Abschlussbericht

„Dienstequalität von Breitbandzugängen II“

Studie im Auftrag der Bundesnetzagentur

Autorin/Autoren:

Kai Lukas
Dr. Almuth Marx
Bernd Oliver Schöttler
Christoph Sudhues

zafaco GmbH
Taxetstraße 66
85737 Ismaning

Ismaning, 05. Juni 2014

Inhalt

Einleitung

1 Hintergrund 5

1.1 Ziele der Qualitätsuntersuchung 7
1.2 Methoden der Qualitätsuntersuchung 8
1.3 Kurzzusammenfassung 10

Material und Methoden

2 Qualität des Internetzugangsdienstes – Messparameter 13

2.1 Bestimmung der verfügbaren Datenübertragungsrate 13
2.1.1 Messverfahren 13
2.1.2 Messaufbau 16
2.1.3 Datenübertragungsrate von Internetzugangsdiensten auf Basis stationärer Breitbandanschlüsse (Endkundenmessungen) 27
2.2 Laufzeitenmessung (Messplattform) 41
2.3 Qualität einer Standardanwendung – Web Browsing (Messplattform) .. 42

3 Darstellung der Messergebnisse 44

3.1 Darstellungsparameter 44
3.2 Grafische Darstellung der Messergebnisse 46
3.3 Vergleich Studie 2012 und 2013 49

Ergebnisse

4 Datengrundlage 51

4.1 Endkundenmessungen (Initiative Netzqualität) 51
4.1.1 Struktur der Stichprobe 51
4.1.2 Optimale Testumgebung 58
4.1.3 Technische Validierung 60
4.1.4 Messzeitraum 63
4.2 Deutschlandweite Messplattform 63
4.3 Kontrollmessungen 64

Ergebnisse

5 Stationäre Breitbandanschlüsse 66

5.1 Datenübertragungsrate (Endkundenmessungen) 69
5.1.1 Technologie 70
5.1.2 Bandbreiteklasse 74
5.1.3 Anbieter 81
5.1.4 Geografischer Bereich 85
5.1.5 Kundenzufriedenheit 91
5.1.6 Upload 94
5.2 Sonderuntersuchungen 96
5.2.1 Synchronisierte Datenrate der Leitung 96
5.2.2 Zur Messung genutzte Router Schnittstellen 98
5.2.3 Paralleler Datenverkehr 100
5.3 Datenübertragungsrate zu verschiedenen Zeiten des Tages (Messplattform) 102
5.4 Laufzeiten (Messplattform) 105
5.5 Web Browsing (Messplattform) 107

Glossar

6 Glossar 111

Anhang

7 Technische Darstellung der Messverfahren 117

7.1 Messaufbau der Messplattform 117
7.1.1 Messeinheiten stationäre Messungen 120
7.2 Messaufbau der Endkundenmessung 121
7.3 Daten-Referenz-Systeme 124
7.4 Messablauf 127
7.4.1 Messung der Datenübertragungsrate – Download 127
7.4.2 Messung der Datenübertragungsrate – Upload 129
7.4.3 Messung der Laufzeit 131
7.4.4 Messung der Webseiten-Downloadzeit 132

7.5 Auslesen von Modem/Router Parametern 135
7.5.1 Synchronisierte Datenrate der Leitung 135
7.5.2 Abfrage der Router–Schnittstellen inklusive ihrer Verbindungsgeschwindigkeiten (Interface Link Speed) 136
7.5.3 Übertragene Verkehrsmenge in Sende- und Empfangsrichtung der Schnittstellen (Interface Traffic Counter).....136
7.5.4 Auslesevorgang 136
7.6 Technische Validierung 138

Abbildungsverzeichnis

8 Abbildungsverzeichnis 140

Einleitung

1 Hintergrund

Die Qualität von Internetzugangsdiensten kann von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren beeinflusst werden, die den subjektiven Qualitätseindruck des Endkunden bestimmen.

Mit einem Internetzugangsdienst stellt ein Anbieter über seine Telekommunikationsinfrastruktur eine Kommunikationsverbindung zwischen einem Endkunden und seiner eigenen Anbindung an das weltweite Internet her. Über diese Verbindung transportiert er Datenpakete, die der Endkunde mit anderen an das Internet angeschlossenen Endeinrichtungen austauscht.

Die Qualität des Internetzugangsdienstes hängt dabei von unterschiedlichen Faktoren ab.

Zunächst bestimmt die unmittelbare Anbindung des Endkunden an die Infrastruktur des Anbieters (Anschluss) die Qualität des Internetzugangsdienstes. Der Anschluss kann über verschiedene Technologien realisiert werden, z. B. xDSL, TV-Kabeltechnologien, Glasfasertechnologien sowie verschiedene drahtlose Technologien. Die Technologie bestimmt zusammen mit der zugrundeliegenden Infrastruktur die theoretisch maximal erreichbare Transportkapazität des Internetzugangs. Zum Beispiel ist die Länge der Kupferleitung für die Leistungsfähigkeit eines DSL-Anschlusses ein entscheidender Parameter. Beide Parameter – Infrastruktur und Anschlusstechnologie – sind den Anbietern bekannt und sind in das konkrete Leistungsangebot des Endkunden mit einzubeziehen.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor für die Qualität des Internetzugangsdienstes ist die Güte des Transports der Datenpakete innerhalb der Infrastruktur des Anbieters (Konzentrations- und Kernnetz). Diese hängt von der Dimensionierung der Netzressourcen (zur Verfügung gestellte Übertragungskapazitäten) ab. Schwankungen durch unterschiedliche Netzauslastungen können die Stabilität der Datenübertragungsrate beeinflussen, die zu Laufzeitunterschieden von einzelnen Datenpaketen führen kann. Da bestimmte Anwendungen sensitiv auf solche Schwankungen reagieren, nimmt der Endnutzer bei unterschiedlichen Laufzeiten auch unterschiedliche Anwendungsqualitäten wahr.

Die oben dargestellten Faktoren bestimmen in Summe das Leistungsvermögen des Internetzugangsdienstes. Damit ergeben sich die folgenden Messparameter für die Qualität von Internetzugangsdiensten:

1. Qualität des Anschlusses, also die theoretische maximal erreichbare Datenübertragungsrate
2. Transportgüte im Konzentrations- und Kernnetz
    - Dimensionierung der Netzinfrastruktur und Zuweisung von Netzressourcen je Zugangsprodukt
    - Paketlaufzeiten, Nutzung von Anwendungen

Bei der tatsächlichen Nutzung des Internetzugangs werden darüber hinaus zusätzliche Anwendungen und Funktionen benötigt, die ausschließlich in den angeschlossenen Endgeräten ablaufen. Auch können parallel laufende Anwendungen die Übertragungsrate, die eine einzelne Anwendung nutzen kann, ebenso beeinflussen wie Endkundeninfrastrukturen mit mehreren Endkundeneinrichtungen, die die Nutzungsmöglichkeiten einzelner Geräte und Anwendungen einschränken. Diese Faktoren stellen insgesamt zusätzliche qualitätsbeeinflussende Größen dar, die beim konkreten Zugriff auf den Internetzugangsdienst zu berücksichtigen sind.

Bei einer Qualitätsmessung - die eine tatsächliche Nutzung des Internetzugangs darstellt - müssen daher mögliche Beeinflussungen durch die eingesetzten Endgeräte in Verbindung mit dem Messkonzept betrachtet und in die Auswertung der Messergebnisse einbezogen werden.

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesnetzagentur im Jahr 2012 eine Studie über die Qualität von Internetzugängen durchgeführt und die Ergebnisse am 11.04.2013 veröffentlicht[1]. Die Studie traf unter anderem auf der Grundlage von rund 250.000 ausgewerteten Endkundenmessungen technologie- und anbieterübergreifende Aussagen über den Status quo der angebotenen und der tatsächlich realisierten Dienstequalität.

Über eine deutschlandweite Messplattform wurden zudem Vergleichsmessungen durchgeführt, mit denen neben der Datenübertragungsrate auch Laufzeiten und die Qualität von „Web Browsing" erfasst wurde.

[1] vgl. http://www.bundesnetzagentur/qualitaetsstudie

Die Messstudie bestätigte die Vielzahl der Kundenbeschwerden über Abweichungen zwischen der vertraglich vereinbarten „bis zu"-Bandbreite und der tatsächlichen Bandbreite. Über alle Technologien, Produkte und Anbieter hinweg haben die teilnehmenden Nutzer oft nicht die Bandbreite gemessen, die sie als maximal mögliche Bandbreite mit ihrem Anbieter vereinbart haben.

Vom 1. Juli 2013 – 31. Dezember 2013 wurden Teilbereiche (Endkundenmessungen an stationären Internetzugängen, Messungen über deutschlandweite Messplattform) der Studie wiederholt.

1.1 Ziele der Qualitätsuntersuchung

Ziel dieser Folgestudie 2013 war es festzustellen, welche Veränderungen sich nach einem Jahr ergeben haben. Daher sollte wieder der Status quo der kommunizierten und der tatsächlich realisierten Dienstequalität festgestellt und mit den Ergebnissen der Studie 2012 verglichen werden. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten wurde der gleiche Messansatz genutzt. Da die 2012 für mobile Netzzugangsdienste gewählte Methodik zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen führt, wurde die Folgestudie auf stationäre Breitbandanschlüsse beschränkt.

Dabei wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- Endkundenmessungen von stationären Internetzugängen zur Ermittlung der prozentual erreichten Datenübertragungsrate des Anschlusses.

  Dabei wurden wiederum stationäre Internetzugangstechnologien (xDSL-, Breitbandkabelanschlüsse und stationär genutzte LTE-Anschlüsse) in den Blick genommen und die Datenübertragungsrate verschiedener Bandbreiteklassen, Anbieter und auch Regionen untersucht. Die gemessenen Datenübertragungsraten wurden in Beziehung zu den jeweiligen vermarkteten Datenübertragungsraten gesetzt und als prozentuale Angabe ausgedrückt. Als vermarktete Datenübertragungsraten gelten hier diejenigen, die der Anbieter dem Endkunden im Vertrag oder in den Rechnungsunterlagen nennt.

- Messung der Datenübertragungsrate, Laufzeit und Web Browsing von stationären Messeinheiten über eine deutschlandweite Messplattform

1.2 Methoden der Qualitätsuntersuchung

Die beschriebenen Fragestellungen wurden im Rahmen der Studie durch ein integriertes Messkonzept verfolgt, das aus einer Kombination von zwei Komponenten mit einander ergänzenden, spezifischen Eigenschaften besteht (vgl. Abbildung 1.1):

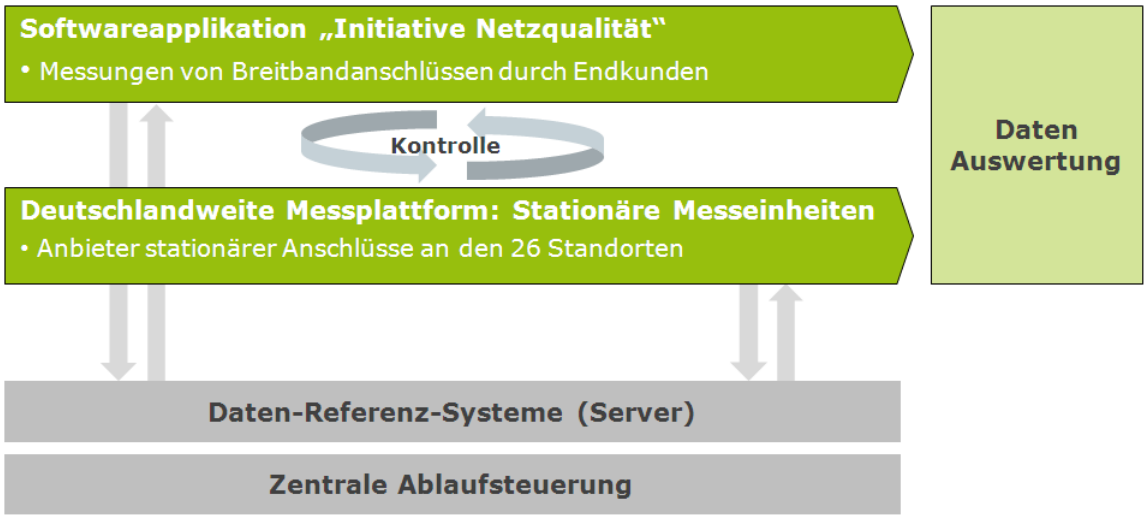

Abbildung 1.1: Integriertes Messkonzept

1. Eine Messplattform (bestehend aus Messeinheiten an 26 bundesweiten Standorten sowie aus mehreren Server-Systemen, die u.a. als Gegenstellen der Datenmessungen dienen) hat Messwerte zur Untersuchung des Managements der Verkehrslast im Konzentrations- und Kernnetz in einer vollständig kontrollierten Messumgebung erfasst. Hierbei wurden die zeitliche Verteilung der realisierten Datenübertragungsraten, Laufzeiten sowie die Qualität einer typischen Endnutzeranwendung in den Blick genommen (Web Browsing).

2. Die Datenübertragungsrate stationärer Internetzugangsdienste (Up- und Download) wurde hingegen im Rahmen von Endkundenmessungen erhoben. Hierzu hat die Bundesnetzagentur von Juli bis Dezember 2013 Endkunden aufgefordert, über die Webseite www.initiative-netzqualitaet.de die Datenübertragungsrate ihres Internetzugangs über eine Messsoftware zu messen. Die grundsätzliche Messgenauigkeit der durch die Softwareapplikation ermittelten Werte wurde kontinuierlich durch den Vergleich der Messwerte beider Methoden in gezielten Stichproben überwacht.

3. Das schon in der Studie 2012 genutzte Mess- und Validierungsverfahren wurde durch die Einbeziehung zusätzlicher Parameter erweitert und konnte so in seiner Genauigkeit verbessert werden. Dies war aber nur bei einer Teilmenge der Endkundenmessungen möglich. Für diese Teilmenge wurde eine gesonderte Analyse durchgeführt.

Als Gegenstelle für die Messungen im Rahmen der Studie kamen Server (Daten-Referenz-Systeme) zum Einsatz.

Sämtliche Messwerte des Konzepts wurden in zentralen Systemen gespeichert und ausgewertet (Data Warehouse und Business Intelligence Plattform).

Im Folgenden werden die einzelnen Untersuchungsgegenstände mit ihrer jeweiligen methodischen Umsetzung ausführlich beschrieben (Kapitel 2 bis 3).

Die Ergebnisse der Studie werden zusammenhängend in Kapitel 4 bis 5 dargestellt.

1.3 Kurzzusammenfassung

Die Bundesnetzagentur hat im Jahr 2013 ihre bundesweite Messkampagne von 2012 wiederholt. Dabei konnten die Nutzer überprüfen, inwieweit die tatsächliche Geschwindigkeit ihres Breitbandanschlusses von der vertraglich vereinbarten abweicht. Die Neuauflage der Messkampagne zielte darauf ab, festzustellen, inwieweit sich Verbesserungen gegenüber dem Vorjahr ergeben haben.

In der Studie 2013 wurden 375.412 Endkundenmessungen durchgeführt, von denen 153.216 valide Einzelmessungen in die Auswertung eingingen. So wurden beispielsweise nur diejenigen Messungen als valide berücksichtigt, bei denen der Kunde angegeben hatte, eine optimale Messumgebung zu haben. Die Ergebnisse des durchgeführten statistischen Monitorings zeigen, dass sich die Stichprobe im Hinblick auf die untersuchten Parameter Technologie, Anbieter und geografische Verteilung (Bundesländer sowie städtische, halbstädtische und ländliche Regionen) gut der Grundgesamtheit annähert.

Ergebnisse der Endkundenmessungen

Über alle Technologien, Produkte und Anbieter hinweg haben die Nutzer aus der Stichprobe der Messstudie 2013 wie im Jahr zuvor oft nicht die Bandbreite gemessen, die ihnen vertraglich maximal versprochen wurde.

Der Anteil der teilnehmenden Nutzer in der Stichprobe, die mindestens 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhielten, verbesserte sich jedoch von 69,2% im Jahr 2012 auf 77,1% im Jahr 2013. Der Anteil der Benutzer, die die volle vermarktete Datenübertragungsrate oder mehr erreichten, nahm hingegen mit 15,9% in 2013 gegenüber 19,5% im Jahr zuvor leicht ab.

Die Messergebnisse für die untersuchten stationären Anschluss-technologien DSL, Kabel und LTE zeigen, dass die geringsten Abweichungen von der vermarkteten Download-Datenübertragungsrate bei Kabelanschlüssen auftraten.

Bei der Betrachtung der Bandbreiteklassen zeigten sich ebenfalls Unter-schiede bei den prozentual erreichten Datenübertragungsraten. Ebenso wie in 2012 sind die geringsten Abweichungen im Allgemeinen in der untersten Bandbreiteklasse (≥ 0,384 bis ≤ 2 Mbit/s) aufgetreten.

Demgegenüber sind die größten Abweichungen in der obersten Bandbreiteklasse > 50 bis < 100 Mbit/s für Kabelanschlüsse und > 25 bis ≤ 50 Mbit/s für LTE-Anschlüsse, bzw. in der Bandbreiteklasse zwischen > 8 bis ≤ 18 Mbit/s für DSL-Anschlüsse gemessen worden.

Ähnlich wie in 2012 zeigten sich zwischen ländlichen, halbstädtischen und städtischen Regionen insgesamt nur geringe Differenzen.

Bei allen Technologien, Bandbreiteklassen und Regionen hat sich der Median – also der Wert, den die Hälfte der Nutzer mindestens erreichen – zu höheren Prozentwerten verschoben.

Sonderuntersuchungen

Bei Endkundenmessungen ist es methodisch nicht möglich, die Testumgebung vollständig zu kontrollieren. Die Studie 2013 konnte im Vergleich zur ersten Messstudie insofern weiterentwickelt werden, als für bestimmte Teilmengen von Routern jeweils zusätzliche Werte ausgelesen werden konnten.

Zum einen konnte so festgestellt werden, ob die Messungen dieser Teilmenge tatsächlich über WLAN erfolgten, obwohl der Benutzer angegeben hat, in einer optimalen Messumgebung ohne WLAN zu messen. Dies war für 9% der Messungen aus dieser Untergruppe der Fall.

Zum anderen konnte festgestellt werden, dass bei allen Messungen dieser Teilmenge paralleler Datenverkehr vorlag, wenn auch in geringem Umfang. Bei über der Hälfte der Messungen in der Untergruppe lag der Anteil des parallelen Datenverkehrs am gesamt aufgetretenen Datenverkehr unter 1%, bei 90% der Messungen unter 4%.

Die Ergebnisse der Sonderuntersuchungen wurden in der Gesamtauswertung nicht berücksichtigt, um methodische Konsistenz zur Studie 2012 sicherzustellen und statistische Verzerrungen zu vermeiden. In die Gesamtauswertung flossen somit alle Messungen ein, bei denen der Kunde angegeben hatte, eine optimale Testumgebung zu haben.

Es erscheint aber sehr wahrscheinlich, dass auch unter den Teilnehmern, die andere Modems/Router nutzen, vergleichbare Effekte auftreten, weil keine Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass sich die Teilnehmer der Untergruppe bzgl. der Angabe einer optimalen Testumgebung von den Teilnehmern der Gesamtstichprobe unterscheiden.

Bedeutung der Sonderuntersuchungen für die Ergebnisse der Endkundenmessungen

Es ist daher davon auszugehen, dass die oben genannten Ergebnisse der Endkundenmessungen regelmäßig ungünstiger sind, als sie bei einer optimalen Messumgebung konstatiert würden.

Die Untersuchungsergebnisse der Untergruppe können zwar nicht direkt auf die Gesamtstichprobe übertragen werden. Sie ermöglichen aber eine Einschätzung über die Größenordnung der Effekte (Nutzung von WLAN, paralleler Datenverkehr) auf das Messergebnis der Gesamtstichprobe.

Ergebnisse der Messplattform

Die Messung der zeitlichen Verteilung der Datenübertragungsrate über den Tag, der Laufzeit und vom Web Browsing fand von stationären Messeinheiten über eine deutschlandweite Messplattform statt.

Eine Analyse der zeitlichen Verteilung der Datenübertragungsrate ergab für DSL-Anschlüsse keine Abhängigkeit von der Tageszeit. Im Gegensatz dazu zeigten Kabelanschlüsse und stationäre LTE-Anschlüsse eine leichte Verringerung der Datenübertragungsrate in den Abendstunden (um bis zu 10%). Diese Beobachtungen entsprechen der Messung von 2012.

Im Rahmen der Laufzeitmessungen stellte sich ein ähnliches Bild wie 2012 dar. Die Laufzeiten lagen bei Kabel-Anschlüssen über den gesamten Tagesverlauf unter denen von DSL-Anschlüssen und stationären LTE-Anschlüssen. Jedoch wiesen die Kabelanschlüsse in den Abendstunden eine etwas erhöhte Laufzeit auf (bis zu 10%).

Bei der Untersuchung von Web Browsing als ein typisches Nutzungsszenario lagen die Webseiten-Downloadzeiten von Kabel-Anschlüssen unter denen von DSL-Anschlüssen. Die Werte verschlechterten sich jedoch in den Abendstunden um bis zu 15%. Dies trat sowohl bei DSL- als auch bei Kabelanschlüssen auf und war für alle Bandbreiteklassen sichtbar.

Material und Methoden

2 Qualität des Internetzugangsdienstes – Messparameter

Die Qualität des Internetzugangsdienstes als selbständiger Dienst wurde anhand der verfügbaren Datenübertragungsrate, der zeitlichen Verteilung der realisierten Datenübertragungsraten, der Laufzeiten sowie der Qualität des Internetzugangsdienstes bei Nutzung einer typischen Endnutzeranwendung (Web Browsing) beurteilt.

Im Folgenden werden für die einzelnen Qualitätsparameter das angewandte Messverfahren, die konkret betrachteten Produkte sowie der Messaufbau detailliert dargestellt.

2.1 Bestimmung der verfügbaren Datenübertragungsrate

2.1.1 Messverfahren

Zur Messung der verfügbaren Datenübertragungsrate wurde über das Netz eine Datenübertragung (TCP/IP) zwischen einer Messeinheit und jeweils einem von 8 Servern (Daten-Referenz-System) mit einer Anbindung von jeweils 1 Gbit/s durchgeführt. Durch eine Vernetzung der Daten-Referenz-Systeme mit den wichtigsten und größten Peering- bzw. Internetaustauschknotenpunkten Europas wird ein optimiertes und stabiles Routing erreicht.

Die serverseitige TCP/IP-Konfiguration wurde gemäß ETSI EG 202 057-4 durchgeführt und dokumentiert. Als Betriebssystem wurde Linux eingesetzt.

Als technische Messeinheit wurden entweder dedizierte Messeinrichtungen (Messplattform) verwendet oder auf Endkunden-PC aufgesetzt (Endkundenmessungen).

Messung der Datenübertragungsrate – Download

Die Messung der Datenübertragungsrate im Download erfolgte sowohl auf der Messplattform als auch im Rahmen der Endkundenmessungen nach einem einheitlichen Verfahren. Die in Teil 5 dokumentierten Ergebnisse basieren hinsichtlich der Abweichung der tatsächlich erreichten Übertragungsrate von der vermarkteten auf den Endkundenmessungen. Die Messung auf der Messplattform wurde für diesen Parameter lediglich zu Kontrollzwecken verwendet (vgl. 4.3).

Um eine realitätsnahe Nutzungssituation abzubilden, wurde das von Endkunden häufig angewandte Hypertext Transfer Protokoll (HTTP) eingesetzt.

