Gutt, E. (2010); LTE – Neue Dimension mobiler Breitbandnutzung – Eine technische Einführung
- Hadden, Alan (2014); The Future Development of Spectrum for Telecommunications in Asia
- Heise Newsticker (23.06.2014); Samsung bringt weltweit erstes Cat-6-Smartphone für LTE-A;  
abrufbar unter:  
[http://www.heise.de/newsticker/meldung/Samsung-bringt-weltweit-erstes-Cat-6-Smartphone-fuer-LTE-A-2236608.html?wt\\_mc=nl.ho](http://www.heise.de/newsticker/meldung/Samsung-bringt-weltweit-erstes-Cat-6-Smartphone-fuer-LTE-A-2236608.html?wt_mc=nl.ho).
- ITM (2011); Mobile Backhaul Anbindung von Mobilfunk-Basisstationen
- Infas (2012), infas-Telekommunikationsmonitor 2011
- Infas (2013), infas-Telekommunikationsmonitor 2012
- informa (2012); Successful LTE strategies
- Initiative D21 (2014); Mobile Internetnutzung 2014
- Jacobfeuerborn, B. (2012); Geschäftsführer Technik Telekom Deutschland GmbH in: CW testet LTE in der Stadt; 23.05.2012, (<http://www.computerwoche.de/a/cw-testet-lte-in-der-stadt,1234979>)
- Kabel Deutschland; Allgemeine Geschäftsbedingungen Internetanschlüsse; abrufbar unter:  
[http://www.kabeldeutschland.de/static/media/AGB\\_Internet\\_Telefon.pdf](http://www.kabeldeutschland.de/static/media/AGB_Internet_Telefon.pdf)
- Kottkamp, M., Roessler, A. Schlien, J. (2012); LTE-Advanced Technology Introduction, White Paper; abrufbar unter:  
[http://cdn.rohde-schwarz.com/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1ma169/1MA169\\_3e\\_LTE-Advanced\\_technology.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/dl_downloads/dl_application/application_notes/1ma169/1MA169_3e_LTE-Advanced_technology.pdf)
- Kroker, M. (2013); Status Quo der Nutzung mobiler Geräte 2013 in Deutschland: Smartphones, Apps & Co
- LTE Advanced - Turbo-LTE mit bis zu 1000 MBit/s - was steckt dahinter?; abrufbar unter:  
<http://www.lte-anbieter.info/lte-advanced/>
- Maier (2014); Raffinierte Nachrichtentechnik zeigt Wege zum 5G-Mobilfunk auf
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2013); JIM Studie 2013
- Planken, M. (2013); LTE-Advanced: Carrier Aggregation im Detail; abrufbar unter:  
<http://maxwireless.de/2013/lte-advanced-carrier-aggregation-im-detail/>
- Robson, J. (2009); An Update from the LTE/SAE Trial Initiative; LTE World Summit Berlin, May 2009 ([www.lstiform.org](http://www.lstiform.org))

- Sauter, M. (2011): Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme – UMTS, HSDPA und LTE, GSM, GPRS und Wireless LAN; Vieweg und Teubner Verlag, 4. Auflage.
- Stamm, P., Büllingen, F. (2014); Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, WIK-Diskussionsbeitrag Nr. 391, Oktober 2014
- TÜV Rheinland (2013); Bericht zum Breitbandatlas Ende 2013 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Stand Ende 2013
- TÜV Rheinland (2014); Bericht zum Breitbandatlas Mitte 2014 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Stand Mitte 2014
- Vodafone (2011), Jahresbericht 2011
- Vodafone (2013); Netzmodernisierung, Deutschland im Datenrausch: Wie Vodafone seine Netze fit für die Zukunft macht; abrufbar unter:  
[www.vodafone.de/meinnetz/web/pdf/Vodafone\\_Netzmodernisierung\\_Broschuere.pdf](http://www.vodafone.de/meinnetz/web/pdf/Vodafone_Netzmodernisierung_Broschuere.pdf)
- Vodafone Group Plc (2014), Interim Management Statement, 25m July 2014
- von Hoesslin, C. (2014); Hotspot 2.0 bringt neue Umsatzströme, in: Computerwoche vom 12.08.2014
- Weidner M. (2012); o2 vereinbart Netz-Kooperation mit der Deutschen Telekom; abrufbar unter:  
<http://www.teltarif.de/o2-telekom-netz-kooperation/news/45273.html>
- Weidner, M.; o2 stoppt vorübergehend Verkauf von LTE für Zuhause; abrufbar unter:  
<http://www.teltarif.de/o2-lte-zuhause-vermarktung/news/53130.html>
- Wolff, I. (2011); LTE Netztopologien und Zukunftsentwicklungen, Vortrag BMWi-Workshop, 25.05.2011, Berlin