Hierzu wurden mehrere parallele HTTP-Datenströme initiiert, um pro Datenstrom jeweils eine 1 GB-Datei von dem Daten-Referenz-System auf die Messeinheit herunterzuladen. Die Datenübertragung aller Datenströme wurde nach einer festgelegten Zeit von 20 Sekunden abgebrochen. Damit ist auch bei der maximal betrachteten Datenübertragungsrate sichergestellt, dass während des gesamten Messzeitraums ein Datentransfer stattfindet und die auf dieser Stecke maximal mögliche Datenübertragungsrate gemessen werden kann. Bei der Bestimmung des Zeitfensters wurden die Effekte der TCP Congestion Control (Überlaststeuerung) berücksichtigt.

Die Initiierung mehrerer paralleler Datenströme verringert zugleich den Einfluss der TCP/IP-Konfiguration der Messeinheit auf die Messung. Dieser Einfluss ist umso stärker, je höher die zu messende Datenübertragungsrate ist. Für den in der Studie abgedeckten Bandbreitenbereich von bis zu 200 Mbit/s haben sich in umfangreichen und seit 2002 regelmäßig von zafaco durchgeführten Untersuchungen vier Datenströme als geeignet herausgestellt.

Die *HTTP-Download-Zeit* ergibt sich als Zeit vom Startzeitpunkt des letzten HTTP-Streams bis zum ersten Abbruchzeitpunkt der vier parallelen HTTP-Streams des standardisierten HTTP-Downloads. Damit bezeichnet die HTTP-Download-Zeit den Zeitraum, während dessen alle parallelen HTTP-Streams zeitgleich Last erzeugen.

Die Datenmenge, die übertragen wurde, berechnet sich aus der Summe der geladenen Daten der vier einzelnen HTTP-Streams während der HTTP-Download-Zeit.

Aus Datenmenge und HTTP-Download-Zeit wurde der *HTTP-Download-Durchsatz* und damit die zur Verfügung stehende Download-Datenübertragungsrate in Mbit/s berechnet[2].

Messung der Datenübertragungsrate – Upload

Das gewählte Messverfahren unterscheidet sich im Detail je nachdem, ob die Messung auf der Messplattform oder im Rahmen der Endkundenmessungen vorgenommen wurde.

Auf der Messplattform wurde das zur Übertragung von Dateien weit verbreitete File Transfer Protokoll (FTP) eingesetzt. Zur Erfassung der Upload-Datenübertragungsrate wurde ein standardisierter FTP-Upload[3] einer hinreichend großen[4] Datei im passive Mode[5] durchgeführt, der nach 20 Sekunden abgebrochen wurde.

Bei den Endkundenmessungen erfolgte die Erfassung der Upload-Datenübertragungsrate demgegenüber mit Hilfe eines standardisierten HTTP Uploads[6]. Dazu wurde eine hinreichend große[4] Datenmenge für einen Messzeitraum von mindestens 20 Sekunden generiert und übertragen.

Die *Upload-Zeit* ergibt sich für den FTP-Upload als Zeit vom Startzeitpunkt bis zum Abbruchzeitpunkt des FTP-Streams des standardisierten FTP-Uploads. Für den HTTP-Upload ergibt sie sich als Zeit vom Startzeitpunkt bis zur vollständigen Übertragung des Upload Streams.

Aus Datenmenge und Upload Zeit wird der *Upload-Durchsatz* und damit die zur Verfügung stehende Datenübertragungsrate im Upload des Produkts in Mbit/s berechnet.

---

[2] Die Berechnung erfolgt bei den Endkundenmessungen inklusive der HTTP-Protokoll-Header, d.h. die Angaben zur Datenübertragungsrate beziehen sich auf den Durchsatz des Internetzugangsdienstes (IP-Payload).
[3] Gemäß ETSI EG 202 057 - Part 4.
[4] Hinreichend groß bedeutet hier, dass auch bei der maximal betrachteten Datenübertragungsrate sichergestellt ist, dass während des gesamten Messzeitraums ein Datentransfer stattfindet und die auf dieser Stecke maximal mögliche Datenübertragungsrate gemessen werden kann.
[5] Passive Mode wird eingesetzt, wenn der Server keine Verbindung zum Client aufbauen kann. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn der Client sich hinter einem Router befindet, der die Adresse des Clients mittels NAT umschreibt, oder wenn eine Firewall das Netzwerk des Clients vor Zugriffen von außen abschirmt.
[6] Gemäß ETSI EG 202 057 - Part 4

2.1.2 Messaufbau

2.1.2.1 Messplattform

Die bundesweite Messplattform setzt sich aus Messeinheiten an 26 Standorten sowie aus mehreren zentralen Server-Systemen zusammen, u.a. einer Business Intelligence Plattform (Datenauswertung), einem Data Warehouse (Datenspeicherung), mehreren Daten-Referenz-Systemen (Gegenstellen der Datenmessungen) und einem Management-System.

Verteilung der Standorte

Die Verteilung der Standorte orientiert sich an folgenden Überlegungen:

- Abdeckung mindestens aller einstelligen Vorwahlbereiche
- Ermöglichung der Verfügbarkeit einer hohen Anzahl von Anbietern an einem Standort durch Platzierung in größeren Städten

Über Deutschland verteilt sind derzeit 26 Messstandorte in Betrieb, die in Abbildung 2.1 dargestellt sind.

Abbildung 2.1: Standorte der deutschlandweiten Messplattform

Messeinheiten

Für die Plattform kamen leistungsfähige, auf diesen Einsatzzweck speziell zugeschnittene Hardware und Software zum Einsatz. Jede Messeinheit ist ein in 19"-Technik aufgebautes Computersystem mit dem Betriebssystem Windows XP Embedded, welche keine Bedienung vor Ort erfordern. Selbsttests und die eingebaute Systemüberwachung sorgten für eine hohe Betriebssicherheit. Weiterhin wurde die TCP/IP-Standardeinstellung des Betriebssystems verwendet.

Die eigentlichen Messaufgaben wurden in einer Mess-Software implementiert, die auf den beschriebenen Computersystemen installiert worden ist. Dabei wurden die Messdaten nach den von dem **Deutsches Institut für Normung** (DIN 66274), dem Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI EG 202 057) und der **International Telecommunication Union** (ITU P.862)[7] definierten Empfehlungen erhoben.

Die Daten wurden mittels Prüfverbindungen an den Kundenschnittstellen inklusive Router des Anbieters ermittelt. Damit sind die Messeinheiten teilnehmergleich an das Anschlussnetz der Anbieter angeschlossen. Da nicht spezielle Testanschlüsse, sondern öffentlich verfügbare Teilnehmeranschlüsse gewählt wurden, ist eine Vergleichbarkeit der Anbieter gewährleistet. Dieser Ansatz gewährleistet zudem eine Beurteilung der Servicequalität aus Kundensicht, denn alle in einer Ende-zu-Ende-Verbindung beteiligten Systemkomponenten werden in den Test mit einbezogen. Dies bietet die folgenden Vorteile:

- vollständig dokumentierte Prüfverbindungen
- vollständige Kontrolle der zu testenden Verbindungen
- rasche und reproduzierbare Ergebnisse
- keine Auflagen bezüglich Datenschutz

Abbildung 2.2 zeigt den beispielhaften Aufbau einer solchen Messeinheit.

[7] Die Ergebnisse der PESQ-Messungen nach ITU P.862 zur Bewertung der Sprachqualität wurden im Rahmen dieser Studie nicht verwendet.

Abbildung 2.2: Beispielhafter Aufbau einer Messeinheit an einem Standort

Die an den Standorten durchgeführten Messungen wurden durch ein zentrales Management-System gesteuert. Je Messeinheit wurde ein spezifischer, stündlich wiederkehrend ablaufender Messplan implementiert. Dabei wurden Verbindungen sowohl zwischen den Messstellen als auch zu den Daten-Referenz-Systemen der Messplattform hergestellt. Der Messplan der automatisierten Messungen wurde so aufgesetzt, dass eine Reserve von 20% eingehalten wurde und damit keine Überlastung der Daten-Referenz-Systeme auftreten kann. Zusätzlich wurden die Server durch ein Monitoring-System überwacht. Für geplante Wartungsaufgaben wurde einmal pro Tag ein nächtliches Wartungsfenster zwischen 04:00 Uhr und 05:00 Uhr vorgesehen.

Soweit nicht nachfolgend anders beschrieben, wurden an der Plattform Produkte mit den folgenden Parametern betrachtet:

Anbieter

Im Rahmen der Plattform wurden breitbandige Endkundenanschlüsse von überregionalen, regionalen sowie lokalen Anbietern betrachtet. Hierfür wurden Festnetz- und TV-Kabelanbieter entsprechend ihrer Marktanteile[8] ausgewählt. (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Untersuchte Anbieter stationärer Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform (Quelle: VATM TK-Marktanalyse Q3/2013)

Stationäre Breitbandanschlüsse		
Anbieter	**Marktanteil**	**Klassifizierung**
Telekom	43,8%	Überregional
Vodafone	10,6%	Überregional
United Internet	12,0%	Überregional
Telefónica	8,1%	Überregional
Unitymedia KabelBW	8,5%	Regional
Kabel Deutschland	7,1%	Regional
EWE	2,5%	Regional
Versatel	1,8%	Regional
NetCologne	1,4%	Lokal
M-net	0,7%	Lokal
KielNet	in 'übrige'	Lokal
congstar	in 'Telekom'	Überregional
Tele2	in 'übrige'	Regional

[8] VATM TK-Marktanalyse Q3/2013

Produkte

Im Bereich der stationären Breitbandanschlüsse werden jeweils die „best-in-class"-Produkte gemessen, also die hochwertigsten Anschlüsse, die an diesen innerstädtischen, gut von den Anbietern erschlossenen Standorten verfügbar waren. Ein Großteil der Plattformstandorte befindet sich insbesondere in unmittelbarer Nähe zum Hauptverteiler, Outdoor-DSLAM oder CMTS der Anbieter.

LTE

Die verfügbare Datenübertragungsrate stationärer LTE-Anschlüsse wurde an insgesamt 8 Standorten der Messplattform gemessen (vgl. Tabelle 2). Bei der Auswahl der Standorte wurde die Verfügbarkeit des jeweiligen LTE-Ausbaustandes der Anbieter berücksichtigt.

„LTE stationär" bezeichnet den Einsatz der LTE-Zugangstechnologie als Alternative zu Festnetzanschlüssen über ein LTE-Modem/Router. LTE-Zugänge für den mobilen Einsatz, z. B. per Smartphone oder Surf-Stick, wurden im Rahmen der Studie nicht mit ausgewertet.

Tabelle 2: An den Standorten der deutschlandweiten Messplattform untersuchte Anbieter LTE stationärer Breitbandanschlüsse

LTE stationäre Breitbandanschlüsse		
Anbieter	**Technologie**	**Standorte**
Telekom	LTE stationär	6
Vodafone	LTE stationär	6
O2	LTE stationär	4

2.1.2.2 Endkundenmessungen

Zur Bestimmung der Datenübertragungsrate stationärer Breitbandanschlüsse wurde im Rahmen von Endkundenmessungen die verfügbare Datenübertragungsrate an einer Vielzahl von Anschlüssen ermittelt. Dazu konnten alle Endkunden zwischen dem 01.07.2013 und dem 31.12.2013 über einen browserbasierten Test (www.initiative-netzqualitaet.de) die Datenübertragungsrate ihres spezifischen Internetzugangsdienstes messen.

Um eine möglichst hohe Anzahl von Teilnehmern zu erreichen, musste die Implementierungstechnologie mehreren Anforderungen entsprechen:

- keine spezifische Installation innerhalb der Endkundeninfrastruktur, um eine Teilnahme für Endnutzer nicht zu erschweren.
- Unabhängigkeit von Browser- und Betriebssystemtyp
- Hoher Verbreitungsgrad und Robustheit

Für die Studie 2013 wurde die Messsoftware nicht mehr mittels Flash umgesetzt, sondern auf Java umgestellt.

Dabei wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Die Endkundenmessung wird durch eine Softwareapplikation als *Java PlugIn* im Browser des Endkunden-PC durchgeführt. Durch die Umstellung auf Java wurde der eigentliche Messablauf gegenüber der Studie 2012 nicht verändert.
- Durch die weite Verbreitung von Java war es Endkunden ebenso wie bei Flash regelmäßig möglich, die Softwareapplikation ohne weiteren Installationsaufwand auf ihren Rechnern zu nutzen.
- In Java können - im Gegensatz zu Flash - Protokolle genutzt werden, mit denen Abfragen des Modem/Routers des Endkunden über das *Java PlugIn* im Browser des Endkunden-PC möglich sind (hier insbesondere das Simple Network Management Protocol (SNMP)).

- Aus Sicherheitsgründen wurde die Messsoftware (Programmcode) mit einem Zertifikat signiert, um die Authentizität der Quelle sicherzustellen[9]. Ebenso findet der Auslesevorgang nur innerhalb der Endkundenumgebung (LAN) statt. Hierzu findet kein Zugriff über das Internet statt, da dies ein zusätzliches Sicherheitsrisiko bedeuten würde.

Im Rahmen der Untersuchung wurden personenbezogene Daten ausschließlich nach den geltenden gesetzlichen Bestimmungen erhoben, gespeichert und verarbeitet, soweit dies zur Durchführung der Studie notwendig und erforderlich war. Als personenbezogene Daten gelten die vom Nutzer verwendete IP-Adresse und die Router-ID, die im Rahmen des Messverfahrens zur Validierung und für das statistische Montoring erhoben wurden. Diese lassen unter Umständen einen Rückschluss auf die Identität des Nutzers (Personenbezug) zu.

Gemäß der Datenschutzerklärung der Initiative Netzqualität haben nur zafaco und die Bundesnetzagentur Zugriff auf die IP-Adresse und die Router-ID. Diese Daten werden nicht an Dritte weitergegeben. Außerdem war weder für zafaco noch für die Bundesnetzagentur ein Rückschluss auf die Identität der Nutzer möglich. Ein solcher Rückschluss wäre lediglich für die Anschlussanbieter möglich, da nur dieser die IP-Adresse oder Router-ID einem Vertrag zuordnen kann.

Endkunden-Testumgebung

Die verlässlichsten Messergebnisse lassen sich erzielen, wenn weder andere datenintensive Anwendungen noch weitere Endgeräte auf den zu messenden Internetzugang/Breitbandanschluss zugreifen und Viren-scanner, Firewalls o. ä. ausgeschaltet sind.

[9] Das digitale Signieren von Java-Anwendungen schützt den Code vor Manipulation und bindet die Identität des Anbieters an den Code. Dadurch wird dem Endbenutzer versichert, dass der Code von der zafaco GmbH stammt und vertrauenswürdig ist.

Grundsätzlich können die folgenden Effekte auftreten, die das Messergebnis beeinflussen:

- Zusätzliche Endgeräte (z. B. Smartphones, Tablets) greifen zeitgleich zum Messvorgang auf den Internetzugang zu und generieren parallelen Datenverkehr
- Die Anbindung des messenden Endkunden-PC ist begrenzt durch
    - eine WLAN-Anbindung, die geringere Datenübertragungsraten als der Internetzugang selbst aufweist
    - lokale LAN-Konfigurationen, die die Datenübertragungsrate einzelner Endkundengeräte beschränken.
- Prozesse/Anwendungen (z. B. Virenscanner oder Firewalls) können unmittelbar in den Datenaustausch zwischen Softwareapplikation und Daten-Referenz-System eingebunden sein, wodurch die resultierende Datenübertragungsrate beeinflusst werden kann.
- Das auf dem Endkundengerät verwendete Betriebssystem, die Browserversion o. ä. kann einen Einfluss auf die Messung haben (z. B. Implementierung des TCP/IP-Protocol Stacks).

Die Endnutzer wurden über diese Effekte informiert und gebeten, eine „optimale Testumgebung" herzustellen. Sie wurden aufgefordert, alle anderen Anwendungen zu beenden und das Endgerät, von dem die Messung gestartet werden soll, direkt über ein LAN-Kabel an die vom Anbieter zur Verfügung gestellte Zugangseinheit anzuschließen. Zusätzlich sollten parallele Prozesse/Anwendungen, die womöglich im Hintergrund ablaufen, beendet werden.

Schließlich wurde vor der Messung abgefragt, ob bei der Messung eine solche optimale Testumgebung vorgelegen hat (vgl. 2.1.3.1).

Für das im Rahmen der Gesamtstudie durchgeführte Validierungsverfahren wurde nur Messungen berücksichtigt, bei denen der Kunde angegeben hatte, eine optimale Testumgebung zu haben. In die Auswertung der Gesamtstudie sind also nur die Datensätze eingegangen, die laut Kundenangabe bei optimaler Testumgebung ermittelt worden sind.

Auslesen zusätzlicher Werte

Gegenüber der Studie 2012 konnten in der Studie 2013 für bestimmte Teilmengen von Routern jeweils zusätzliche Werte ausgelesen werden:

- Synchronisierte Datenrate der Leitung

  Mit der synchronisierten Datenrate wird die Datenrate bezeichnet, mit der sich das Modem mit dem Anschlussnetz des Anbieters verbindet. Diese stellt die Datenübertragungsrate der Anschlussleitung dar, die unter optimalen Bedingungen erreicht, aber nicht überschritten werden kann. Sie kann dabei je nach der Produktgestaltung des Anbieters unter der Datenrate liegen, die die Teilnehmeranschlussleitung entsprechend ihrer Qualität und - in Abhängigkeit von der Anschlusstechnologie – entsprechend ihrer Länge maximal zulässt. Darüber hinaus ist z. B. zu berücksichtigen, dass bei einigen Technologien bereits im Anschluss-netz die Nutzung von Ressourcen durch mehrere Verbraucher erfolgen kann (z. B. bei Kabel- und Mobilfunkanschlüssen). Zudem erfasst die synchronisierte Datenrate nicht die – technologieunabhängige – gemeinsame Nutzung von Ressourcen im Konzentrationsnetz.

  Durch die Implementierung zusätzlicher Abfrageprotokolle konnte gegenüber der Studie 2012 die Anzahl der Hersteller erweitert werden, für die ein Auslesen der synchronisierten Datenrate der Leitung möglich ist. Dieser Wert ist hilfreich, um festzustellen, ob die synchronisierte Datenrate in dem Bereich liegt, den die Endkunden als vermarktete Datenübertragungsrate angegeben haben. (vgl. 5.2.1).

- Abfrage der Router–Schnittstellen inklusive ihrer Verbindungs-geschwindigkeiten (Interface Link Speed)

  Aus einer Teilmenge von Modem/Routern konnten die Eigenschaften der beim Messvorgang verwendeten Schnittstellen des Endkunden-PC und des Router/Modem (LAN/WLAN) inklusive ihrer Verbindungs-geschwindigkeiten (Interface Link Speed) ausgelesen werden.

  Daher konnte für diese Teilmenge – unabhängig von der Endbenutzer-Angabe zur optimalen Testumgebung – erkannt werden, ob die Messung über WLAN erfolgte und mit welcher Datenrate der Endkunden PC mit dem Modem/Router verbunden ist.

- Übertragene Verkehrsmenge in Sende- und Empfangsrichtung der Schnittstellen (Interface Traffic Counter)

  Die insgesamt übertragene Datenmenge in Sende- und Empfangsrichtung konnte für diese Teilmenge aus dem Byte- oder Paketzähler (Interface Traffic Counter) der WAN-Schnittstelle (Anbindung des Routers an den Internetzugang) ausgelesen werden. Der Auslesevorgang erfolgte ausschließlich über die LAN-Schnittstelle zwischen Endkunden PC und Modem/Router. Dadurch war es möglich, Datenverkehr zu erkennen, der zusätzlich zur Messung erfolgte. Dieser parallele Datenverkehr kann z. B. durch im Hintergrund laufende Applikationen oder weitere vorhandene Endgeräte verursacht werden.

Durch die oben beschriebenen Werte kann die Kundenangabe „optimale Testumgebung" im Hinblick auf die Qualität der Anbindung des Endkunden-PC (z. B. WLAN) überprüft werden und paralleler Datenverkehr bei der Berechnung der Datenübertragungsrate mit einbezogen werden (s. 2.1.3.2.1).

Da diese Möglichkeiten nicht für alle Teilnehmer bestanden, wurden die Auswirkungen für diese Untergruppe in einer separaten Auswertung untersucht (vgl. 5.2.2 und 5.2.3).

Es wurde somit davon abgesehen, die Teilmenge der Messergebnisse, bei denen ein Auslesen zusätzlicher Werte möglich war, anders zu behandeln. Durch diese Vorgehensweise wurde methodische Konsistenz zwischen der ersten und der vorliegenden zweiten Qualitätsstudie gewährleistet. Eine Andersbehandlung einer Teilmenge würde zudem zu Verzerrungen innerhalb der Gesamtstudie führen.

Daten-Referenz-Systeme

Für die Endkundenmessungen wurden an mehreren Orten acht dedizierte Daten-Referenz-Systeme als Gegenstelle eingerichtet und wie oben beschrieben angeschlossen und konfiguriert (vgl. 2.1.1).

Um zu verhindern, dass eine Beeinflussung der Messung durch Überlastung der Server und deren Anbindung erfolgt, ist eine monitoringbasierte Laststeuerung implementiert worden, die sicherstellt, dass ein spezifisches Daten-Referenz-System nur dann als Gegenstelle einer Messung eingesetzt wird, wenn entsprechende Ressourcen zur Verfügung stehen. Ansonsten wird der Aufruf an ein anderes Daten-Referenz-System weitergeleitet. Für den im Produktivbetrieb der vergangenen zwei Jahre

nicht eingetretenen Fall, dass selbst nach kurzer Wartezeit alle Server überlastet sind, wird die Messung abgewiesen und der Endkunde darauf hingewiesen. Im Rahmen dieser Laststeuerung wurden die Daten-Referenz-Systeme rollierend angefragt (sogenanntes Round-Robin Prinzip).

Durch die Laststeuerung konnte sichergestellt werden, dass die Daten-Referenz-Systeme bei jeder Messung über eine ausreichende Bandbreite verfügten. Dabei wurde durchgängig eine Sicherheitsreserve von 20% eingehalten.

Untersuchte Anschlüsse

Die eingesetzte Softwareapplikation erlaubt Messungen der Datenübertragungsrate bis hin zu 200 Mbit/s. Sie erlaubt dabei auch die Messung von Anschlüssen mit sehr geringer Datenübertragungsrate, wie sie z. B. im Upload von Anschlüssen mit einer vermarkteten Download-Datenübertragungsrate von 384 Kbit/s vorkommen.

Im Rahmen der Endkundenmessungen konnten ausschließlich Messungen für stationäre Breitbandanschlüsse des Massenmarktes mit maximal „bis zu" 200 Mbit/s Datenübertragungsrate im Download in Deutschland durchgeführt werden.

2.1.3 Datenübertragungsrate von Internetzugangsdiensten auf Basis stationärer Breitbandanschlüsse (Endkundenmessungen)

Die Erhebung der Datenübertragungsrate von Internetzugangsdiensten, die auf Basis stationärer Breitbandanschlüsse angeboten werden, erfolgte im Rahmen der Endkundenmessungen.

2.1.3.1 Ablauf des Messvorgangs

Nach Aufruf der Seite www.initiative-netzqualitaet.de gelangte der Benutzer zunächst auf eine Informationsseite, die einen Überblick über die Studie und den Ablauf des Tests enthält.

Durch Auswahl von „Zum Test" gelangte er dann in einen Bereich, in dem Angaben zum zu messenden Anschluss abgefragt werden (vgl. Abbildung 2.3). Dies waren im Einzelnen Angaben zu:

- **Postleitzahl**

  Um den gemessenen Anschluss regional zuordnen zu können, wird die Postleitzahl der Hausanschrift des Anschlusses abgefragt.

- **Anschlusstechnologie**

  Hier wurde die Technologie erfragt, in der der gemessene Anschluss realisiert ist. Die Eingabe erfolgt grundsätzlich auswahlmenübasiert. Über die Auswahl „Sonstige" war eine Freitexteingabe möglich.

- **Anbieter**

  Die Eingabe erfolgt grundsätzlich auswahlmenübasiert mit „Auto-vervollständigen" Funktionalität. Für Fälle, in denen der Benutzer seinen Anbieter nicht in der Liste finden kann, wurde eine E-Mail Kontaktadresse angegeben.

- **Anschlussgeschwindigkeit**

  Im Rahmen der Anschlussgeschwindigkeit wurde nach der vermarkteten Datenübertragungsrate im Download gefragt, die dem Endkunden vom Anbieter in den Rechnungs- und Vertragsunterlagen mitgeteilt worden ist.

- **Kundenzufriedenheit**

  Bei der Erfassung der Kundenzufriedenheit ging es darum, zu bewerten, wie zufrieden die Endkunden mit der Gesamtleistung des Anbieters sind.

- **Optimale Testumgebung**

  Zudem wurde erfasst, ob aus Benutzersicht die Messung über eine kabelgebundene Verbindung (LAN) und ohne andere auf dem PC ggf. im Hintergrund laufende Anwendungen wie z. B. Virenscanner durchgeführt wurde.

Nach Eingabe dieser Parameter konnte der Endkunde die Messung starten. Eine Messung beanspruchte ca. 60 Sekunden. Die Ergebnisse der jeweiligen Einzelmessung wurden dem Endnutzer sowohl als Werte als auch als Balkendiagramm dargestellt und zeitgleich an die zentralen Systeme übermittelt (vgl. Abbildung 2.3). Weitergehende Informationen zur Studie sowie eine Benutzerunterstützung in Form von „Fragen und Antworten" wurden ebenfalls zur Verfügung gestellt.

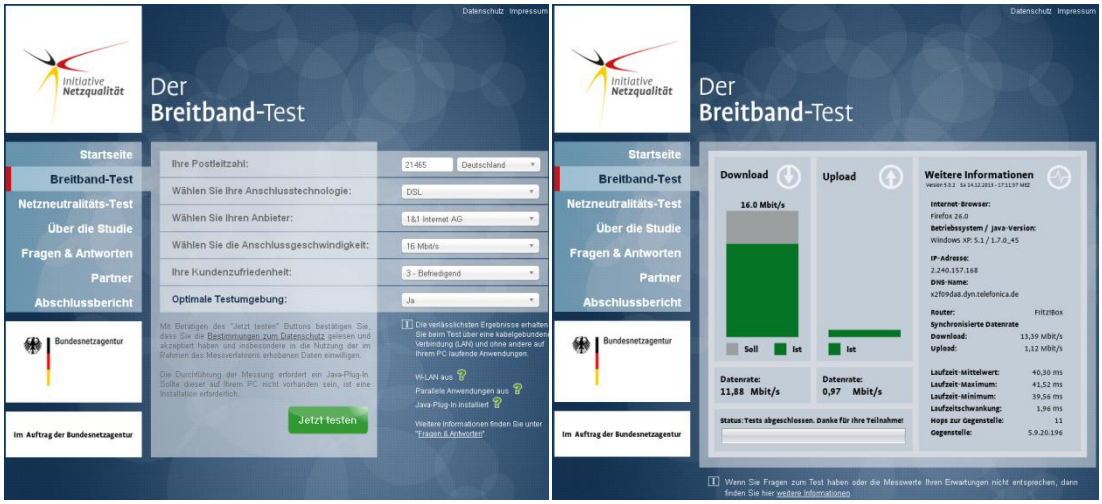

Abbildung 2.3: Benutzeroberfläche der Endkundenmessung

2.1.3.2 Datenaufbereitung und Qualitätssicherung

2.1.3.2.1 Technische Validierung der Kennwerte

Die ermittelten Messwerte und Endkundenangaben wurden regelmäßig in einem mehrstufigen Validierungsprozess überprüft. Dabei wurden Datensätze mit unplausiblen Werten verworfen.

Abhängig von den erfassten Kennwerten wurden die folgenden Validierungsstufen durchgeführt:

Anbieter

- Verwerfung ausländischer Anbieter
- Validierung der Anbieterbezeichnung basierend auf der IP-Adresse in Verbindung mit Reverse DNS Lookup / whois-Abfrage.
- Abbildung von gültigen Resale-Szenarien (mögliche Kombinationen von Anbieter aus Endkundenangabe und Leistungserbringer aus technischer Validierung)[10].

Postleitzahl mit Zuordnung geografischer Bereich und Bundesland

- Zuordnung von Bundesland und geografischem Bereich (städtisch, halbstädtisch, ländlich[11]) basierend auf der Bevölkerungsdichte[12] des jeweiligen Postleitzahlengebietes unter Prüfung der Gültigkeit der angegebenen Postleitzahl.

Technologie

- Übersetzung von Freitexteingaben in Standardbezeichnungen mit Hilfe regelmäßig aktualisierter Umsetzungstabellen.
- Prüfung, ob die angegebene Technologie im Markt vorhandenen Kombinationen von Anbietern und Technologien entspricht.

---

[10] Im Rahmen der technischen Validierung wird der Anbieter ermittelt, dessen Vorleistungsprodukt der Reseller nutzt, um den Endkunden einen Internetzugangsdienst anzubieten. Wenn dieser Anbieter kein möglicher Vorleister für den vom Endkunden angegebenen Anbieter ist, würde der Datensatz als unplausibel verworfen werden.

[11] Klassifizierung gemäß Eurostat

[12] Statistisches Bundesamt, „Gemeindeverzeichnis , Gebietsstand: 31.12.2011 (4. Quartal)", Januar 2012

Für die folgenden Werte wurde eine gesonderte Auswertung durchgeführt. Die Ergebnisse hatten keinen Einfluss auf den Validierungsprozess der Endkundenmessung. Sie wurden zu Plausibilisierungszwecken verwendet.

Synchronisierte Datenrate der Leitung

Mit der Softwareapplikation war es möglich, die synchronisierte Datenrate der Leitung für Geräte (Router-Modem-Kombination) einer Teilgruppe von Herstellern auszulesen, um festzustellen, ob die synchronisierte Datenrate in dem Bereich liegt, den die Endkunden als vermarktete Datenübertragungsrate angegeben haben.

Abfrage der Router-Schnittstellen

Aus einer Teilmenge von Modem/Routern konnten die Eigenschaften der beim Messvorgang verwendeten Router/Modem-Schnittstellen zum Endkunden-PC (LAN/WLAN) inklusive ihrer Verbindungsgeschwindigkeiten (Interface Link Speed) ausgelesen werden.

Aus diesen Werten konnte erkannt werden, ob die Messung über WLAN erfolgte und welche Datenübertragungsrate die Verbindung zwischen Endkunden-PC und Modem/Router unterstützt.

Übertragene Verkehrsmenge der Schnittstellen

Ebenso konnte aus einer Teilmenge von Modem/Routern die übertragene Verkehrsmenge in Sende- und Empfangsrichtung an den Schnittstellen durch Auslesen eines Byte- oder Paket-Zählers (Interface Traffic Counter) festgestellt werden. Dadurch konnte parallel zur Messung ablaufender Datenverkehr, z. B. durch im Hintergrund laufende Applikationen oder weitere auf den Modem/Router zugreifende Endgeräte, erkannt und berücksichtigt werden.

2.1.3.2.2 Kontrollmessungen über deutschlandweite Messplattform

Zur Überwachung der Messgenauigkeit der Softwareapplikation wurde automatisiert an Testanschlüssen an verschiedenen Standorten der Messplattform die Datenübertragungsrate mit der Softwareapplikation gemessen[13].

An diesen Anschlüssen konnten die Messergebnisse der Messung der regulären Datenübertragungsraten der Messplattform mit den hier durch die Softwareapplikation ermittelten Messwerten für verschiedene Anbieter und vermarktete Datenübertragungsraten verglichen werden.

Im Studienzeitraum zeigten sich keine offenkundigen Abweichungen. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen werden unter 4.3 dargestellt.

Während der Durchführung der Studie wurden noch keine Glasfaser-Anschlüsse an den Standorten der deutschlandweiten Messplattform angeschaltet und somit konnten für diese Technologie keine Kontrollmessungen zur Überprüfung der Messqualität der Softwareapplikation erfolgen. Aus diesem Grund sind Messungen von Glasfaser-Anschlüssen nicht in die Auswertung eingeflossen.

[13] Aufbau und Struktur der Messplattform ist ausführlich dargestellt unter 2.1.2.1.

2.1.3.3 Statistische Aspekte der Studie

2.1.3.3.1 Struktur der Stichprobe

Wie sieht eine optimale Stichprobe aus?

Die Studie soll Aussagen über die Grundgesamtheit der ca. 28 Millionen Privathaushalte mit Breitbandanschlüssen in Deutschland zulassen. Hierzu soll eine Stichprobe ausgewählt werden, mit der valide Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit gemacht werden können, die also die Grundgesamtheit möglichst gut repräsentiert.

Im Sinne der Statistik repräsentativ ist eine einfache Zufallsstichprobe, bei der jedes Mitglied der Grundgesamtheit, d.h. jeder Besitzer eines Breitbandanschlusses, mit derselben Wahrscheinlichkeit als Teilnehmer in die Stichprobe aufgenommen wird.

Da die Marktanteile der Anbieter sehr unterschiedlich sind und möglichst auch für kleinere Anbieter valide Schätzungen der mittleren tatsächlichen Bandbreite in der Grundgesamtheit gemacht werden sollen, ist die einfache Zufallsauswahl nicht optimal. Auf einen Anbieter mit 0,8% Marktanteil würden bei einer Zufallsstichprobe vom Umfang 2000 durchschnittlich nur etwa 16 Teilnehmer entfallen, während ein großer Anbieter mit 45% Marktanteil dann mit ca. 900 Teilnehmern in der Studie vertreten wäre. Geht man davon aus, dass die Varianz der Messwerte unabhängig vom Marktanteil des Anbieters ist, ließe sich der Mittelwert für den großen Anbieter um ein Vielfaches genauer schätzen als der des kleinen Anbieters.

Bei gezielter Stichprobenziehung wäre deswegen ein stratifiziertes Stichprobenverfahren zu bevorzugen, bei dem kleinere Anbieter stärker repräsentiert werden als größere. Bei der Berechnung eines Gesamtmittelwertes über alle Anbieter wird die Stratifizierung durch eine Gewichtung berücksichtigt.

Sowohl die einfache Zufallsstichprobe als auch die stratifizierte Stichprobe erlauben die erwartungstreue Schätzung der Mittelwerte in der Grundgesamtheit. Erwartungstreu bedeutet, dass bei wiederholter Stichprobenziehung im Mittel die Mittelwerte in der Stichprobe genau denen in der Grundgesamtheit entsprechen.

Warum ist eine optimale Stichprobe für diese Studie nicht möglich?

Wie oben beschrieben, ist eine Zufallsstichprobe dadurch gekennzeichnet, dass jedes Mitglied der Grundgesamtheit mit derselben Wahrscheinlichkeit als Teilnehmer in die Stichprobe aufgenommen wird.

Für diese Studie könnte eine Zufallsstichprobe z. B. realisiert werden, indem N Teilnehmer zufällig aus einer Liste aller Privathaushalte mit Breitbandanschlüssen ausgewählt würden. Eine solche Liste setzt voraus, dass alle Internetzugangsanbieter die Daten über ihre Kunden zur Verfügung stellen. Diese Vorgehensweise ist unseres Erachtens nicht umsetzbar.

Die Alternative, den Internetzugangsanbietern die zufällige Auswahl der Stichprobe aus ihren Datenbeständen zu überlassen, scheidet aus Neutralitätsgründen ebenso aus, da dann das Selektionsverfahren nicht überprüfbar wäre und die Gefahr einer Beeinflussung bestünde.

Selbst wenn es möglich wäre, eine Zufallsauswahl aus allen Haushalten mit Breitbandanschlüssen zu treffen, würde eine Verzerrung dadurch entstehen, dass nicht alle ausgewählten Haushalte zur Teilnahme bereit wären.

Im folgenden Abschnitt werden deswegen alternative Möglichkeiten zur Stichprobenauswahl näher erläutert.

Welche alternativen Möglichkeiten zur Stichprobenauswahl für diese Studie bieten sich an?

Offene Endkundenmessung

Durch Werbeaufrufe sollen möglichst viele der ca. 28 Millionen Privathaushalte mit Breitbandanschlüssen in Deutschland dazu bewogen werden, eine Messung mit der Softwareapplikation durchzuführen. Die Teilnahme an der Studie erfolgt auf freiwilliger Basis. Ob ein Mitglied der Grundgesamtheit teilnimmt, hängt also zum einen davon ab, ob es von den Werbemaßnahmen erreicht wird und zum anderen, ob es motiviert ist, sich einige Minuten Zeit zu nehmen und mitzumachen. Durch möglichst breit gestreute Teilnahmeaufrufe in unterschiedlichen Medien kann erreicht werden, dass ein großer Teil der Grundgesamtheit von der Studie Kenntnis bekommt. Jedoch ist nicht auszuschließen, dass nicht alle Internetnutzer, die den Teilnahmeaufruf sehen, gleichermaßen motiviert zur Teilnahme sind. Es ist möglich, dass Kunden, die unzufrieden mit der Qualität ihrer

Internetverbindung sind, tendenziell ein größeres Interesse haben, die tatsächliche Bandbreite zu messen als solche, die im Großen und Ganzen zufrieden sind. Die Stichprobenauswahl bei der freiwilligen Teilnahme ist also einer Selbstselektion unterworfen und es handelt sich damit nicht um eine Zufallsstichprobe.

Panel-Verfahren

Bei mehreren teilweise noch laufenden Studien zu ähnlichen Fragestellungen in Großbritannien, den USA und der EU wurde eine Panel-Lösung gewählt. Dort wurden die Messungen durch an Endkunden ausgegebene Hardware-Boxen durchgeführt. Die Messung selbst erfolgt dabei automatisiert ohne Endkunden-Interaktion. Hierfür wurden durch Werbeaufrufe Internetnutzer aufgefordert, sich zur Teilnahme zu bewerben. Aus der Gesamtheit der Bewerber wurde dann ein Panel so ausgewählt, dass die Marktanteile im Panel möglichst genau den Anteilen in der Grundgesamtheit entsprechen. Es ist offensichtlich, dass dieser Ansatz in gleichem Maße der Selbstselektion unterliegt wie die im vorigen Abschnitt skizzierte Lösung, bei der alle Bewerber automatisch an der Studie teilnehmen, statt einen Bewerbungs- und Auswahlprozess zwischenzuschalten.

Auch bei einem aus freiwilligen Bewerbern ausgewählten Panel handelt es sich in keinem Fall um eine Zufallsstichprobe, da schon beim Bewerbungsprozess die Erreichbarkeit der Internetnutzer durch die Werbung und deren Motivation eine wesentliche Rolle spielt. Es werden sich hier nur diejenigen Internetnutzer bewerben, die Kenntnis von der Studie erlangen und die gleichzeitig ein Interesse an der Teilnahme haben. Nur diese Untergruppe der Grundgesamtheit steht überhaupt für die Auswahl des Panels zur Verfügung. Auch ein wie beschrieben ausgewähltes Panel kann also nicht repräsentativ für die ganze Grundgesamtheit sein.

Auswirkungen der Verzerrung

Inwieweit die oben beschriebene Verzerrung bei der Stichprobenauswahl die Aussagekraft der Studie beeinflusst, hängt von der Art der Aussagen ab, die gemacht werden sollen.

Es ist wahrscheinlich, dass die Verzerrung alle Anbieter, Produkte, Regionen und Technologien gleichermaßen betreffen wird. Insbesondere ist nicht zu erwarten, dass von Anbieter A nur sehr unzufriedene, von Anbieter B hingegen nur die besonders zufriedenen Kunden teilnehmen

werden. Unter der Voraussetzung, dass die Teilnahmemotivation unabhängig von den Faktoren ist, die das eigentliche Ziel der Untersuchung darstellen (Anbieter, Produkt, Region, Technologie), können trotz der Verzerrung der Stichprobe valide Aussagen über die Unterschiede z. B. zwischen Anbietern, Regionen und Technologien gemacht werden.

Gewählte Vorgehensweise

Von der genannten Stichprobenauswahl bot eine offene Endkundenmessung, bei der jeder Endkunde einen Messwert generieren kann, die besseren Bedingungen als ein dauerhaftes, fest zusammengesetztes Studienpanel. In einem solchen Panel erzeugt zwar jeder Teilnehmer eine Vielzahl von Messwerten, diese können jedoch nicht als echte Wiederholungen angesehen werden, da sie ein und dieselbe Internetverbindung zeitlich versetzt immer wieder messen. Vor diesem Hintergrund müssten die Messwerte pro Box gemittelt werden, so dass bei bspw. 2000 Teilnehmern nur 2000 (gemittelte) Messwerte zur Verfügung stehen. Da zusätzlich davon ausgegangen werden kann, dass die Variabilität innerhalb eines Anschlusses viel geringer ist als die Varianz zwischen mehreren Anschlüssen, wurde im Ergebnis der offenen Endkundenmessung der Vorzug gegenüber einem Messpanel gegeben.

In der Studie 2013 wurden 375.412 Endkundenmessungen durchgeführt, von denen 153.216 valide Einzelmessungen in die Auswertung eingingen. In der Studie 2012 betrugen diese Zahlen 547.978 bzw. 226.543 Messungen, wobei der Teilnahmeaufruf für die Studie 2013 (24.07.2013) ca. 6 Wochen später erfolgte als 2012 (14.06.2012).

Somit sind auch Schätzungen für kleinere Untergruppen möglich, die bei einer Panel-Studie wegen des geringen Stichprobenumfangs zu ungenau gewesen wären.

Um eine möglichst große Stichprobe zu erhalten, hat die Bundesnetzagentur Pressemitteilungen veröffentlicht, um breit gestreut und in unterschiedlichen Medien die Endkunden zur Messung aufzurufen.

Dadurch sollte sichergestellt werden, dass ein möglichst großer Anteil der Grundgesamtheit erreicht und zur Teilnahme motiviert wird. Insbesondere sollte erreicht werden, dass nicht nur besonders internet-affine Breitbandkunden an der Studie teilnehmen.

2.1.3.3.2 Statistisches Monitoring

Im Rahmen der Studie wurde durchgängig kontrolliert, ob die Messungen die Grundgesamtheit der Privathaushalte mit Breitbandanschlüssen in Deutschland mit Blick auf Anbieter, Bandbreiteklassen, Technologien und räumliche Verteilung zutreffend abbilden. Dabei wurden die folgenden Verteilungsparameter zugrunde gelegt:

Anbieter

Die Studie hat die Datenübertragungsrate auf Basis von stationären Breitbandanschlüssen unterschiedlicher Anbieter untersucht. Für das statistische Monitoring wurden die Marktanteile der zehn größten Anbieter mit der Stichprobe abgeglichen. Dies umfasst überregionale, regionale und lokale Anbieter, um die am Markt vertretenen Anbieter repräsentativ abbilden zu können. (vgl. Tabelle 3) Im Ergebnisteil werden diese zehn Anbieter nicht namentlich genannt, sondern als Anbieter A, B, …, J dargestellt. Damit werden 96,5% des Marktes abgedeckt. Die restlichen Anbieter werden unter der Kategorie „übrige" zusammengefasst.

Tabelle 3: Untersuchte Anbieter stationärer Breitbandanschlüsse
(Quelle: VATM TK-Marktanalyse Q3/2013)

Stationäre Breitbandanschlüsse	
Anbieter	**Marktanteil**
Telekom	43,8%
Vodafone	10,6%
United Internet	12,0%
Telefónica	8,1%
Unitymedia KabelBW	8,5%
Kabel Deutschland	7,1%
EWE	2,5%
Versatel	1,8%
NetCologne	1,4%
M-net	0,7%
übrige	3,5%

Anschlusstechnologien

Die Messungen wurden mit der bundesweiten Verteilung unterschiedlicher Anschlusstechnologien abgeglichen.

Bandbreiteklassen

Für die Zwecke des statistischen Monitorings werden die Datenübertragungsraten in die folgenden Bandbreiteklassen zusammengefasst[14]:

- Größer gleich 0,144 Mbit/s bis kleiner gleich 2 Mbit/s
- Größer 2 Mbit/s bis kleiner 10 Mbit/s
- Größer gleich 10 Mbit/s bis kleiner 30 Mbit/s
- Größer gleich 30 Mbit/s bis kleiner 100 Mbit/s
- Größer gleich 100 Mbit/s

Regionen

Im Rahmen der Studie wurde zudem untersucht, wie sich die ermittelten Datenübertragungsraten auf städtische, halbstädtische und ländliche Regionen verteilen (vgl. Abbildung 2.4). Auf der Basis des Gemeindeverzeichnisses[15] sowie der Postleitzahlendatenbank der Deutschen Post AG[16]wurde die Bevölkerungsdichte je Postleitzahl ermittelt[17]. In einem zweiten Schritt wurden die Postleitzahlen dann entsprechend ihrer Bevölkerungsdichte als städtisch, halbstädtisch oder ländlich eingeteilt.

[14] Referenzverteilung gemäß Bandbreiteclusterung der Europäischen Kommission COCOM mit Stand von Ende 2011. Die Änderung der unteren beiden Klassen ab 2012 wurde in dieser Studie nicht angewandt.
[15] Quelle: Statistisches Bundesamt: Gemeindeverzeichnis , Gebietsstand: 31.12.2011 (4. Quartal),
Erscheinungsmonat: Januar 2012, Auszug ausgewählter Merkmale aus Gemeindedaten (ergänzt mit Gemeindeverband); Alle politisch selbständigen Gemeinden in Deutschland nach Fläche, Bevölkerung, Bevölkerungsdichte und der Postleitzahl des Verwaltungssitzes der Gemeinde
[16] www.postdirekt.de/plzserver
[17] Postleitzahlen für Postfächer blieben unberücksichtigt, weil diese keinen unmittelbaren geografischen Bezug aufweisen.

Grundlage hierfür waren die vom Statistischen Amt der Europäischen Gemeinschaft (Eurostat) in Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten entwickelten Kriterien[18]:

- Städtisch: Bevölkerungsdichte größer als 500 Einwohner/km^2
- Halbstädtisch: Bevölkerungsdichte 100 bis 500 Einwohner/km^2
- Ländlich: Bevölkerungsdichte weniger als 100 Einwohner/km^2

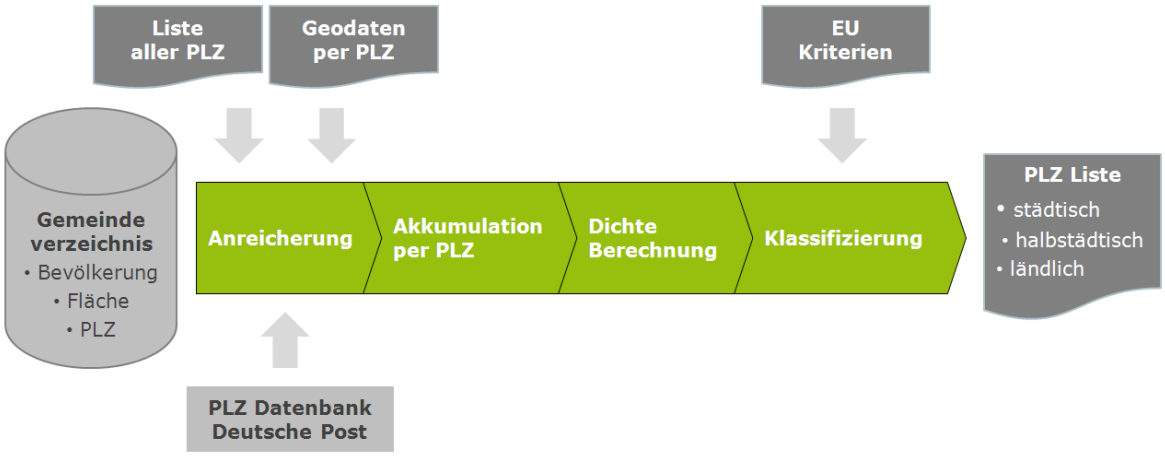

Abbildung 2.4: Geografische Klassifizierung

Da die Messung eine statistisch unabhängige Stichprobe darstellen soll, erfolgt zudem eine Beschränkung auf eine Messung je Anschluss. Deshalb müssen Mehrfachmessungen als solche erkannt werden.