Als "Diskussionsbeiträge" des Wissenschaftlichen Instituts für Infrastruktur und Kommunikationsdienste sind zuletzt erschienen:

- Nr. 316: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Iris Bösch, Gabriele Kulenkampff:  
Relevant cost elements of VoIP networks, Dezember 2008
- Nr. 317: Nicole Angenendt, Christian Growitsch, Rabindra Nepal, Christine Müller:  
Effizienz und Stabilität des Stromgroßhandelsmarktes in Deutschland – Analyse und wirtschaftspolitische Implikationen, Dezember 2008
- Nr. 318: Gernot Müller:  
Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor – Methodische Grundlagen und Schätzung des Produktivitätsfortschritts für den deutschen Markt, Januar 2009
- Nr. 319: Sonja Schölermann:  
Kundenschutz und Betreiberauflagen im liberalisierten Briefmarkt, März 2009
- Nr. 320: Matthias Wissner:  
IKT, Wachstum und Produktivität in der Energiewirtschaft - Auf dem Weg zum Smart Grid, Mai 2009
- Nr. 321: Matthias Wissner:  
Smart Metering, Juli 2009
- Nr. 322: Christian Wernick unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:  
Unternehmensperformance führender TK-Anbieter in Europa, August 2009
- Nr. 323: Werner Neu, Gabriele Kulenkampff:  
Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich - unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels, August 2009
- Nr. 324: Gabriele Kulenkampff:  
IP-Interconnection – Vorleistungsdefinition im Spannungsfeld zwischen PSTN, Internet und NGN, November 2009
- Nr. 325: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Stephan Jay:  
LRIC cost approaches for differentiated QoS in broadband networks, November 2009
- Nr. 326: Kenneth R. Carter  
with contributions of Christian Wernick, Ralf Schäfer, J. Scott Marcus:  
Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy, November 2009
- Nr. 327: Gernot Müller:  
Ableitung eines Inputpreisindex für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, November 2009
- Nr. 328: Anne Stetter, Sonia Strube Martins:  
Der Markt für IPTV: Dienstverfügbarkeit, Marktstruktur, Zugangsfragen, Dezember 2009
- Nr. 329: J. Scott Marcus, Lorenz Nett, Ulrich Stumpf, Christian Wernick:  
Wettbewerbliche Implikationen der On-net/Off-net Preisdifferenzierung, Dezember 2009
- Nr. 330: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Stephan Jay:  
"Breitband/Bandbreite für alle": Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur, Dezember 2009
- Nr. 331: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm, Martin Zauner:  
Preisstrategien von Incumbents und Wettbewerbern im Briefmarkt, Dezember 2009
- Nr. 332: Stephan Jay, Dragan Ilic, Thomas Plückebaum:  
Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access, Dezember 2009
- Nr. 333: Christian Growitsch, Marcus Stronzik, Rabindra Nepal:  
Integration des deutschen Gasgroßhandelsmarktes, Februar 2010
- Nr. 334: Ulrich Stumpf:  
Die Abgrenzung subnationaler Märkte als regulatorischer Ansatz, März 2010
- Nr. 335: Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Dragan Ilic:  
Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung, März 2010