- Im Falle des Einsatzes von „AVM Fritz!Boxen" können Mehrfachmessungen über die Fritzbox-ID identifiziert werden.
- In allen anderen Fällen wird eine Kombination aus IP-Adresse und Postleitzahl herangezogen.

Von identifizierten Mehrfachmessungen wird nur die letzte Messung berücksichtigt. Die Endkunden wurden ferner vor Beginn der Messungen darauf hingewiesen, dass nur eine Messung pro Anschluss benötigt wird.

[18] Quelle: Pressemitteilung Nr.237 vom 30.05.2005 des Statistischen Bundesamtes

2.1.3.3.3 Statistische Auswertung der Daten

Um die gemessenen Datenübertragungsraten für unterschiedliche vermarktete Datenübertragungsraten vergleichen zu können, werden die gemessenen Datenübertragungsraten durch die von den Nutzern angegebenen vermarkteten Datenübertragungsraten der Anschlüsse geteilt und anschließend mit 100 multipliziert. Ausgewertet wird also „die gemessene Datenübertragungsrate in Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate".

Für unterschiedliche Schwellenwerte x werden die Anteile der Nutzer bestimmt, bei denen mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate gemessen wurden.

Zusätzlich werden für diese Anteile 95%-Konfidenzintervalle berechnet. Ein Konfidenzintervall ist ein Intervall, das den tatsächlichen Anteil in der Grundgesamtheit mit Wahrscheinlichkeit 0.95 überdeckt.

Für die Berechnung wird die Approximation nach Wilson verwendet, das Konfidenzintervall wird angegeben als $[p_u, p_o]$ mit

$$p_{o,u} = \frac{1}{1+\frac{c^2}{n}} \cdot \left(\hat{p} + \frac{c^2}{2n} \pm c \cdot \sqrt{\frac{\hat{p} \cdot (1-\hat{p})}{n} + \frac{c^2}{4n^2}} \right).$$

Dabei ist c=1.96 (0.975-Quantil der Standardnormalverteilung[19]).

Die Auswertungen der Daten der Initiative Netzqualität erfolgt mit der Software R 3.0.2.

[19] Agresti, Alan, und Coull, Brent A.: *Approximate is better than 'exact' for interval estimation of binomial proportions*, The American Statistician 52, 119-126 (1998)

2.1.3.4 Ermittlung der Datenübertragungsrate zu verschiedenen Zeiten des Tages

Neben der Datenübertragungsrate wurde auch ermittelt, ob die gemessenen Datenübertragungsraten abhängig vom Tagesverlauf variieren. Diese Messungen erfolgten allerdings nicht durch Endkundenmessungen. Stattdessen wurden Datenübertragungsraten zu verschiedenen Zeiten des Tages an den stationären Testanschlüssen der bundesweiten Messplattform ermittelt.

Die Ursachen für tageszeitliche Schwankungen der Datenübertragungsrate bei stationären Breitbandanschlüssen dürften primär im Bereich der Netze und nicht im Bereich des einzelnen Anschlusses liegen. Vor diesem Hintergrund erschien es nicht notwendig, die zeitliche Verteilung an jedem Endkundenanschluss zu erfassen.

Messverfahren

Die Datenübertragungsrate zu verschiedenen Zeiten des Tages wurde durch die Messung der Datenübertragungsraten im Up- und Download ermittelt. Messungen erfolgten entsprechend dem unter 2.1.1 beschriebenen Verfahren an sieben Tagen pro Woche und an 23 Stunden täglich über einen Messzeitraum von 6 Monaten, um tages- und tageszeitspezifische Schwankungen in der verfügbaren Datenübertragungsrate zu erfassen.

Zeitraum

Die Messungen erfolgten vom 01.07.2013 bis 31.12.2013.

2.2 Laufzeitenmessung (Messplattform)

Die Laufzeitenmessungen wurden an den stationären Testanschlüssen der bundesweiten Messplattform durchgeführt (vgl. 2.1.2.1).

Das Prinzip der Laufzeitmessung basiert auf der Versendung einer sogenannten „PING"-Anfrage an ein Daten-Referenz-System. Diese Anfrage wird von den auf der Übertragungsstrecke beteiligten Netzknoten weitergeleitet und vom angesprochenen System in umgekehrter Richtung beantwortet. Die Laufzeit entspricht der Zeit, die vom Absenden der Anfrage bis zum Erhalt der Antwort vergangenen ist.

Eine Laufzeitmessung der Messplattform besteht aus 30 hintereinander im Abstand von jeweils einer Sekunde ausgeführten „PING"-Messungen[20] von einer Messeinheit zu den Daten-Referenz-Systemen.

Der Messwert *Laufzeit* ist hier als die Zeit definiert, die vom Absenden der „PING"-Anfrage (ICMP-Echo-Request) bis zum Eintreffen der entsprechenden Antwort (ICMP-Echo-Reply) vergeht.

Mit dem Wert *Laufzeit-Mittelwert* wird die mittlere Antwortzeit aller Laufzeiten einer Laufzeitmessung in Millisekunden dargestellt.

[20] ICMP-Echo-Requests mit einer Paketgröße von 32 bytes

2.3 Qualität einer Standardanwendung – Web Browsing (Messplattform)

Welche Qualität Web Browsing als eine Standardanwendung hat, wurde ebenfalls an den stationären und den mobilen Testanschlüssen der bundesweiten Messplattform ermittelt (vgl.2.1.2.1).

Um ein typisches Nutzerverhalten nachzubilden, wurden die ersten 10 der laut Alexa Top Site Listing[21] der im Juli 2013 am häufigsten besuchten Webseiten aufgerufen (siehe Tabelle 4). Die Zusammensetzung der Liste wurde im Messzeitraum konstant gehalten.

Tabelle 4: Alexa Top 10 Webseiten (Stand Juli 2013)

Alexa Top 10 Webseiten in Deutschland // Juli 2013	
Platz	**Webseite**
1.	http://www.google.de
2.	http://www.facebook.com
3.	http://www.youtube.com
4.	http://www.amazon.de
5.	http://www.ebay.de
6.	http://www.google.com
7.	http://www.wikipedia.org
8.	http://www.web.de
9.	http://www.gmx.net
10.	http://www.yahoo.com

Im Rahmen des Nutzungsszenarios Web Browsing wird die Zeit ermittelt, die für das vollständige Laden einer Webseite benötigt wird. Der Endnutzer nimmt diesen Vorgang als ein einzelnes Ereignis wahr, technisch können aber unterschiedliche Zeitabschnitte gemessen werden (DNS-Antwortzeit, HTTP-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit). Diese Qualitätsparameter wurden einzeln wie nachfolgend dargestellt erfasst.

[21] Siehe www.alexa.com/topsites/countries/DE

DNS-Antwortzeit

Mit diesem Messwert wird die Auflösungszeit von Hostnamen in IP-Adressen in Millisekunden gemessen.

Als *DNS-Antwortzeit* ist hier die Zeit definiert, die vom Absenden eines DNS-Requests (DNS query) zum Endgerät bis zum Eintreffen der aufgelösten IP-Adresse (DNS query response) vergeht.

HTTP-Antwortzeit

Dieser Wert bezeichnet die Antwortzeit einer HTTP-Initialisierung zu den Webseiten der *Alexa Top 10* in Millisekunden.

HTTP-Antwortzeit ist hier als die Zeit definiert, die vom Absenden des initialen HTTP-Requests (GET HTTP) bis zum Eintreffen des ersten TCP-Packets der HTTP-Response vergeht.

Webseiten-Downloadzeit

Mit diesem Messwert wird die zum vollständigen Download der Alexa Top 10-Webseiten erforderliche Zeit in Sekunden angegeben.

Die Webseiten-Downloadzeit wird hier als die Zeit definiert, die vom Absenden des initialen HTTP-Requests (GET HTTP) bis zum Eintreffen der letzten HTTP-Response (HTTP 200 OK) vergeht.

Zur Erfassung von DNS-Antwortzeit, HTTP-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit wurde eine „WebKit-Browser-Engine" genutzt, die JavaScript und Web 2.0-Seiten unterstützt. Damit erlaubt sie eine genaue Beobachtung und Protokollierung der Vorgänge beim Aufruf und Laden von Webseiten. Die einzelnen Zeiten bei einem vollständigen Webseiten-Download können somit genau bestimmt werden.

3 Darstellung der Messergebnisse

3.1 Darstellungsparameter

Die ausgewerteten Datensätze werden im Ergebnisteil anhand der folgenden Parameter dargestellt werden:

Anbieter

Die Studie hat die Datenübertragungsrate auf Basis von stationären Breitbandanschlüssen unterschiedlicher Anbieter untersucht. Dabei sind Datensätze zu den zehn größten Anbietern und der Gruppe der übrigen eingegangen

Für die zehn Anbieter mit den größten Marktanteilen (vgl. Tabelle 1) liegen jeweils zwischen 1.204 und 69.667 validierte Messungen vor. Die Anbieter werden nicht namentlich genannt, sondern als Anbieter A, B, …, J dargestellt. Kleinere Anbieter werden unter „übrige" zusammengefasst.

Technologien

Die stationären Breitbandanschlüsse werden entsprechend der folgenden Technologien dargestellt:

- DSL
- Kabel
- LTE stationär

Bandbreiteklassen

Die Datenübertragungsraten werden in die folgenden Bandbreiteklassen zusammengefasst[22] :

[22] Im Gegensatz zu den Bandbreiteklassen, die dem statistischen Monitoring zugrunde liegen, wurden die Bandbreiteklassen für die Auswertung der Messwerte auf Grundlage der sich typischerweise einstellenden Datenübertragungsraten je nach verwendeter Übertragungstechnologie (z. B. xDSL, Kabel) als auch der marktüblichen Produkte gebildet.
Auf diese Weise konnten sinnvolle Vergleichsgruppen gebildet werden und auch technologietypische Effekte bei den Datenübertragungsraten dargestellt werden.

- Größer gleich 0,384 Mbit/s bis kleiner gleich 2 Mbit/s
- Größer 2 Mbit/s bis kleiner gleich 8 Mbit/s
- Größer 8 Mbit/s bis kleiner gleich 18 Mbit/s
- Größer 18 Mbit/s bis kleiner gleich 25 Mbit/s
- Größer 25 Mbit/s bis kleiner gleich 50 Mbit/s
- Größer 50 Mbit/s bis kleiner 100 Mbit/s

Anschlüsse größer gleich 100 Mbit/s wurden nicht in die Auswertung einbezogen.
Die Gründe dafür sind zu Beginn von Kapitel 5 erläutert.

Regionen

Außerdem werden die Datenübertragungsraten unterschiedlicher Regionen dargestellt. Dabei werden für die Abgrenzung städtischer, halbstädtischer und ländlicher Gebiete die bereits im Rahmen des statistischen Monitorings verwendeten Kriterien zugrunde gelegt (siehe 2.1.3.3.2).

3.2 Grafische Darstellung der Messergebnisse

Die verfügbare Datenübertragungsrate wird im Ergebnisteil im Verhältnis zur vermarkteten Datenübertragungsrate in Prozent dargestellt.

In den Tabellen und Grafiken erfolgt die Darstellung der Schätzwerte in einer bestimmten Untergruppe nur dann, wenn in dieser Untergruppe genügend Messwerte vorliegen, die eine hinreichend genaue statistische Schätzung erlauben. Als Kriterium für die Genauigkeit wird die Breite des zu einem geschätzten Anteil gehörigen Konfidenzintervalls herangezogen. Dargestellt werden nur Untergruppen mit einer maximalen Breite der Konfidenzintervalle von 10 Prozentpunkten.

Die Konfidenzintervalle werden in den abgebildeten Tabellen in eckigen Klammern aufgelistet.

Für die grafische Darstellung der Messergebnisse werden empirische Verteilungsfunktionen und Boxplots verwendet.

Empirische Verteilungsfunktionen

Durchschnittswerte geben nicht immer ein zutreffendes Bild darüber, wie sich die Stichprobe mit Blick auf den Untersuchungsparameter verhält. Der Durchschnittswert 60% kann erreicht werden, wenn alle Nutzer genau 60% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten. Aber auch eine Stichprobe, in der die eine Hälfte der Nutzer 80% und die andere Hälfte der Nutzer 40% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhält, hätte eine durchschnittliche prozentual erreichte Datenübertragungsrate von 60%. Deshalb können Verteilungsfunktionen einen besseren Überblick über die Struktur der Messwerte vermitteln.

Abbildung 3.1 stellt anhand beispielhaft simulierter Datenübertragungsraten zwei Untergruppen dar. Die gemessenen prozentual erreichten Datenübertragungsraten liegen zwischen 0 und 120% (x-Achse). Zu jeder prozentual erreichten Datenübertragungsrate x kann abgelesen werden, wie viele Nutzer mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate gemessen haben. Die blaue Kurve ist ein Beispiel für ein nahezu optimales Verhältnis zwischen vermarkteter und realisierter Datenübertragungsrate In dieser Gruppe erhalten 97,6% der Nutzer mindestens 90% der vermarkteten Datenübertragungsrate, in der roten Gruppe trifft dies auf ca. 20% der Nutzer zu.

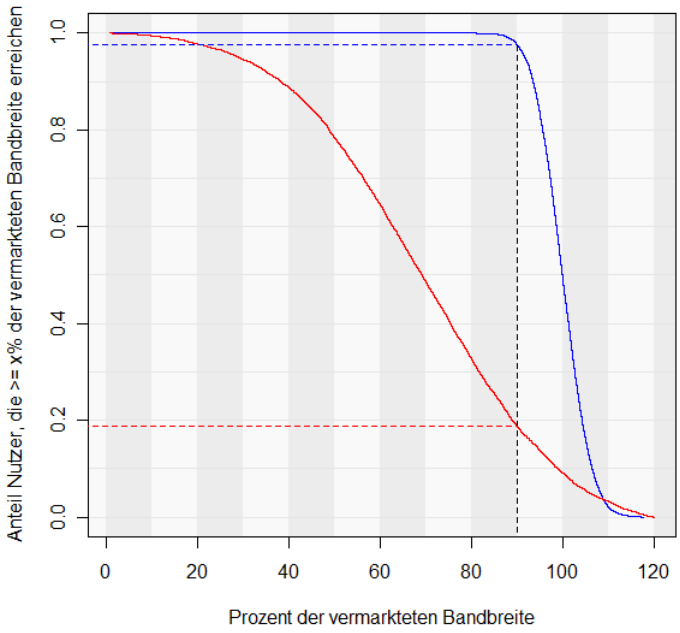

Abbildung 3.1: Beispiel für zwei empirische Verteilungsfunktionen

Boxplots

In der Auswertung erfolgt teilweise eine Differenzierung der Messwerte gleichzeitig nach mehreren Parametern, z. B. nach Region und Technologie. Um Abhängigkeiten der Verteilung von mehreren Parametern übersichtlich darzustellen, kommen Boxplots zum Einsatz. Ein Boxplot soll schnell einen Eindruck darüber vermitteln, in welchem Wertebereich die Daten liegen und wie sie sich über diesen Bereich verteilen.

Ein Boxplot besteht immer aus einem Rechteck, genannt Box, und zwei Linien, die dieses Rechteck verlängern. Diese Linien werden als „Antennen" oder "Whisker" bezeichnet und werden durch einen Strich abgeschlossen. Die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen und gibt somit einen Eindruck von der Streuung der Daten.

Die waagerechte Linie in der Box stellt den Median der Verteilung dar. Diese Linie teilt das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50% der Daten liegen. Durch seine Lage innerhalb der Box bekommt man also einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung. Ein Median von 80% der vermarkteten Bandbreite heißt z. B.,

dass die Hälfte aller Kunden weniger als 80% der vermarkteten Bandbreite erhalten haben, die andere Hälfte mehr als 80%. 25% aller Werte sind kleiner als die untere Boxbegrenzung und 25% sind größer als das obere Ende der Box.

Die Länge der *Whisker* ist durch das 1.5fache der Boxlänge begrenzt, die Whiskers reichen jedoch maximal bis zum kleinsten bzw. größten Wert. Messwerte, die weiter als das 1.5fache der Boxlänge vom unteren bzw. oberen Quartil entfernt sind, werden als Ausreißer einzeln dargestellt.

Die Abbildung 4.2 zeigt als Beispiel einen Boxplot für ein rechtsschief verteiltes Merkmal sowie das dazugehörige Histogramm.

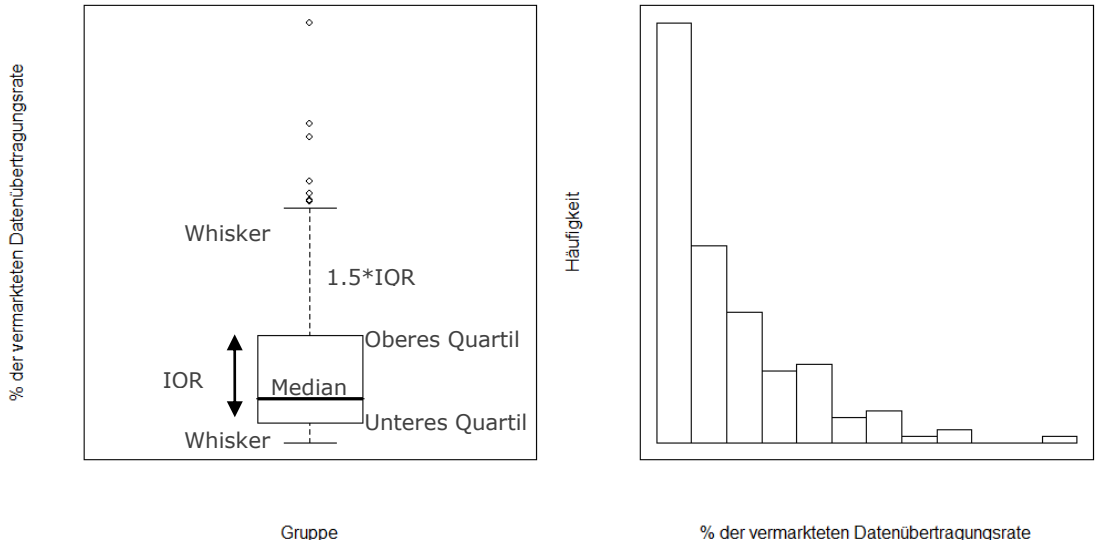

Abbildung 3.2: Beispiel für einen Boxplot und das zugehörige Histogramm

3.3 Vergleich Studie 2012 und 2013

Im Ergebnisteil werden die Ergebnisse der im Jahr 2013 durchgeführten Studie mit denen der im Jahr 2012 durchgeführten Studie verglichen.

Die Darstellung erfolgt grafisch in Form von Boxplots und empirischen Verteilungsfunktionen, in denen die jeweiligen Ergebnisse der Studie 2012 in hellerem Farbton dargestellt sind.

Abbildung 3.3 zeigt ein Beispiel für den Vergleich mittels eines Boxplots. Darin sind die Ergebnisse der Studie 2013 in grün und die Ergebnisse der Studie 2012 in hellgrün dargestellt. Dasselbe Prinzip findet sich in dem in Abbildung 3.4 gezeigten Vergleich von empirischen Verteilungsfunktionen wieder.

Aus Übersichtlichkeitsgründen wird auf eine Gegenüberstellung in Tabellenform verzichtet. Tabellen mit den Ergebnissen der Studie 2012 befinden sich im Abschlussbericht der Studie 2012.

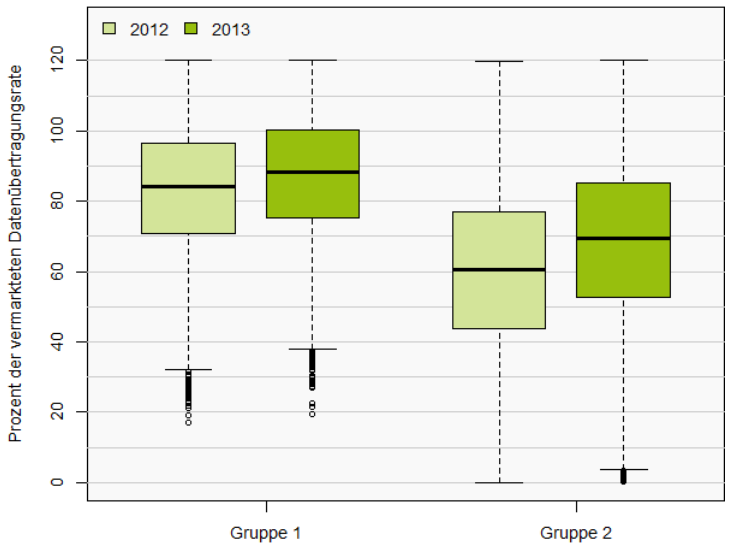

Abbildung 3.3: Beispiel für einen Boxplot mit Vergleichsdarstellung

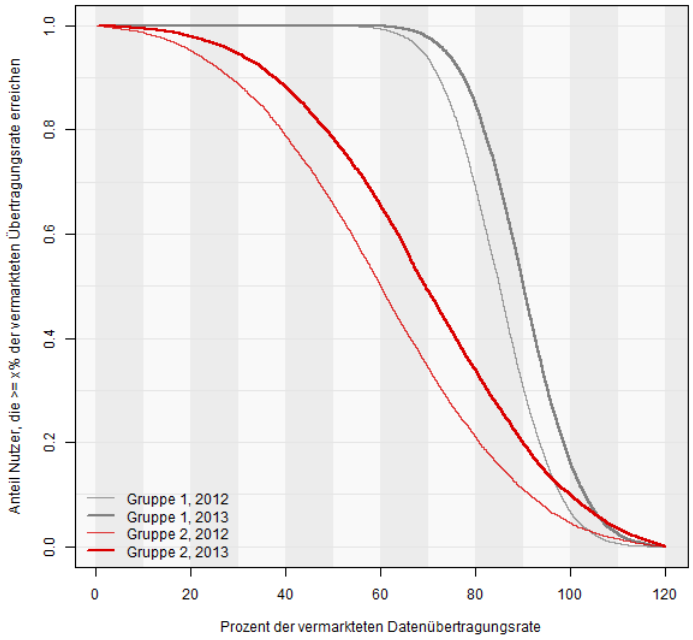

Abbildung 3.4: Beispiel für empirische Verteilungsfunktionen mit Vergleichsdarstellung

Ergebnisse

4 Datengrundlage

4.1 Endkundenmessungen (Initiative Netzqualität)

4.1.1 Struktur der Stichprobe

Bei der vorliegenden Stichprobe handelt es sich nicht um eine Zufallsstichprobe, sondern es konnten alle Kunden teilnehmen, die durch die Teilnahmeaufrufe Kenntnis von der Studie erlangt haben und gleichzeitig motiviert waren, die Messung bei sich durchzuführen.

Die Struktur der Stichprobe wurde mehrfach während des Studienverlaufs anhand der erhobenen Parameter überprüft und mit der jeweiligen Verteilung in der Grundgesamtheit abgeglichen. Im Einzelnen sind dies:

- Anbieter
- Bundesland
- Geografische Bereiche (städtisch, halbstädtisch, ländlich)
- Technologie
- Bandbreiteklassen

Es ist eine Annäherung an die Bevölkerungsverteilung gelungen. Es liegen die nachfolgend beschriebenen Ergebnisse aus dem statistischen Monitoring vor.