- Nr. 336: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:  
Netzzugang und Zustellwettbewerb im Briefmarkt, März 2010
- Nr. 337: Christian Growitsch, Felix Höffler, Matthias Wissner:  
Marktmachtanalyse für den deutschen Regelenenergiemarkt, April 2010
- Nr. 338: Ralf G. Schäfer unter Mitarbeit von Volker Köllmann:  
Regulierung von Auskunft- und Mehrwertdiensten im internationalen Vergleich, April 2010
- Nr. 339: Christian Growitsch, Christine Müller, Marcus Stronzik  
Anreizregulierung und Netzinvestitionen, April 2010
- Nr. 340: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Rolf Schwab:  
Das VNB-Geschäftsmodell in einer sich wandelnden Marktumgebung: Herausforderungen und Chancen, April 2010
- Nr. 341: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Schölermann:  
Die Entwicklung von Hybridpost: Marktentwicklungen, Geschäftsmodelle und regulatorische Fragestellungen, August 2010
- Nr. 342: Karl-Heinz Neumann:  
Structural models for NBN deployment, September 2010
- Nr. 343: Christine Müller:  
Versorgungsqualität in der leitungsgebundenen Gasversorgung, September 2010
- Nr. 344: Roman Inderst, Jürgen Kühling, Karl-Heinz Neumann, Martin Peitz:  
Investitionen, Wettbewerb und Netzzugang bei NGA, September 2010
- Nr. 345: Christian Growitsch, J. Scott Marcus, Christian Wernick:  
Auswirkungen niedrigerer Mobilterminierungsentgelte auf Endkundenpreise und Nachfrage, September 2010
- Nr. 346: Antonia Niederprüm, Veronika Söntgerath, Sonja Thiele, Martin Zauner:  
Post-Filialnetze im Branchenvergleich, September 2010
- Nr. 347: Peter Stamm:  
Aktuelle Entwicklungen und Strategien der Kabelbranche, September 2010
- Nr. 348: Gernot Müller:  
Abgrenzung von Eisenbahnverkehrsmärkten – Ökonomische Grundlagen und Umsetzung in die Regulierungspraxis, November 2010
- Nr. 349: Christine Müller, Christian Growitsch, Matthias Wissner:  
Regulierung und Investitionsanreize in der ökonomischen Theorie, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Dezember 2010
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:  
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:  
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 351: Peter Stamm, Anne Stetter unter Mitarbeit von Mario Erwig:  
Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, Februar 2011
- Nr. 352: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann:  
Nationale Breitbandstrategien und Implikationen für Wettbewerbspolitik und Regulierung, März 2011
- Nr. 353: Christine Müller:  
New regulatory approaches towards investments: a revision of international experiences, IRIN working paper for working package: Advancing incentive regulation with respect to smart grids, April 2011

- Nr. 354: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:  
Elektronische Zustellung: Produkte, Geschäftsmodelle und Rückwirkungen auf den Briefmarkt, Juni 2011
- Nr. 355: Christin Gries, J. Scott Marcus:  
Die Bedeutung von Bitstrom auf dem deutschen TK-Markt, Juni 2011
- Nr. 356: Kenneth R. Carter, Dieter Elixmann, J. Scott Marcus:  
Unternehmensstrategische und regulatorische Aspekte von Kooperationen beim NGA-Breitbandausbau, Juni 2011
- Nr. 357: Marcus Stronzik:  
Zusammenhang zwischen Anreizregulierung und Eigenkapitalverzinsung, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Juli 2011
- Nr. 358: Anna Maria Doose, Alessandro Monti, Ralf G. Schäfer:  
Mittelfristige Marktpotenziale im Kontext der Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandanschlüssen in Deutschland, September 2011
- Nr. 359: Stephan Jay, Karl-Heinz Neumann, Thomas Plückebaum  
unter Mitarbeit von Konrad Zoz:  
Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf, Oktober 2011
- Nr. 360: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:  
Neue Verfahren für Frequenzauktionen: Konzeptionelle Ansätze und internationale Erfahrungen, November 2011
- Nr. 361: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:  
Qualitätsfaktoren in der Post-Entgeltregulierung, November 2011
- Nr. 362: Gernot Müller:  
Die Bedeutung von Liberalisierungs- und Regulierungsstrategien für die Entwicklung des Eisenbahnpersonenfernverkehrs in Deutschland, Großbritannien und Schweden, Dezember 2011
- Nr. 363: Wolfgang Kiesewetter:  
Die Empfehlungspraxis der EU-Kommission im Lichte einer zunehmenden Differenzierung nationaler Besonderheiten in den Wettbewerbsbedingungen unter besonderer Berücksichtigung der Relevante-Märkte-Empfehlung, Dezember 2011
- Nr. 364: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:  
Vom Smart Grid zum Smart Market – Chancen einer plattformbasierten Interaktion, Januar 2012
- Nr. 365: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm, Anne Stetter:  
Analyse der Kabelbranche und ihrer Migrationsstrategien auf dem Weg in die NGA-Welt, Februar 2012
- Nr. 366: Dieter Elixmann, Christin-Isabel Gries, J. Scott Marcus:  
Netzneutralität im Mobilfunk, März 2012
- Nr. 367: Nicole Angenendt, Christine Müller, Marcus Stronzik:  
Elektromobilität in Europa: Ökonomische, rechtliche und regulatorische Behandlung von zu errichtender Infrastruktur im internationalen Vergleich, Juni 2012
- Nr. 368: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele, Martin Zauner:  
Kostenstandards in der Ex-Post-Preiskontrolle im Postmarkt, Juni 2012
- Nr. 369: Ulrich Stumpf, Stefano Lucidi:  
Regulatorische Ansätze zur Vermeidung wettbewerbswidriger Wirkungen von Triple-Play-Produkten, Juni 2012
- Nr. 370: Matthias Wissner:  
Marktmacht auf dem Primär- und Sekundär-Regelenergiemarkt, Juli 2012
- Nr. 371: Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:  
Prognosemodelle zur Nachfrage von Briefdienstleistungen, Dezember 2012
- Nr. 372: Thomas Plückebaum, Matthias Wissner:  
Bandbreitenbedarf für Intelligente Stromnetze, 2013