Dargestellt und ausgewertet werden nur die Messergebnisse derjenigen Teilnehmer, die nach der technischen Validierung in der Stichprobe verbleiben und die einen Anschluss der Technologien DSL, Kabel oder LTE stationär mit einer Datenübertragungsrate < 100 Mbit/s angegeben haben.

Anbieter

In Abbildung 5.1 werden die prozentualen Anteile der Anbieter in der Stichprobe mit den Marktanteilen der Anbieter laut VATM TK-Marktanalyse Q3/2013 verglichen. Diese Marktanteile dienen als Referenzverteilung. Da sich die Marktanteile nur auf stationäre Breitbandanschlüsse beziehen, werden nur solche Studienteilnehmer berücksichtigt, die einen stationären DSL-, Kabel- oder LTE-Anschluss als Technologie angegeben haben.

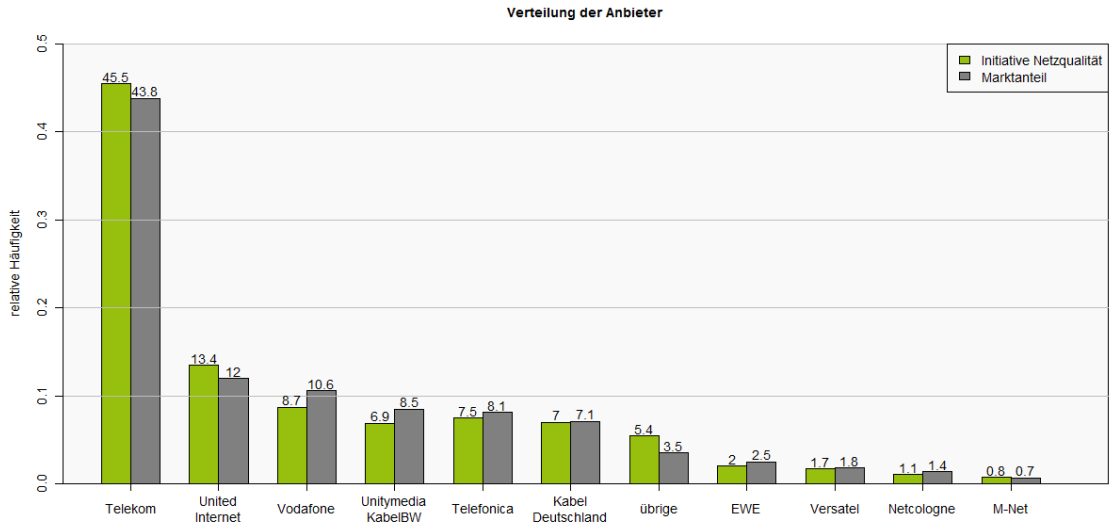

Abbildung 4.1: Verteilung der Anbieter in der Stichprobe der Initiative Netzqualität im Vergleich zu den Marktanteilen nach VATM TK Marktanalyse Q3/2013

Insgesamt zeigt sich eine sehr gleichmäßige Verteilung der Testmessung auf die Referenzverteilung der Marktanteile der hierfür betrachteten Anbieter.

Bundesländer

Abbildung 4.2 gibt die Verteilung der Studienteilnehmer auf die Bundesländer im Vergleich zur Verteilung der Breitbandanschlüsse wieder. Zur Ermittlung der Verteilung der Breitbandanschlüsse auf die Bundesländer wurde die Bevölkerungsverteilung laut Gemeindeverzeichnis des statistischen Bundesamtes[23] mit dem bundeslandspezifischen Breitbandindex laut (N)onliner Atlas[24] multipliziert.

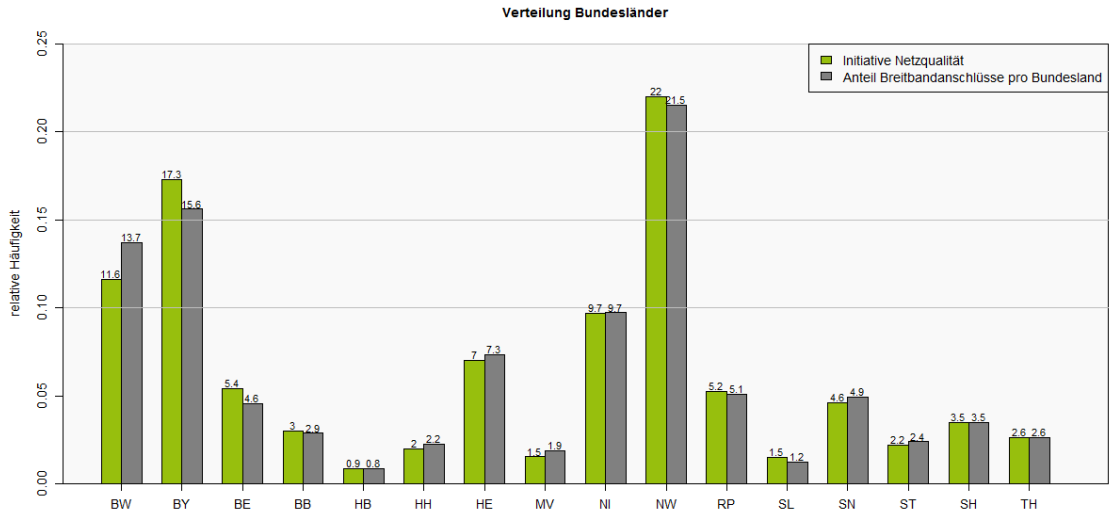

Abbildung 4.2: Verteilung der Studienteilnehmer auf die Bundesländer im Vergleich zur Verteilung der Breitbandanschlüsse[25]

Die Messungen spiegeln auch die regionale Verteilung der Breitbandanschlüsse auf die Bundesländer sehr gut wider. Insbesondere Breitbandanschlüsse in Baden Württemberg sind leicht unterrepräsentiert, während für Bayern ein größerer Stichprobenanteil vorliegt, als nach der Verteilung der Breitbandanschlüsse zu erwarten wäre.

[23] Statistisches Bundesamt, „Gemeindeverzeichnis , Gebietsstand: 31.12.2011 (4. Quartal)", Januar 2012
[24] Initiative D21, „D21 - Digital - Index - (N)onliner Atlas 2013" S. 24 Breitbandnutzung nach Bundesländern, April 2013
[25] BW: Baden Württemberg; BY: Bayern; BE: Berlin; BB: Brandenburg; HB: Bremen; HH: Hamburg; HE: Hessen; MV: Mecklenburg Vorpommern; NI: Niedersachsen; NW: Nordrhein Westphalen; RP: Rheinland Pfalz; SL: Saarland; SN: Sachsen; ST: Sachsen Anhalt; SH: Schleswig Holstein; TH: Thüringen

Geografische Bereiche

Anhand der angegebenen Postleitzahlen wurden die Anschlüsse der Teilnehmer in ländliche, halbstädtische und städtische Anschlüsse klassifiziert und mit der Bevölkerungsverteilung auf diese Regionen verglichen (Abbildung 4.3).

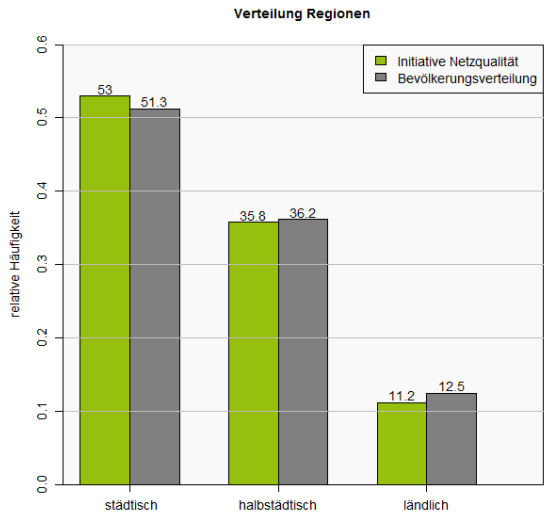

Abbildung 4.3: Verteilung der Studienteilnehmer nach Regionen im Vergleich zur Bevölkerungsstatistik

Auch hier zeigt sich eine insgesamt gute Verteilung der Messergebnisse im Vergleich zur Referenzverteilung.

Zwar sind Teilnehmer aus dem ländlichen und halbstädtischen Bereich im Vergleich zur Bevölkerungsstatistik geringfügig unterrepräsentiert. Es muss aber berücksichtigt werden, dass als Referenzverteilung die Bevölkerungsverteilung in Deutschland gewählt wurde, da die exakte regionale Verteilung aller Breitbandanschlüsse nicht bekannt ist. Dabei ist grundsätzlich denkbar, dass insbesondere der Anteil der Breitbandanschlüsse pro Einwohner im ländlichen Bereich geringer ist als in Städten. In diesem Fall würden die Abweichungen wahrscheinlich noch geringer ausfallen.

Technologie

Nach Angaben der Bundesnetzagentur verteilen sich die Breitbandanschlüsse in Deutschland zu 82,1% auf DSL, zu 17,0% auf Kabelanschlüsse und zu 0,9% auf stationäre LTE-Anschlüsse. (vgl. Abbildung 4.4.). Gegenüber der Referenzverteilung liegt eine vergleichsweise etwas höhere Anzahl von Messungen stationärer LTE-Anschlüsse vor.

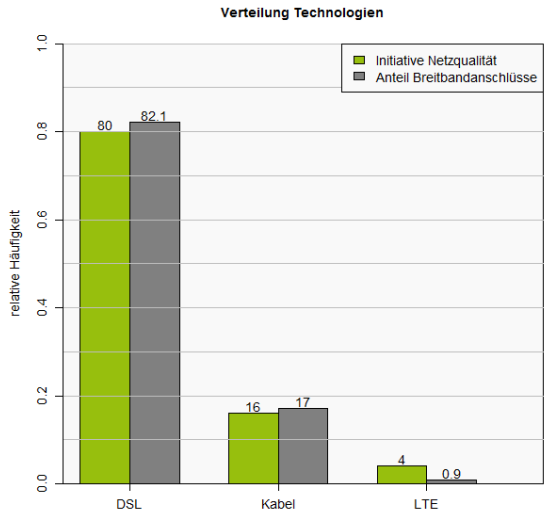

Abbildung 4.4: Vergleich der von den Studienteilnehmern angegebenen Technologien mit der Verteilung der Breitbandanschlüsse (Tätigkeitsbericht der Bundesnetzagentur 2Q/2013)

Bandbreiteklassen

In Abbildung 4.5 wird die Verteilung der Anschlüsse der Studienteilnehmer auf Bandbreiteklassen dargestellt. Als Referenzverteilung wurde die Verteilung aller Breitbandanschlüsse in Deutschland gewählt[26]. Die hier dargestellten Bandbreiteklassen dienen ausschließlich dem Vergleich mit der Grundgesamtheit, während bei der eigentlichen Datenauswertung in den nachfolgenden Abschnitten andere, technisch begründete Klassen (siehe 3.1) gewählt werden.

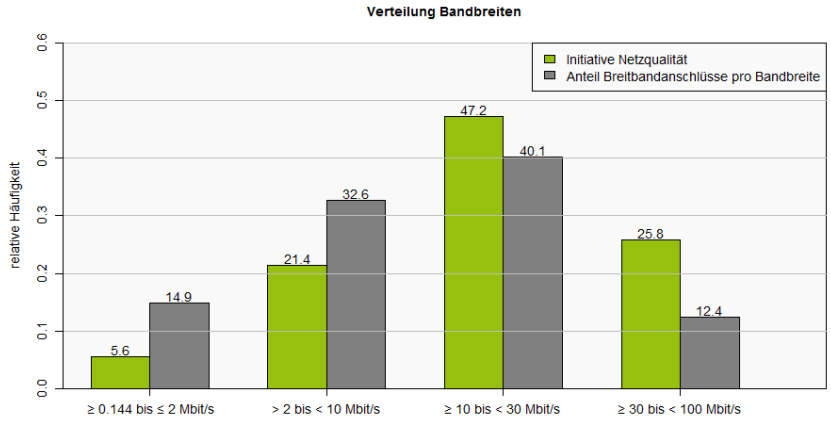

Abbildung 4.5: Verteilung der Anschlüsse der Studienteilnehmer nach Bandbreiteklassen und Referenzverteilung mit Stand 2Q/2013 (Quelle: Bundesnetzagentur)

Es ist auffällig, dass die unteren beiden Bandbreiteklassen unterrepräsentiert sind, die oberen hingegen stärker in der Stichprobe vertreten sind, als bei einer Zufallsstichprobe zu erwarten wäre. Kunden, die für höhere Bandbreiten in der Regel auch höhere Preise bezahlen, sind offenbar motivierter, nachzumessen, wie groß die tatsächlich gelieferte Bandbreite ist. Auch ist denkbar, dass weniger computeraffine Kunden, die einen Standard-DSL-Anschluss besitzen, sich weniger häufig von den Studienaufrufen angesprochen fühlen.

[26] Referenzverteilung gemäß Bandbreiteclusterung der Europäischen.Kommission COCOM

Fazit

Die Ergebnisse des durchgeführten statistischen Monitorings zeigen, dass sich die Stichprobe im Hinblick auf die untersuchten Parameter Technologie, Anbieter und geografische Verteilung (Bundesländer sowie städtische, halbstädtische und ländliche Regionen) gut der Grundgesamtheit annähert. Insbesondere wurden die Kunden aller Anbieter und in ganz Deutschland entsprechend ihrer Marktanteile bzw. der Bevölkerungsverteilung erreicht. Auch bezüglich der Regionen ländlich vs. städtisch und der Technologien gibt es keine erkennbaren Verzerrungen der Stichprobe gegenüber der Grundgesamtheit.

Ebenso zeigen die von den Studienteilnehmern vergebenen Noten zur Kundenzufriedenheit eine eingipflige Verteilung mit einer Häufung im guten bis befriedigenden Bereich (vgl. Abbildung 5.17). Eine Verzerrung der Stichprobe in Richtung besonders unzufriedener Kunden ist also nicht zu erkennen.

Kunden mit hochbitratigen Anschlüssen sind häufiger in der Stichprobe vertreten, als bei einer Zufallsauswahl zu erwarten gewesen wäre. Demgegenüber war die Teilnahmemotivation bei Kunden der unteren Bandbreiteklassen offenbar geringer. Da die durchschnittlichen prozentual erreichten Datenübertragungsraten in den Bandbreiteklassen unterschiedlich sind, ist der ungewichtete Mittelwert der prozentual erreichten Datenübertragungsraten in der Stichprobe möglicherweise nicht erwartungstreu. Dieser Effekt tritt innerhalb einer Bandbreiteklasse nicht auf, wenn die Studienteilnehmer dieser Bandbreiteklasse ansonsten eine repräsentative Auswahl aller Kunden in dieser Bandbreiteklasse sind. Hiervon gehen wir nach den oben beschriebenen Ergebnissen des Monitorings aus.

Für alle untersuchten Parameter wird deswegen neben Gesamtmittelwerten der Stichprobe immer auch nach Bandbreiteklassen unterschieden. Wenn eine Bandbreiteklasse stärker in der Stichprobe vertreten ist, als ihr prozentualer Anteil in der Grundgesamtheit vorgibt, führt dies dazu, dass die Schätzung genauer ist, als dies bei einer Zufallsstichprobe zu erwarten wäre. Bei unterrepräsentierten Untergruppen ist die Schätzung ungenauer. Bei den erreichten Stichproben-Umfängen wirkt sich dieser Effekt jedoch nicht maßgeblich aus.

Insgesamt erlaubt die Stichprobe damit für die genannten Kategorien und Vorrausetzungen valide statistische Schätzungen.

4.1.2 Optimale Testumgebung

Im Rahmen des Tests wurde bei den Teilnehmern abgefragt, ob die Messung über eine kabelgebundene Verbindung (LAN) und ohne andere auf dem PC ggf. im Hintergrund laufende Anwendungen wie z. B. Virenscanner durchgeführt wurde. Eine „optimale Testumgebung" liegt dann vor, wenn dies der Fall ist (vgl. ausführlich 2.1.2.2).

Für eine Untergruppe von Teilnehmern, für die zusätzliche Router-Werte ausgelesen werden konnten, wurde die Auswirkung von Messungen über WLAN oder Messungen mit parallelem Datenverkehr in separaten Auswertungen untersucht (siehe 5.2.2 und 5.2.3).

Für diese Untergruppe bestand die Möglichkeit, Messungen, die unter nicht optimalen Bedingungen erfolgten, unabhängig von der Teilnehmerangabe erstens zu erkennen und zweitens von der Auswertung ausschließen oder deren Auswirkungen berücksichtigen zu können. Dies stellt eine wichtige Weiterentwicklung im Vergleich zur ersten Messstudie dar.

Bei der untersuchten Unterstichprobe handelt es sich um eine nicht-zufällige Untergruppe der Gesamtstichprobe. Eine Übertragung der ermittelten Effekte (Anteil an Teilnehmern, die trotz Angabe einer optimalen Testumgebung über WLAN gemessen haben sowie Auswirkungen des parallelen Datenverkehrs) auf die Gesamtstichprobe ist deswegen nicht direkt möglich. Es erscheint jedoch sehr wahrscheinlich, dass auch unter den Teilnehmern, die andere Modems/Router nutzen, vergleichbare Effekte auftreten, weil keine Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass sich die Teilnehmer der Untergruppe bzgl. der Angabe einer optimalen Testumgebung von den Teilnehmern der Gesamtstichprobe unterscheiden.

Prozesse oder Anwendungen (z. B. Virenscanner oder Firewalls), die unmittelbar in den Datenaustausch zwischen Softwareapplikation und Daten-Referenz-System eingebunden sind, können auch einen Einfluss auf das Messergebnis haben. Dieser konnte noch nicht berücksichtigt werden (vgl. 2.1.2.2).

Messverfahren, die auf Software-Lösungen basieren, werden wegen der oben genannten Effekte als nicht so vertrauenswürdig eingeschätzt, da sie nicht in einem kontrollierten Umfeld (unterschiedliche Endkunden-Installationen) ausgeführt werden. Hardware-Lösungen werden im Gegensatz dazu speziell konfiguriert und installiert, so dass sie eine dedizierte, immer gleiche Messumgebung aufweisen.

Im Rahmen dieser Studie wurde festgestellt, dass durch die Möglichkeit des automatisierten Auslesens zusätzlicher Werte aus dem Modem/Router einige Aspekte der Nachteile von Software-Lösungen behoben werden können.

Durch das Auslesen der verwendeten Schnittstellen und Ermitteln der tatsächlichen Datenübertragungsrate zwischen Endkunden-PC und Router/ Modem kann eine Beeinträchtigung der Messung durch eine schlechte Anbindung des Endkunden-PC festgestellt werden. Die identifizierten Messungen können verworfen werden.

Durch die Ermittlung des während des Messvorgangs tatsächlich am Internetzugang aufgetretenen Verkehrsvolumens (Traffic Counter der WAN-Schnittstelle) kann ein möglicherweise aufgetretener paralleler Datenverkehr identifiziert und berücksichtigt werden.

Für das im Rahmen der Gesamtstudie durchgeführte Validierungsverfahren wurde allerdings nur die Kundenangabe zur optimalen Testumgebung berücksichtigt, auch wenn für Teilnehmer der Untergruppe weitere Werte vorlagen und dadurch eine von der Kundenangabe abweichende Feststellung getroffen werden könnte.

Die Messwerte, die laut Kundenangabe unter nichtoptimalen Bedingungen gewonnen wurden, wurden für die weitergehende Analyse ausgeschlossen. Dies betrifft insgesamt 65.709 Werte.

Es wurden also auch die Messungen der Untergruppe einbezogen, von denen bekannt war, dass sie nicht unter optimalen Bedingungen stattfanden, obwohl der Kunde eine optimale Testumgebung angegeben hatte.

Mit dieser Vorgehensweise wurde methodische Konsistenz zwischen der ersten und der vorliegenden zweiten Qualitätsstudie gewährleistet. Eine Andersbehandlung einer Teilmenge würde zudem zu Verzerrungen innerhalb der Gesamtstudie führen.

Die Auswertung der Untergruppe ermöglicht jedoch eine Einschätzung über die Größenordnung der Effekte (Nutzung von WLAN, paralleler Datenverkehr) in der Gesamtstichprobe.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie müssen vor dem Hintergrund der vorliegenden Erkenntnisse über den Einfluss der Endkundenmessumgebung eingeordnet werden (vgl. Einleitung 5).

4.1.3 Technische Validierung

Die technische Validierung wurde gemäß 2.1.3.2.1 durchgeführt.

Von den 375.412 durch Endverbraucher durchgeführten Messungen wurden aufgrund der kaskadierten Plausibilitätstets 47.221 Messungen verworfen.

Bei der Elimination von Mehrfachmessungen wurden weitere 90.070 Messungen verworfen.

In der Auswertung wurden 3.728 Messungen von in Glasfaser Technologie realisierten Anschlüssen und 600 Messungen von in „übrigen" Technologien (z. B. WiMAX, UMTS, etc.) realisierten Anschlüssen nicht betrachtet. Von den verbleibenden Messwerten wurden 14.868 Messungen von Anschlüssen ≥ 100 Mbit/s von den weiteren Analysen ausgeschlossen.

Teilstichprobe mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung

Für 34.051 Nutzer (22,2%) der Stichprobe wurde im Rahmen der Messung auch die synchronisierte Datenrate der Leitung ausgelesen, um die von den Nutzern angegebenen vermarkteten Datenübertragungsraten mit den synchronisierten Datenraten der Leitung zu vergleichen. Es handelt sich dabei um eine vom Anbieter eingestellte Datenrate, die Endkunden maximal bei einer Ende-zu-Ende-Betrachtung erhalten können, ohne dass dabei sämtliche Einflussfaktoren auf die Datenübertragungsrate berücksichtigt werden. Möglich war dies nur für Nutzer, die Geräte einer Teilgruppe von Herstellern einsetzen.

Dabei wurde deutlich, dass regelmäßig die synchronisierte Datenrate in dem Bereich lag, den die Endkunden als vermarktete Datenübertragungsrate angegeben haben. Das deutet darauf hin, dass die Endkunden zwischen der Datenübertragungsrate, auf die in Werbekampagnen (z.B. Plakaten) für Massenmarktprodukte verwiesen wird, und der Datenübertragungsrate ihres eigenen Internetzugangs zu unterscheiden wissen. Insbesondere besteht damit kein Grund zur Annahme, dass die Endkunden – bewusst oder unbewusst – die höheren Werbeversprechen angegeben haben. Die Ergebnisse werden im Detail in 5.2.1 dargestellt.

Dieser Schluss dürfte für die gesamte Stichprobe gelten. Ein Vergleich der Verteilung dieser Messwerte mit der Verteilung der Breitbandanschlüsse in

Deutschland mit Blick auf Regionen, Bundesländer, Technologien und Bandbreiteklassen zeigte, dass die Verteilung der Nutzer, für die die synchronisierte Datenrate der Leitung ermittelt werden konnte, ähnlich gut der Verteilung der Grundgesamtheit entspricht, wie dies für die gesamte Stichprobe der Fall ist.

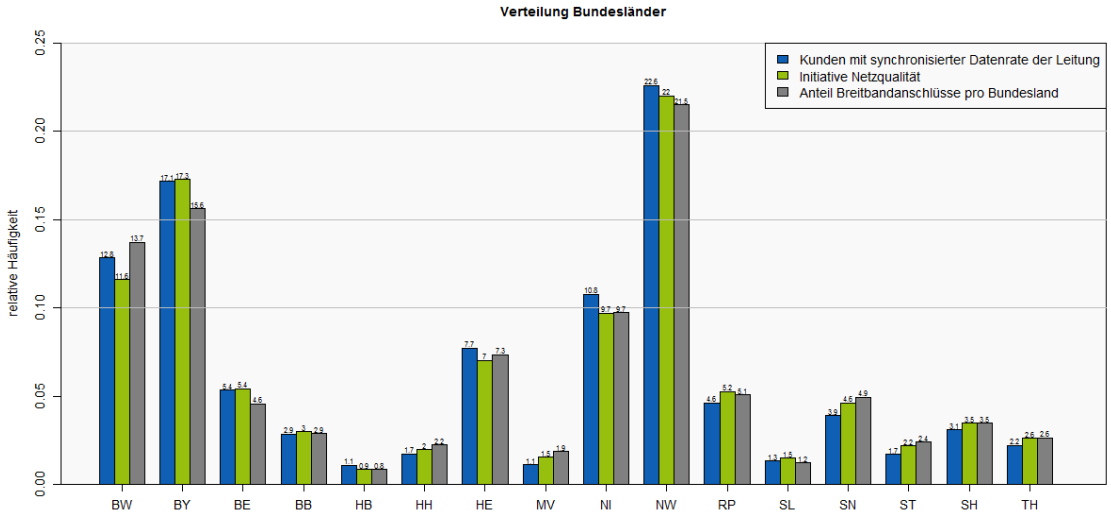

Abbildung 4.6: Verteilung der Studienteilnehmer 2013 auf die Bundesländer im Vergleich zur Verteilung der Breitbandanschlüsse und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung

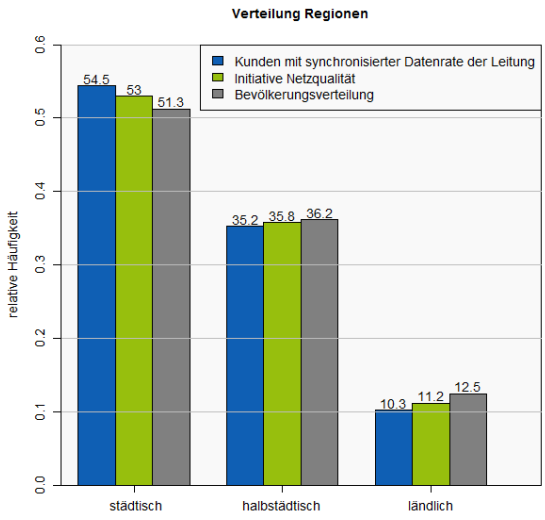

Abbildung 4.7: Verteilung der Studienteilnehmer 2013 nach Regionen im Vergleich zur Bevölkerungsstatistik und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung

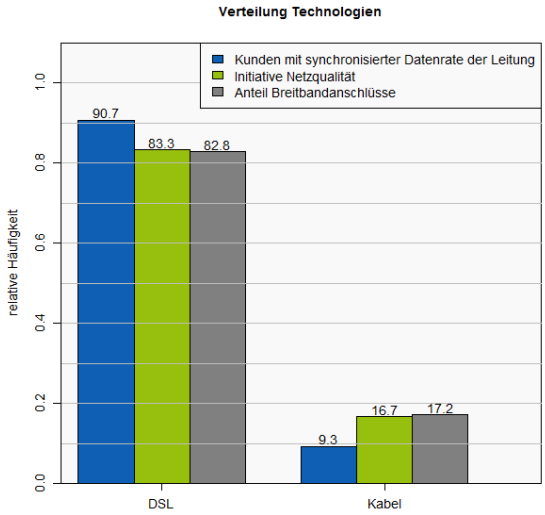

Abbildung 4.8: Vergleich der von den Studienteilnehmern angegebenen Technologien mit der Verteilung der Breitbandanschlüsse (CoCom Q2/2012) und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung

Lediglich im Hinblick auf die in Abbildung 4.9 dargestellte Verteilung der Anbieter waren deutliche Unterschiede im Vergleich zur Grundgesamtheit zu erkennen. Dies ist insofern zu erklären, als die Geräte, für die die synchronisierte Datenrate der Leitung ermittelt werden konnte, von manchen Anbietern standardmäßig mitvertrieben werden, während andere Anbieter Geräte anderer Hersteller von Hause aus mitliefern.

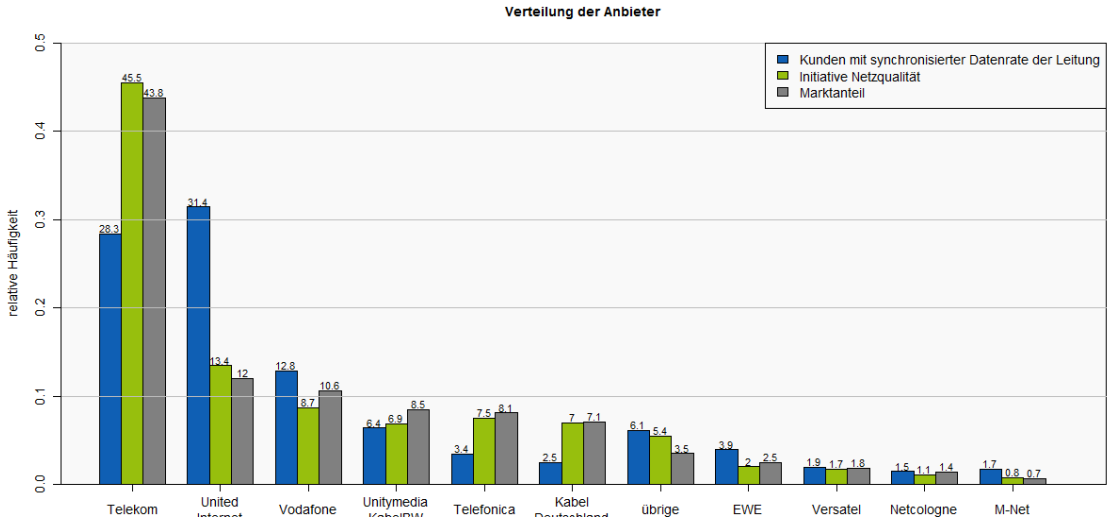

Abbildung 4.9: Verteilung der Anbieter in der Stichprobe der Initiative Netzqualität 2013 im Vergleich zu den Marktanteilen nach VATM TK Marktanalyse Q3/2013 und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung

4.1.4 Messzeitraum

Die im Rahmen der Studie betrachteten Messungen der Initiative Netzqualität wurden vom 01.07.2013 bis 31.12.2013 durchgeführt.

4.2 Deutschlandweite Messplattform

Die Messungen stationärer Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform erfolgten ebenfalls vom 01.07.2013 bis 31.12.2013.

Auf der deutschlandweiten Messplattform erfolgte für stationäre Anschlüsse die Messung der Laufzeiten und der tageszeitlichen Verteilung der Datenübertragungsrate. Außerdem wurde das typische Endbenutzerszenario Web Browsing untersucht.

Tabelle 5 zeigt die Anzahl der dort im Rahmen der Studie durchgeführten Messungen. Hinzu kamen die Kontrollmessungen, die im Rahmen der Qualitätssicherung der Softwareapplikation durchgeführt wurden.

Tabelle 5: Anzahl der Messungen stationärer Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform für verschiedene Tests

Stationäre Breitbandanschlüsse	
Messung	**N**
HTTP Download	327.955
FTP Upload	324.412
Laufzeit	318.749
Web Browsing	3.033.108

4.3 Kontrollmessungen

Zur Überwachung der Messgenauigkeit wurde automatisiert an Testanschlüssen an verschiedenen Standorten der deutschlandweiten Messplattform die Datenübertragungsrate mit der Softwareapplikation gemessen.

Bei den an den Standorten der deutschlandweiten Messplattform zugeführten Anschlüssen handelte es sich um die hochwertigsten Anschlüsse, die an diesen innerstädtischen, gut von den Anbietern erschlossenen Standorten verfügbar waren.

An diesen Anschlüssen erfolgt ein Vergleich der Messergebnisse der regulären Datenübertragungsraten-Messungen der Messplattform mit den durch die Softwareapplikation ermittelten Messwerten für verschiedene Anbieter und vermarktete Datenübertragungsraten.

Zum Vergleich der Messverfahren wurden beispielhaft für zehn Anschlüsse Messungen der Softwareapplikation und in zeitlicher Nähe dazu durchgeführte Messungen der Messplattform betrachtet. Insgesamt wurden dabei 25.648 Vergleichsmessungen durchgeführt.

Die prozentuale Abweichung wird durch

100*(Software-Messplattform)/Messplattform

berechnet und in Abbildung 4.10 im Boxplot dargestellt.

Es zeigte sich, dass die Abweichungen der Anschlüsse im Mittel im Bereich zwischen -1.9% (Mittelwert) bzw. -2,4% (Median) und +3.9% (Mittelwert) bzw. +4.1% (Median) betragen haben.

Positive Werte bedeuten hier, dass die Softwareapplikation im Mittel geringfügig höhere Werte gemessen hat, als die Messplattform. Negative Werte deuten darauf hin, dass die Softwareapplikation im Mittel geringfügig niedrigere Werte gemessen hat als die Messplattform.

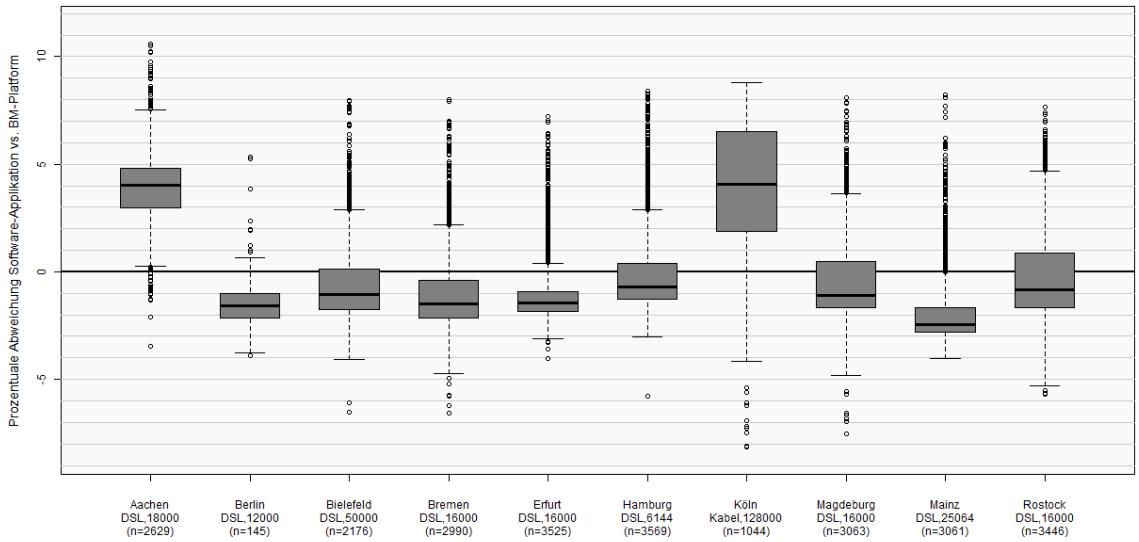

Abbildung 4.10: Vergleich der Messergebnisse der regulären Datenübertragungsraten-Messungen der Messplattform mit den durch die Softwareapplikation ermittelten Messwerten für zehn Anschlüsse

Ein Teil der Abweichungen lässt sich wahrscheinlich darauf zurückführen, dass die zueinander ins Verhältnis gesetzten Messungen aus Softwareapplikation und Messplattform nicht gleichzeitig durchgeführt wurden. Für einen exakten Vergleich der Messverfahren wäre dies eine notwendige Voraussetzung. Eine gleichzeitige Messung mit zwei Verfahren an ein und demselben Anschluss ist jedoch nicht möglich, da sich die beiden Messungen gegenseitig beeinflussen würden.

5 Stationäre Breitbandanschlüsse

Wie bereits unter 1 dargestellt, ist es bei Endkundenmessungen methodisch nicht möglich, die Testumgebung vollständig zu kontrollieren, so dass ein Einfluss durch die Endkundenumgebung weder grundsätzlich noch durch die zum Einsatz gekommene Methodik ausgeschlossen werden kann. Dies bedeutet, dass die nachfolgend aufgeführten Messergebnisse regelmäßig unter denjenigen liegen werden, die bei vollständiger Kontrolle der Endkundenmessumgebung gemessen würden.

Mit Blick auf die Interpretation der Messergebnisse ist dabei zum einen wichtig, dass die Auswirkung der Einflussfaktoren (Nutzung von WLAN, Einfluss paralleler Datenverkehr und Prozesse, Ausstattung der Endkundeneinrichtung mit Blick auf Hard- und Software) bei der Bewertung der Messergebnisse berücksichtigt wird. Zum anderen ist es wichtig, dass die Einflüsse gleichmäßig auftreten, d. h. dass sich ihr Effekt nicht bei bestimmten Testanschlüssen stärker auswirkt als bei anderen.

Die oben genannten Einflussfaktoren stellen sich wie folgt dar:

- **Anbindung des Endkunden-PC (Client) an den Router/ Modem**
  Bei einer Untergruppe von Modems/ Routern konnte unabhängig von der Benutzerangabe durch das Auslesen der entsprechenden Werte aus den Modems/Routern festgestellt werden, ob die Messung über WLAN durchgeführt worden ist. Es wurde festgestellt, dass 9,0% der Messungen mit laut Benutzerangabe optimaler Testumgebung über WLAN erfolgten, obwohl die Benutzer angegeben haben, in einer optimalen Messumgebung ohne WLAN zu messen (Detaillierte Ergebnisse siehe 5.2.2).

  Es ist jedoch nicht möglich, den Einfluss des WLAN auf das Messergebnis exakt zu quantifizieren und herauszurechnen, weil kein Messwert des jeweiligen Anschlusses in einer tatsächlich optimalen Messumgebung vorlag. Es lässt sich lediglich zeigen, dass innerhalb der Untergruppe die Datenübertragungsrate geringer war, wenn über WLAN statt über LAN gemessen wurde.

Bei dieser Unterstichprobe handelt es sich um eine nicht-zufällige Untergruppe der Gesamtstichprobe. Eine Übertragung des ermittelten Anteils an Teilnehmern, die trotz Angabe einer optimalen Testumgebung die Messung über WLAN durchgeführt haben, auf die Gesamtstichprobe ist deswegen nicht direkt möglich. Es erscheint jedoch sehr wahrscheinlich, dass auch unter den Kunden, die andere Modems/Router nutzen, ein vergleichbarer Anteil tatsächlich über WLAN gemessen hat. Es ist anzunehmen, dass ein Ausschluss dieser Messwerte aus der Gesamtstichprobe zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen würde.

- **Paralleler Datenverkehr**
  In dieser Untergruppe von Modems/Routern war es auch möglich, den Umfang des parallel zur Messung ablaufenden Datenverkehrs unabhängig von der Benutzerangabe auszulesen.

  Wie zu erwarten, konnte festgestellt werden, dass bei allen Messungen paralleler Datenverkehr stattfand. Bei über der Hälfte der Messungen in der Untergruppe lag der Anteil des parallelen Datenverkehrs am gesamt aufgetretenen Datenverkehr unter 1%, bei 90% unter 4% (Detaillierte Ergebnisse siehe 5.2.3).

  Wie bei der Betrachtung des Einflusses von WLAN auf das Messergebnis ist eine Übertragung auf die Gesamtstichprobe nicht direkt möglich. Es erscheint jedoch sehr wahrscheinlich, dass auch unter den Kunden, die andere Modems/Router nutzen, vergleichbare Effekte auftreten und deshalb die Messergebnisse geringfügig verschlechtert worden sind.

- **Prozesse/ Anwendungen, die die Messverbindung beeinflussen**
  Der Messvorgang kann durch Prozesse und Anwendungen, die unmittelbar in den Datenaustausch zwischen Softwareapplikation und Daten-Referenz-System eingebunden sein, (z. B. Virenscanner oder Firewall), beeinflusst werden. Dieser konnte noch nicht berücksichtigt werden.

- **Endkundeneinrichtung**
  Ein möglicher Einflussfaktor der Endkundeneinrichtung auf die erreichbare Datenübertragungsrate ist die eingesetzte Hardware. Ältere PCs mit Netzwerkkarten oder Modem/Router Schnittstellen mit reduziertem Energieverbrauch unterstützen nur Datenübertragungsraten bis 100 MBit/s.

Diese Faktoren wirken sich nicht gleichmäßig in der Stichprobe aus, sondern werden bei Breitbandanschlüssen mit einer vermarkteten Download-Datenübertragungsrate von ≥ 100 Mbit/s relevant.

Vor diesem Hintergrund erschien es gerechtfertigt, Anschlüsse ≥ 100 Mbit/s nicht in die Auswertung mit einzubeziehen. In der Bandbreiteklasse > 50 bis < 100 Mbit/s werden daher nur Anschlüsse mit vermarkteten Datenübertragungsraten von mehr als 50 Mbit/s und weniger als 100 Mbit/s dargestellt.

- **Betriebssystem auf dem Endkundengerät (Client)**
  Das verwendete Betriebssystem oder der verwendete Browser können einen Einfluss auf die erreichbare Datenübertragungsrate haben. Ein Vergleich der Messergebnisse gängiger Betriebssysteme und Browser hat gezeigt, dass für diese unterschiedliche Datenübertragungsraten erreicht werden. Die Unterschiede sind jedoch gering und es hat sich ein gleichmäßiger Effekt auf Technologien und Bandbreiteklassen gezeigt. Zudem kann auch davon ausgegangen werden, dass Betriebssysteme und Browsertypen auf Anbieter, Produkte, Regionen und Technologien gleichmäßig verteilt sind.

Grundsätzlich kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass Endkunden die Qualität ihrer Testumgebung unzutreffend eingeschätzt haben. Dies dürfte aber gleichmäßig auf die betrachteten Anschlüsse wirken. Es besteht kein Grund zur Annahme, dass nur Endkunden bestimmter Anbieter, Produktklassen oder Technologien die Qualität ihrer Testumgebung unzutreffend eingeschätzt haben, so dass sich der Einflussfaktor grundsätzlich auf alle getesteten Anschlüsse gleichmäßig verteilt. Gleiches dürfte nach Ausschluss der sehr hochbitratigen Anschlüsse auch für den Effekt gelten, den eine parallele Nutzung des Internetzugangsdienstes durch andere Anwendungen oder Endgeräte auf die Messung hat.

Bei der Betrachtung und Bewertung der nachfolgend dargestellten Messergebnisse zur Datenübertragungsrate, die im Rahmen von Endkundenmessungen erhoben worden sind, ist zu berücksichtigen, dass die tatsächlichen Datenübertragungsraten bei optimaler Messumgebung etwas höher sein werden. Die Vergleiche zwischen verschiedenen Untergruppen sind jedoch von diesem Umstand nicht berührt.

5.1 Datenübertragungsrate (Endkundenmessungen)

Wie bereits in 2.1.3.3.3 erläutert, wurde die gemessene Datenübertragungsrate in Bezug zur vermarkteten Datenübertragungsrate gesetzt.

Abbildung 5.1 stellt die empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsraten für alle Nutzer der Stichprobe dar. Die erreichten Datenübertragungsraten lagen zwischen 0,9% und 120% der vermarkteten Datenübertragungsraten.

Gegenüber 2012 verbesserte sich die Liefertreue in der gesamten Stichprobe insbesondere im mittleren Bereich der Anteile der vermarkteten Datenübertragungsrate. 77,1% der Nutzer erreichten 50% (2012: 69,2%) der vermarkteten Datenübertragungsrate oder mehr.

Der Anteil der Benutzer, die mindestens die volle vermarktete Datenübertragungsrate erreichten, nahm mit 15,9% leicht ab (2012: 19,5%).

Der im Boxplot in Abbildung 5.2 dargestellte Median stieg von 73.4% in 2012 auf 81.7% in 2013.

Als mögliche Ursache könnte - neben technischen Veränderungen der Anbieterprofile - auch ein verändertes Marketing bzw. Kommunikationsverhalten der Anbieter bzgl. der tatsächlich am konkreten Anschluss gelieferten Datenübertragungsrate in Betracht kommen.

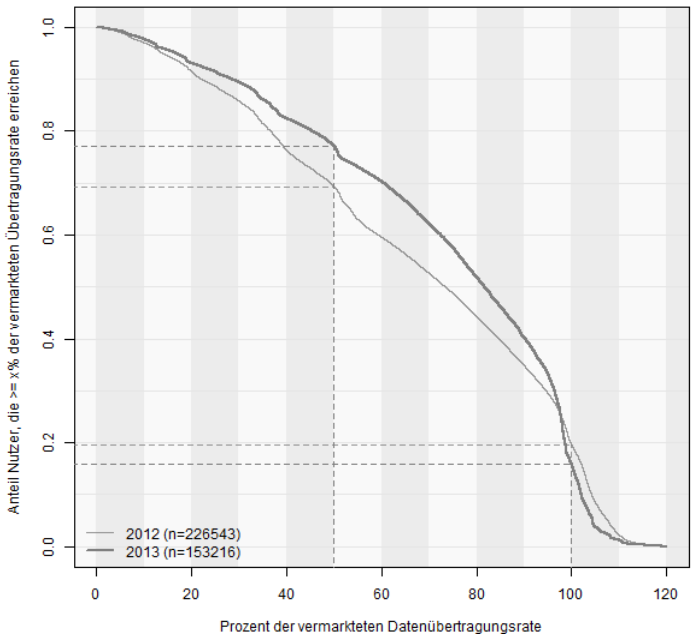

Abbildung 5.1: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für alle Nutzer in der Stichprobe

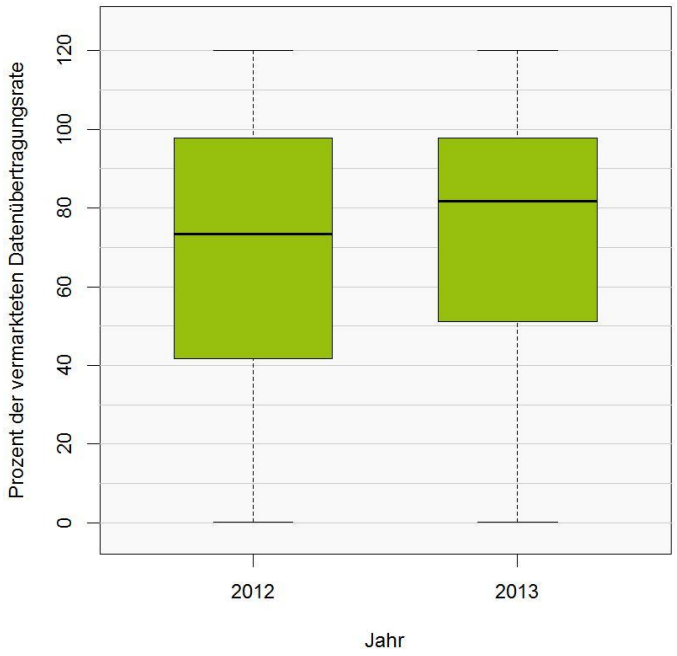

Abbildung 5.2: Boxplot der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für alle Nutzer in der Stichprobe

5.1.1 Technologie

In Abbildung 5.3 (Boxplot) werden Median und Quartile der prozentual erreichten Datenübertragungsraten getrennt nach Technologien dargestellt, Abbildung 5.4 (Empirische Verteilungsfunktion) zeigt die Verteilung der prozentual erreichten Datenübertragungsraten.

Tabelle 6 stellt die Anteile der Nutzer dar, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten haben, sowie die dazugehörigen 95%-Konfidenzintervalle.

Insgesamt hat sich bei allen Technologien eine große Spannweite der gemessenen Datenübertragungsraten gezeigt (<1% bis 120% für alle Technologien). Der Interquartilsabstand als Maß für die Streuung - im Boxplot als Boxlänge abzulesen - ist hingegen für alle Technologien kleiner als in 2012. Der Median hat sich für alle Technologien gegenüber der Studie 2012 zu höheren Prozentwerten hin verschoben (vgl. Boxplot Abbildung 5.3).