- Nr. 373: Christine Müller, Andrea Schweinsberg:  
Der Netzbetreiber an der Schnittstelle von Markt und Regulierung, 2013  
onale Erfahrungen und Implikationen für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, März 2014
- Nr. 374: Thomas Plückebaum:  
VDSL Vectoring, Bonding und Phantomomg: Technisches Konzept, marktliche und regulatorische Implikationen, Januar 2013
- Nr. 375: Gernot Müller, Martin Zauner:  
Einzelwagenverkehr als Kernelement eisenbahnbezogener Güterverkehrskonzepte?, Dezember 2012
- Nr. 376: Christin-Isabel Gries, Imme Philbeck:  
Marktentwicklungen im Bereich Content Delivery Networks, April 2013
- Nr. 377: Alessandro Monti, Ralf Schäfer, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:  
Kundenbindungsansätze im deutschen TK-Markt im Lichte der Regulierung, Februar 2013
- Nr. 378: Tseveen Gantumur:  
Empirische Erkenntnisse zur Breitbandförderung in Deutschland, Juni 2013
- Nr. 379: Marcus Stronzik:  
Investitions- und Innovationsanreize: Ein Vergleich zwischen Revenue Cap und Yardstick Competition, September 2013
- Nr. 380: Dragan Ilic, Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Peter Stamm:  
Migrationsoptionen für Breitbandkabelnetze und ihr Investitionsbedarf, August 2013
- Nr. 381: Matthias Wissner:  
Regulierungsbedürftigkeit des Fernwärmesektors, Oktober 2013
- Nr. 382: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:  
Netzzugang im Briefmarkt, Oktober 2013
- Nr. 383: Andrea Liebe, Christine Müller:  
Energiegenossenschaften im Zeichen der Energiewende, Januar 2014
- Nr. 384: Christan M. Bender, Marcus Stronzik:  
Verfahren zur Ermittlung des sektoralen Produktivitätsfortschritts - Internati-
- Nr. 385: Franz Büllingen, Annette Hillebrand, Peter Stamm:  
Die Marktentwicklung für Cloud-Dienste - mögliche Anforderungen an die Netzinfrastuktur, April 2014
- Nr. 386: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:  
Smart Metering Gas, März 2014
- Nr. 387: René Arnold, Sebastian Tenbrock:  
Bestimmungsgründe der FTTP-Nachfrage, August 2014
- Nr. 388: Lorenz Nett, Stephan Jay:  
Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, September 2014
- Nr. 389: Stephan Schmitt:  
Energieeffizienz und Netzregulierung, November 2014
- Nr. 390: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:  
Kostensenkungspotenziale für Glasfaseranschlussnetze durch Mitverlegung mit Stromnetzen, September 2014
- Nr. 391: Peter Stamm, Franz Büllingen:  
Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, Oktober 2014
- Nr. 392: Dieter Elixmann, J. Scott Marcus, Thomas Plückebaum:  
IP-Netzzusammenschaltung bei NGN-basierten Sprachdiensten und die Migration zu All-IP: Ein internationaler Vergleich, November 2014
- Nr. 393: Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:  
Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung, Dezember 2014
- Nr. 394: Rolf Schwab:  
Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland, Dezember 2014



**ISSN 1865-8997**