Es wurden klar erkennbare Unterschiede zwischen den in den jeweiligen Technologien erreichten prozentualen Datenübertragungsraten festgestellt.

- **DSL**
  Bei den DSL-Anschlüssen verbesserte sich der Anteil der Teilnehmer, die mindestens 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhielten, um ca. 8 Prozentpunkte von 68,2% auf 76,2%, während sich der Anteil der Nutzer, die mindestens die volle vermarktete Datenübertragungsrate erreichten, jedoch von 15,7% auf 9,0% verringerte.

- **Kabel**
  Auch in 2013 wurden im Vergleich zu den anderen Technologien die besten prozentualen Datenübertragungsraten für Kabelanschlüsse gemessen. In der in Abbildung 5.4 dargestellten empirischen Verteilungsfunktion liegen die Ergebnisse für Kabelanschlüsse im gesamten Bereich über denen von DSL und LTE.

  86,7% der Nutzer von Kabelanschlüssen, also ca. 8 Prozentpunkte mehr als 2012 erreichten mindestens 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate (2012: 78,1%). Der Anteil der Nutzer, die mindestens die volle vermarktete Datenübertragungsrate erreichten, stieg bei den Kabelanschlüssen um mehr als 8 Prozentpunkte von 41,8% auf 50,7%.

- **LTE**
  Die geringsten Verbesserungen wurden bei LTE-Anschlüssen festgestellt. Bei 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate stieg der Wert um knapp 2 Prozentpunkte von 55,6% (2012) auf 57,4% in 2013. Insbesondere fällt bei LTE-Anschlüssen auch auf, dass die Werte im Bereich höherer Anteile der vermarkteten Datenübertragungsrate ab ca. 75% in 2013 unter denen von 2012 liegen. Der Anteil der Nutzer, die mindestens die volle vermarktete Datenübertragungsrate erreichten, sank um mehr als 6 Prozentpunkte von 20,9% auf 14,5%.

Die Unterschiede können durch die unterschiedliche technische Realisierung der Produkte und die unterschiedlichen Nutzerzahlen begründet sein.

Bei xDSL-Infrastrukturen dürfte beispielsweise die Dämpfung der Anschlussleitung ein besonders wichtiger Faktor sein. Eine Rolle spielt ggf. auch das Kommunikationsverhalten der Anbieter zum an der jeweiligen Anschlußleitung anliegenden Wert.

Demgegenüber ist sowohl bei Kabel als auch bei LTE die gemeinsame Nutzung von Ressourcen (sog. Shared Medium) ein wichtiger Einflussfaktor auf die Leistungsfähigkeit des jeweiligen Anschlusses. Wenn solche Netze verhältnismäßig wenig Nutzer versorgen, sind relativ gute Datenübertragungsraten zu erwarten. Je mehr Nutzer aber über diese Infrastruktur versorgt werden, desto geringer wird die Datenübertragungsrate sein, die dem einzelnen Nutzer verbleibt, solange die Kapazität des Netzes nicht erweitert wird.

Bei LTE können über die genannte gemeinsame Nutzung von Ressourcen hinaus noch weitere Faktoren hinzukommen, wie z. B. der aktuelle Standort und Umgebungsfaktoren.

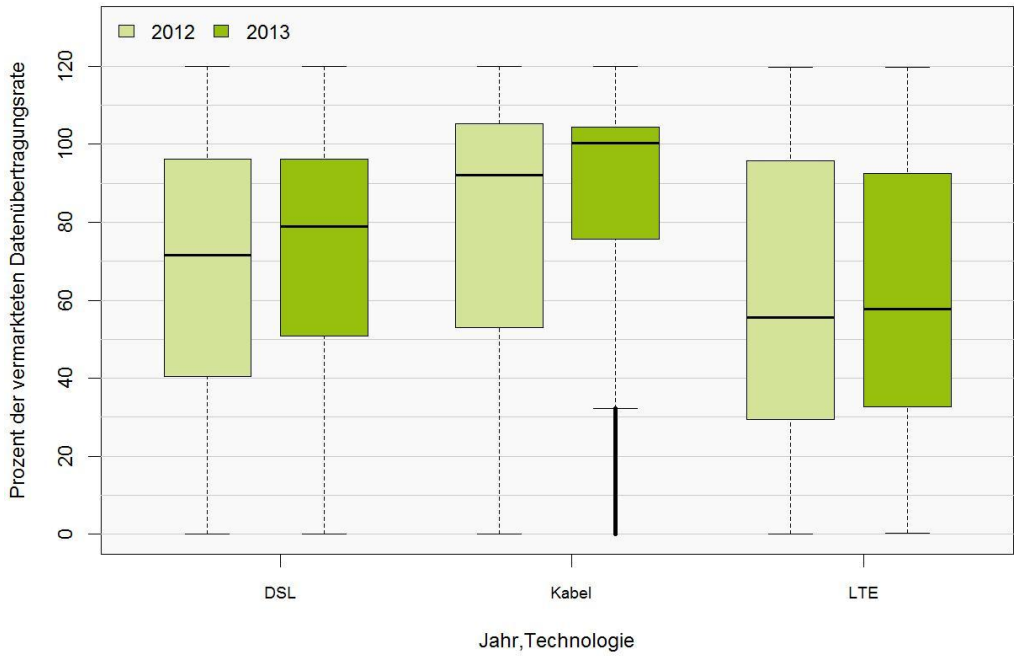

Abbildung 5.3: Prozentual erreichte Datenübertragungsrate nach Technologie

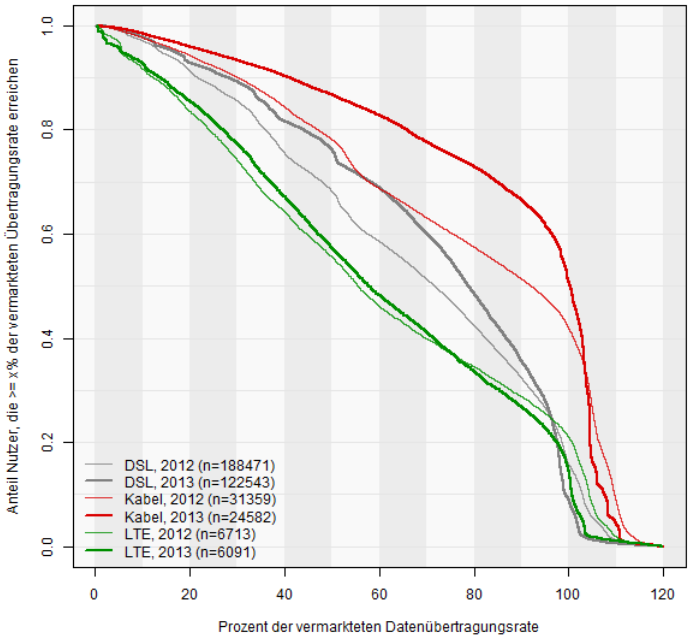

Abbildung 5.4: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Technologien.

Tabelle 6: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten und 95%-Konfidenzintervalle nach Technologien

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate						
Technologie	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
DSL	76.2% [76-76.4]	68.9% [68.6-69.1]	60.1% [59.8-60.4]	48.7% [48.4-48.9]	35.6% [35.3-35.9]	9% [8.8-9.1]
Kabel	86.7% [86.3-87.2]	82.8% [82.3-83.3]	77.7% [77.1-78.2]	72.9% [72.4-73.5]	66.5% [65.9-67.1]	50.7% [50.1-51.4]
LTE	57.4% [56.1-58.6]	48.2% [47-49.5]	41.1% [39.9-42.3]	33.6% [32.4-34.8]	26.9% [25.8-28]	14.5% [13.7-15.4]

5.1.2 Bandbreiteklasse

Die Breitbandanschlüsse wurden anhand der von den Studienteilnehmern angegebenen vermarkteten Download-Datenübertragungsraten in 6 Bandbreiteklassen eingeteilt (vgl. 3.1). Abbildung 5.5 und Abbildung 5.6 stellen die Messergebnisse in diesen Klassen dar.

Tabelle 7 stellt die Anteile der Nutzer dar, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten haben, sowie die dazugehörigen 95%-Konfidenzintervalle.

Der in Abbildung 5.5 dargestellte Boxplot zeigt, dass sich im Vergleich zu 2012 in allen Bandbreiteklassen der Median zu höheren Prozentwerten verschoben hat und eine geringere Streuung vorliegt.

Die besten Messergebnisse wurden im Allgemeinen in der untersten Bandbreiteklasse erzielt. Hier erreichten 39,8% der Nutzer die vermarktete Datenübertragungsrate oder mehr (2012: 42,6%), während bei 85,5% mindestens die Hälfte davon gemessen wurde (2012: 80,0%).

Der beste Wert für das Erreichen mindestens der vollen vermarkteten Datenübertragungsrate wurde in der Studie 2013 allerdings mit 41,3% in der Bandbreiteklasse > 50 bis <100 Mbit/s gemessen.

Demgegenüber schnitten die Anschlüsse in den mittleren Bandbreite-klassen schlechter ab. Wie in 2012 zeigten auch in 2013 die Anschlüsse mit Nennbandbreiten von > 8 bis ≤ 18 Mbit/s die schlechtesten Messergebnisse. Hier erhielten nur 5,4% (2012: 6,9%) die volle Übertragungsrate oder mehr und 73,6% (2012: 64,4%) mindestens 50% der vermarkteten Übertragungsrate.

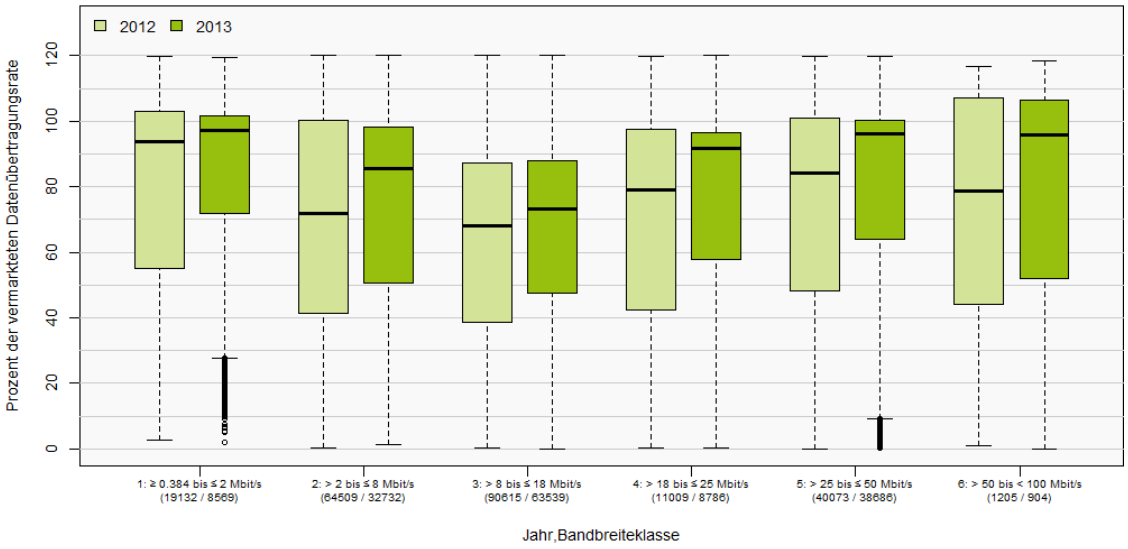

Abbildung 5.5: Prozentuale Datenübertragungsrate nach Bandbreiteklassen

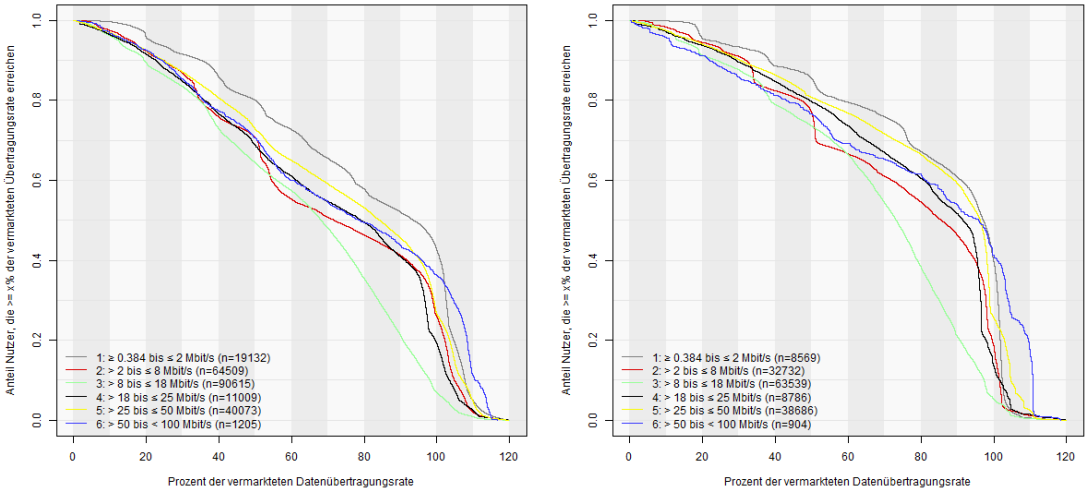

Abbildung 5.6: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Übertragungsrate nach Bandbreiteklassen (links: 2012 – rechts: 2013).

Tabelle 7: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten und 95%-Konfidenzintervalle nach Bandbreiteklassen

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate						
Bandbreite in Mbit/s	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
1: 0,384 bis ≤ 2	85.5% [84.7-86.2]	79.5% [78.6-80.3]	76% [75.1-76.9]	67.2% [66.2-68.2]	60.8% [59.7-61.8]	39.8% [38.8-40.8]
2: > 2 bis ≤ 8	76.9% [76.4-77.3]	66.6% [66.1-67.1]	61% [60.5-61.5]	54.6% [54.1-55.1]	46.3% [45.8-46.8]	18.7% [18.3-19.1]
3: > 8 bis ≤ 18	73.6% [73.3-73.9]	66.5% [66.1-66.9]	54.4% [54-54.8]	38.4% [38-38.7]	20.9% [20.6-21.2]	5.4% [5.2-5.5]
4: > 18 bis ≤ 25	79.7% [78.8-80.5]	73.7% [72.8-74.6]	66.9% [66-67.9]	60.5% [59.5-61.5]	51.7% [50.7-52.8]	13.6% [12.9-14.3]
5: > 25 bis ≤ 50	80.8% [80.4-81.2]	76.8% [76.4-77.2]	71.6% [71.2-72.1]	66.5% [66-67]	59.3% [58.8-59.7]	25.5% [25.1-25.9]
6: > 50 bis < 100	76.5% [73.7-79.2]	69.1% [66.1-72.1]	65.3% [62.1-68.3]	61.5% [58.3-64.6]	54% [50.7-57.2]	41.3% [38.1-44.5]

Der 2012 insbesondere in der Bandbreiteklasse zwischen > 2 bis ≤8 Mbit/s festgestellte uneinheitliche Verlauf der Verteilungsfunktion konnte auch in 2013 beobachtet werden; sie fällt in mehreren Bereichen steil ab, verläuft dann aber wieder flacher (vgl. Abbildung 5.6, z. B. 2013: 35% und 52%). Dies deutet darauf hin, dass hier die von den Anbietern vermarkteten Produkte unter einer „bis-zu"-Angabe zusammengefasst werden, sich aber in der realisierten Datenübertragungsrate stark unterscheiden

Dementsprechend weist beispielsweise die Verteilung der prozentual erreichten Datenübertragungsraten für alle 6 Mbit/s-Anschlüsse Gipfel bei 6, 3 und 2 Mbit/s auf (vgl. Abbildung 5.7). Dies weist darauf hin, dass hier weiterhin tatsächlich unterschiedliche Datenübertragungsraten unter der Bezeichnung „Bis-zu-6Mbit/s" vermarktet wurden. Gegenüber der Studie 2012 zeigt sich jedoch eine weniger starke Ausprägung dieses Effektes.

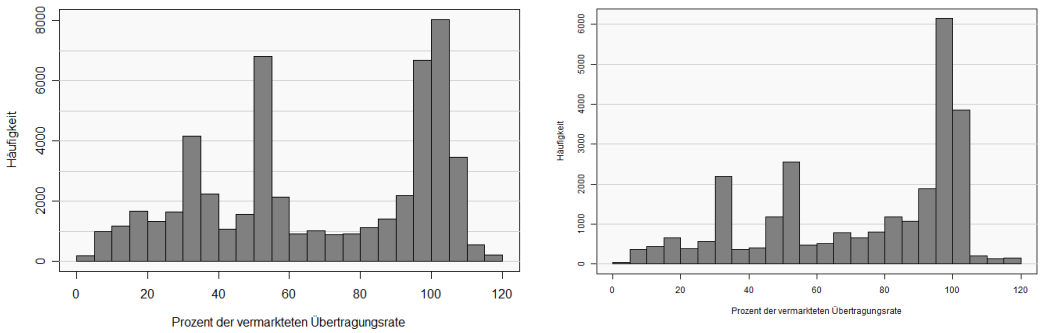

Abbildung 5.7: Häufigkeiten der prozentual erreichten Datenübertragungsraten bei einer vermarkteten Datenübertragungsrate von 6 Mbit/s (links 2012 – rechts 2013).

Diese Ergebnisse werden bestätigt durch die Analyse der synchronisierten Datenraten der Leitungen (vgl.5.2.1).

Hierbei wurde für einen Teil der Nutzer im Rahmen der Messung auch die synchronisierte Datenrate der Leitung ausgelesen, um die von den Nutzern angegebenen vermarkteten Datenübertragungsraten mit den synchronisierten Datenraten der Leitung zu vergleichen.

In der Bandbreiteklasse > 2 bis ≤ 8 Mbit/s zeigten sich synchronisierte Datenraten, die für einen hohen Prozentsatz der Endkunden unterhalb der vermarkteten Datenübertragungsraten liegen. Zum Beispiel erhielten bei den 6 Mbit/s-Anschlüssen nur 60,2% der Kunden tatsächlich eine synchronisierte Datenrate der Leitung von 6 Mbit/s oder mehr.

Tabelle 8: Häufigkeiten der Bandbreiteklassen nach Technologie

Bandbreiteklassen nach Technologien												
Technologie	1: 0,384 bis ≤ 2 Mbit/s		2: > 2 bis ≤ 8 Mbit/s		3: > 8 bis ≤ 18 Mbit/s		4: > 18 bis ≤ 25 Mbit/s		5: > 25 bis ≤ 50 Mbit/s		6: > 50 bis < 100 Mbit/s	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
DSL	8526	7,0%	31089	25,4%	59049	48,2%	4489	3,7%	19352	15,8%	38	0,0%
Kabel	43	0,2%	570	2,3%	3430	14,0%	1989	8,1%	17686	71,9%	864	3,5%
LTE			1073	17,6%	1060	17,4%	2308	37,9%	1648	27,1%	2	0,0%

Innerhalb der unterschiedlichen Technologien werden nicht in jeder Bandbreiteklasse Produkte angeboten (vgl. Tabelle 8) und die Verteilung der Nutzer auf die Bandbreiteklassen ist sehr unterschiedlich.

Die Verteilungen der gemessenen prozentual erreichten Datenübertragungsraten werden deswegen innerhalb der einzelnen Technologien nach Bandbreiteklassen dargestellt (Abbildung 5.8).

Die größten Abweichungen treten wie in 2013 für die Shared Medium-Anschlusstechnologien Kabel und LTE bei der höchsten verfügbaren Bandbreiteklasse auf, während auch in 2013 bei DSL-Anschlüssen die größten Abweichungen in der Bandbreiteklasse > 8 bis ≤ 18 Mbit/s auftreten. Dies dürfte ebenfalls darauf zurückzuführen sein, dass in den Produkten dieser Bandbreitegruppe mitunter sehr heterogene Anschlüsse zusammengefasst werden und auf eine stärkere Produktdifferenzierung verzichtet wird.

Bei den gemessenen LTE-Anschlüssen konnte zudem eine starke Spreizung der prozentual erreichten Datenübertragungsrate beobachtet werden. Da die sehr hohen Bandbreiten überwiegend in städtischen Gebieten vermarktet werden, könnte sich hier die hohe Dichte von Nutzern mit Smartphones und Tablets bereits spürbar auf die erzielten Datenübertragungsraten ausgewirkt haben. Zwar betrachtet die Studie ausschließlich stationäre LTE-Anschlüsse, diese teilen sich aber die Netzinfrastruktur auch mit mobilen LTE-Endgeräten.

Bei den DSL-Anschlüssen schneiden die Anschlüsse der untersten Bandbreiteklasse am besten ab. Hier erreichten 85,5% bzw. 39,8% die halbe bzw. die volle vermarktete Übertragungsrate (2012: 80,1% bzw. 42,5%), während es in der Klasse > 8 bis ≤ 18 Mbit/s nur 72,9% bzw. 1,8% waren (2012: 63,4% bzw. 4,5%).

Die beste Bandbreiteklasse für Kabelanschlüsse war die Klasse > 2 bis ≤ 8 Mbit/s, in der 90,5% der Kunden die halbe (2012: 84,3%) und 61,8% die volle Übertragungsrate (2012: 50,5%) gemessen haben. Demgegenüber waren es in der Klasse > 50 bis < 100 Mbit/s 79,9% bzw. 43,2% (2012: 70,5% bzw. 36,3%).

Von den LTE-Anschlüssen der besten Klasse > 2 bis ≤ 8 Mbit/s erhielten 71,0% die halbe (2012: 67,5%) und 29,5% (2012: 33,1%) die volle Datenübertragungsrate. In der schlechtesten Bandbreiteklasse > 25 bis ≤ 50 Mbit/s erhielt nur 5,5% die volle (2012: 1,6%) und 38,7% der Kunden die halbe Übertragungsrate (2012: 23,3%).

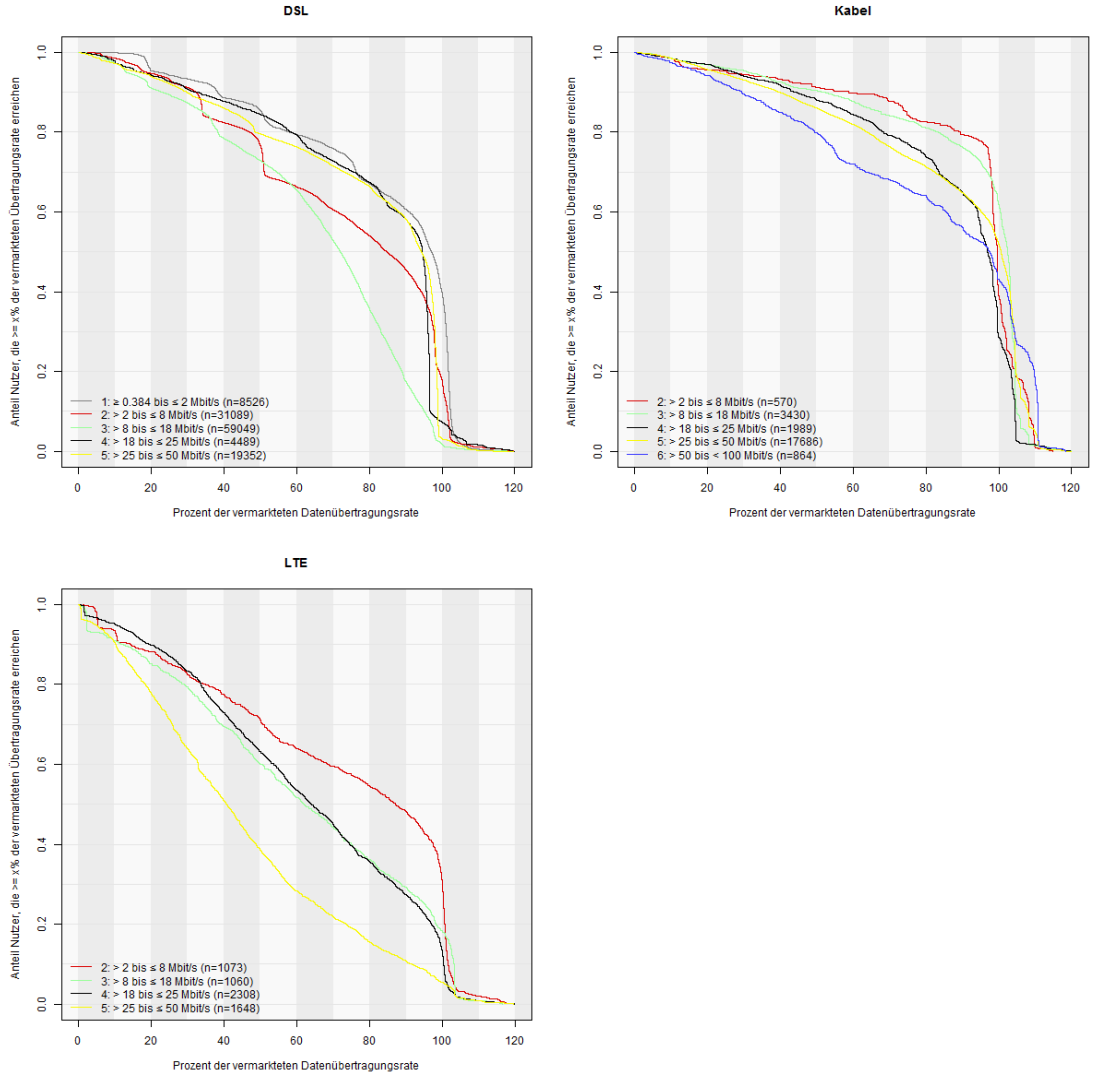

Abbildung 5.8: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsraten nach Technologie und Bandbreiteklassen

Tabelle 9: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten, und 95%-Konfidenzintervalle nach Technologie und Bandbreiteklassen

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate							
Technologie	**Bandbreite in Mbit/s**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
DSL	**1: 0,384 bis ≤ 2**	85.5% [84.7-86.2]	79.5% [78.6-80.3]	75.9% [75-76.8]	67.1% [66.1-68.1]	60.6% [59.6-61.7]	39.8% [38.8-40.9]
	2: > 2 bis ≤ 8	76.8% [76.3-77.3]	66.3% [65.7-66.8]	60.6% [60-61.1]	54.1% [53.5-54.6]	45.6% [45.1-46.2]	17.9% [17.5-18.4]
	3: > 8 bis ≤ 18	72.9% [72.5-73.2]	65.5% [65.2-65.9]	52.9% [52.5-53.3]	35.9% [35.5-36.3]	17.5% [17.2-17.8]	1.8% [1.7-2]
	4: > 18 bis ≤ 25	84.4% [83.3-85.5]	79.3% [78.1-80.4]	72.8% [71.5-74.1]	67.5% [66.1-68.8]	58.3% [56.8-59.7]	7.4% [6.7-8.2]
	5: > 25 bis ≤ 50	79.6% [79-80.1]	76.3% [75.6-76.8]	71.5% [70.9-72.2]	66.4% [65.7-67.1]	58.3% [57.6-59]	3.1% [2.9-3.3]
Kabel	**2: > 2 bis ≤ 8**	91.2% [88.6-93.3]	89.8% [87.1-92]	87.7% [84.8-90.2]	82.6% [79.3-85.5]	79.5% [76-82.6]	38.9% [35-43]
	3: > 8 bis ≤ 18	90.5% [89.5-91.4]	87.8% [86.6-88.8]	84.1% [82.8-85.3]	81% [79.7-82.3]	76.3% [74.8-77.7]	61.8% [60.2-63.4]
	4: > 18 bis ≤ 25	88.1% [86.6-89.4]	84.5% [82.8-86]	79.3% [77.4-81]	73.9% [71.9-75.7]	65.1% [62.9-67.1]	28.7% [26.7-30.7]
	5: > 25 bis ≤ 50	86% [85.5-86.5]	81.9% [81.3-82.5]	76.4% [75.7-77]	71.3% [70.6-72]	64.9% [64.2-65.6]	51.9% [51.1-52.6]
	6: > 50 bis < 100	79.9% [77.1-82.4]	72.1% [69-75]	68.1% [64.9-71.1]	64.1% [60.9-67.2]	56.2% [52.9-59.5]	43.2% [39.9-46.5]
LTE	**2: > 2 bis ≤ 8**	71% [68.2-73.7]	63.9% [61-66.8]	59.5% [56.5-62.4]	54.7% [51.7-57.7]	48.2% [45.2-51.2]	29.5% [26.8-32.2]
	3: > 8 bis ≤ 18	60.1% [57.1-63]	51.8% [48.8-54.8]	44.2% [41.3-47.3]	36.2% [33.4-39.2]	29.2% [26.6-32.1]	18% [15.8-20.4]
	4: > 18 bis ≤ 25	63.2% [61.2-65.2]	53.5% [51.5-55.5]	44.9% [42.9-46.9]	35.6% [33.6-37.5]	27.4% [25.6-29.3]	12.5% [11.2-13.9]
	5: > 25 bis ≤ 50	38.7% [36.3-41]	28.4% [26.3-30.6]	21.8% [19.9-23.9]	15.5% [13.9-17.4]	10.7% [9.3-12.3]	5.5% [4.5-6.7]

5.1.3 Anbieter

Nicht alle Anbieter bieten alle Technologien und Bandbreiteklassen an, sondern unterscheiden sich in ihren Produktportfolios. Deshalb ist ein Vergleich der Anbieter nur innerhalb bestimmter Technologien und Bandbreiteklassen sinnvoll. In Abbildung 5.10 und Abbildung 5.11 werden die Verteilungen nach Anbieter und Technologie bzw. Bandbreiteklasse dargestellt, ohne dabei jedoch einzelne Anbieter namentlich zu nennen. Für jede Grafik wird den Anbietern erneut ein Buchstabe zugewiesen. Anbieter A in der DSL-Grafik muss deswegen nicht Anbieter A in der LTE-Grafik entsprechen. Lediglich die Gruppe „übrige" beinhaltet in allen Grafiken jeweils alle bis auf die in Tabelle 3 genannten Anbieter.

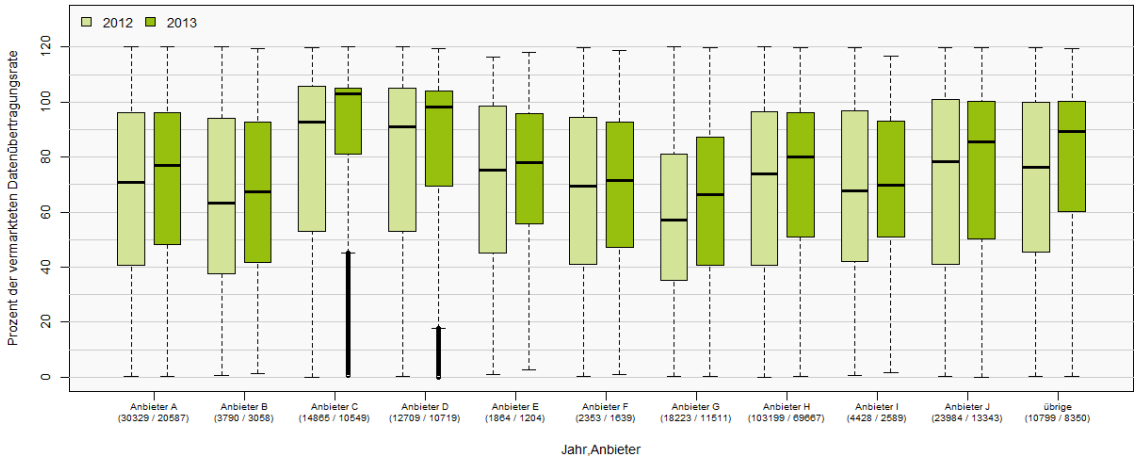

Abbildung 5.9: Prozentuale Datenübertragungsrate nach Anbieter

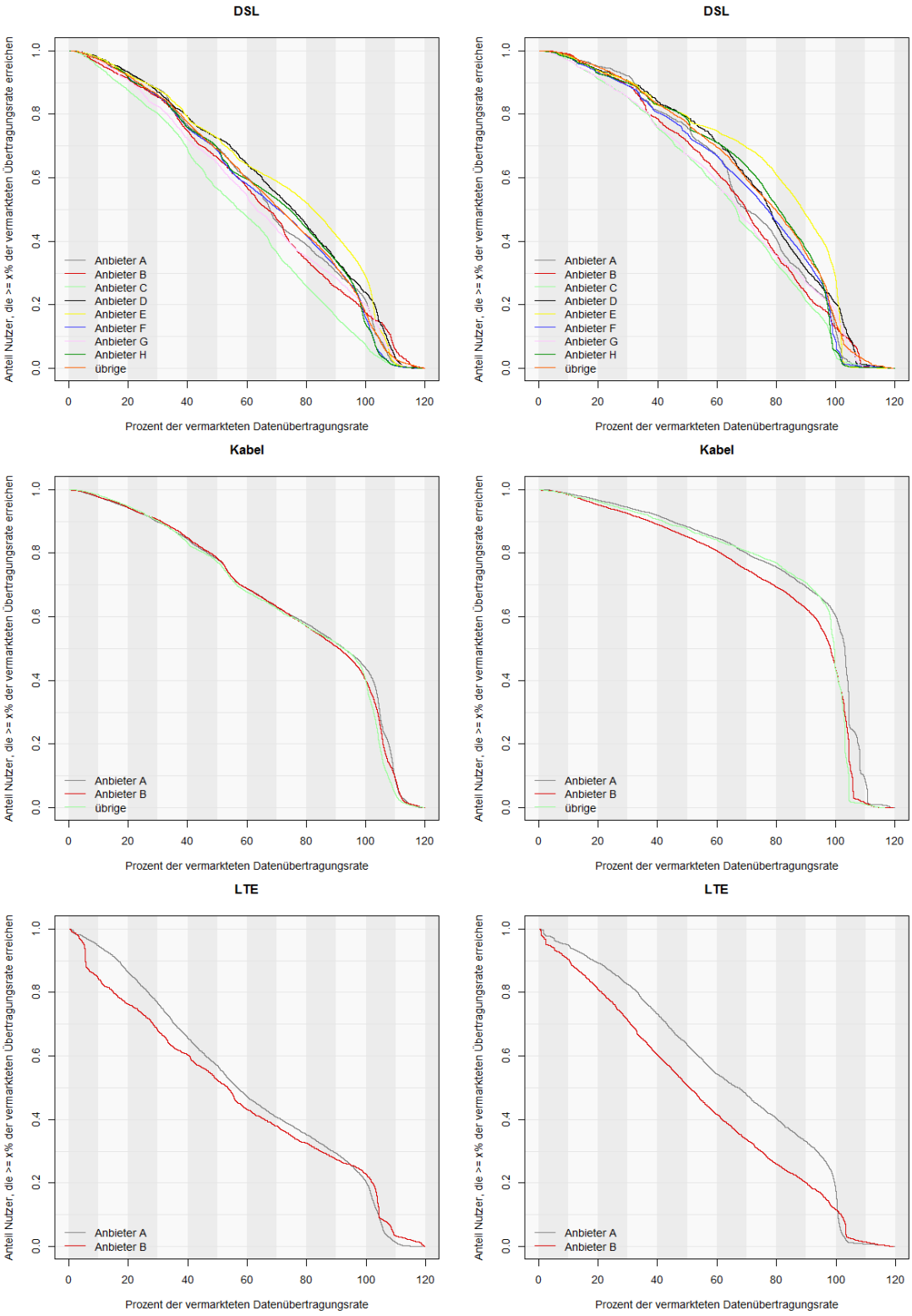

Abbildung 5.10: Empirische Verteilungsfunktionen der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Anbieter und Technologie (links 2012 – rechts 2013).

Die Darstellung zeigt erkennbare Unterschiede zwischen den Anbietern bei den verschiedenen Technologien, wobei die Spannbreite bei den Kabelanschlüssen geringer ausfällt als bei DSL und LTE. Dieses könnte durch die unterschiedliche regionale Produktverfügbarkeit pro Anbieter zu erklären sein. Wie in Tabelle 10 ersichtlich, befinden sich die gemessenen Kabelanschlüsse überwiegend in halbstädtischen und städtischen Bereichen, wohingegen DSL-Anschlüsse in allen Regionen vorliegen.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Aufteilung nach Bandbreiteklassen (Abbildung 5.11).

Auffällig ist die starke Auffächerung in den Bandbreiteklassen > 2 bis ≤ 8 Mbit/s und > 8 bis ≤ 18 Mbit/s. Hier handelt es sich meist um die typischerweise in ADSL realisierten Anschlüsse.

In der Bandbreiteklasse > 8 bis ≤ 18 Mbit/s bilden die Anbieter, die Kabel-Technologie einsetzen, eine klar abgegrenzte Untergruppe.

In den Bandbreiteklassen > 18 bis ≤ 25 Mbit/s und > 25 bis ≤ 50 Mbit/s ist zu beachten, dass dort auch Anbieter mit einem hohen Anteil von stationären LTE-Anschlüssen enthalten sind.

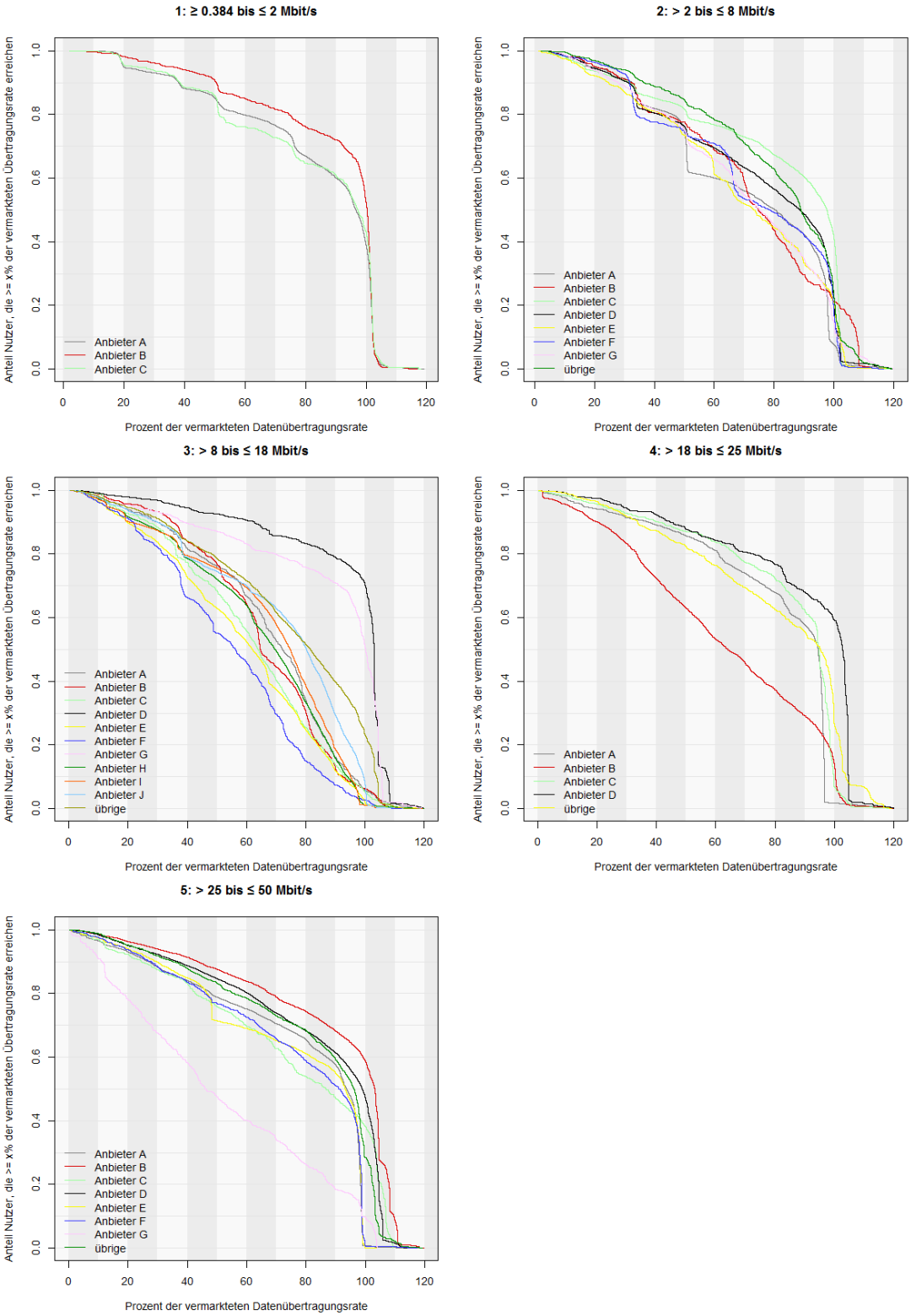

Abbildung 5.11: Verteilung der prozentual erreichten Übertragungsrate nach Anbieter und Bandbreiteklasse

5.1.4 Geografischer Bereich

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse mit Blick auf die geografische Verteilung der Breitbandanschlüsse dargestellt.

Über alle Technologien, Bandbreiteklassen und Anbieter verteilt konnten auch in 2013 keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich der prozentual erreichten Datenübertragungsraten festgestellt werden (vgl. Abbildung 5.12 und Abbildung 5.13). Gegenüber der Studie 2012 heben sich die geringfügig besseren Werte in den städtischen Bereichen nun etwas deutlicher ab. In allen Bereichen verbesserte sich der Median und es wurde eine geringere Streuung festgestellt.

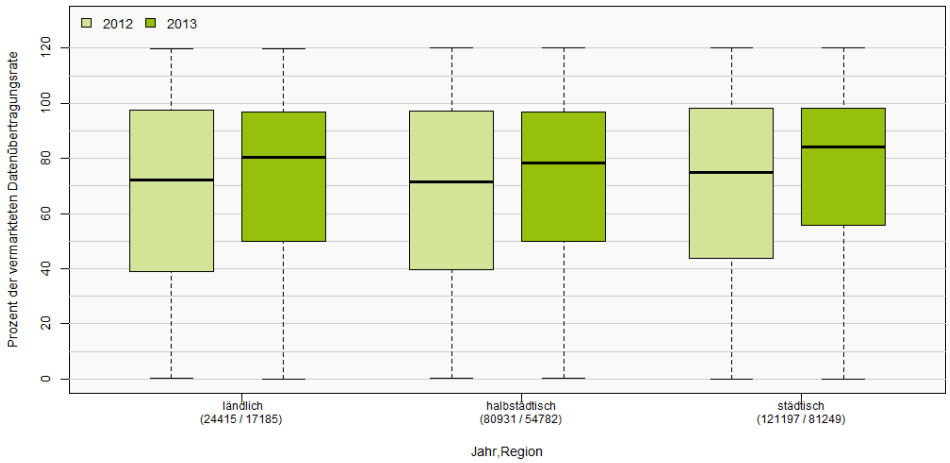

Abbildung 5.12: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geografischen Bereichen

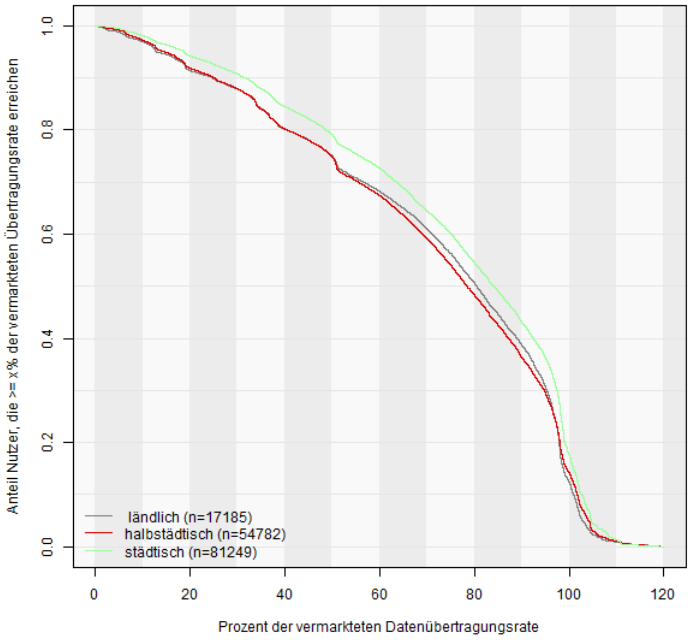

Abbildung 5.13: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Übertragungsrate nach geografischen Bereichen.

Auf diesem Aggregationsniveau wirkt sich der Umstand also nicht spürbar aus, dass in ländlichen Bereichen typischerweise die Anschlussleitungen im Vergleich zu dichter besiedelten Gebieten länger sind und damit tendenziell geringere Bandbreiten zulassen.

Diese Beobachtung dürfte maßgeblich in der Verteilung der Technologien und Bandbreiteklassen in den Regionen begründet sein. Im ländlichen Bereich gibt es mehr Breitbandanschlüsse der unteren Bandbreiteklassen und weniger mit hohen vermarkteten Datenübertragungsraten. Es kommen weniger Kabelanschlüsse vor, dafür mehr LTE- und DSL-Anschlüsse als in den Ballungsgebieten (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 11).

Damit wirken sich die hohen prozentual erreichten Übertragungsraten der niedrigen Bandbreitekategorie in ländlichen Regionen stärker aus und können so bei einer Betrachtung ohne Differenzierung nach Bandbreite-klassen den Effekt einer im Allgemeinen längeren Anschlussleitung teilweise aufheben.

Tabelle 10: Häufigkeiten der Technologien nach geografischen Bereichen

Technologien nach Regionen						
Region	DSL		Kabel		LTE	
	N	%	N	%	N	%
ländlich	14400	83,8%	771	4,5%	2014	11,7%
halbstädtisch	44759	81,7%	6880	12,6%	3143	5,7%
städtisch	63384	78,0%	16931	20,8%	934	1,1%

Tabelle 11: Häufigkeiten der Bandbreiteklassen nach geografischen Bereichen

Bandbreiteklassen nach Regionen												
Region	1: 0,384 bis ≤ 2 Mbit/s		2: > 2 bis ≤ 8 Mbit/s		3: > 8 bis ≤ 18 Mbit/s		4: > 18 bis ≤ 25 Mbit/s		5: > 25 bis ≤ 50 Mbit/s		6: > 50 bis < 100 Mbit/s	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
ländlich	1867	10,9%	3890	22,6%	6961	40,5%	1395	8,1%	3054	17,8%	18	0,1%
halbstädtisch	4106	7,5%	13034	23,8%	23388	42,7%	3336	6,1%	10755	19,6%	163	0,3%
städtisch	2596	3,2%	15808	19,5%	33190	40,8%	4055	5,0%	24877	30,6%	723	0,9%

Abbildung 5.14 stellt eine regionale Betrachtung der prozentual erreichten Datenübertragungsrate unterschiedlicher Bandbreiteklassen an. Eine tabellarische Darstellung der Nutzeranteile, die dabei mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten haben, sowie die dazugehörigen 95%-Konfidenzintervalle findet sich in Tabelle 12.

Bei dieser Betrachtung zeigt sich, dass auch in 2013 in fast allen Bandbreiteklassen die erreichten prozentual erreichten Datenübertragungsraten in städtischen Gebieten im Mittel größer sind als in halbstädtischen und ländlichen Bereichen. In der Bandbreiteklasse > 8 bis ≤ 18 Mbit/s wiesen – wie auch in 2012 - die ländlichen Anschlüsse geringere Abweichungen von der vermarkteten Datenübertragungsrate auf als die halbstädtischen und städtischen Anschlüsse. Gründe hierfür sind bisher nicht ersichtlich.

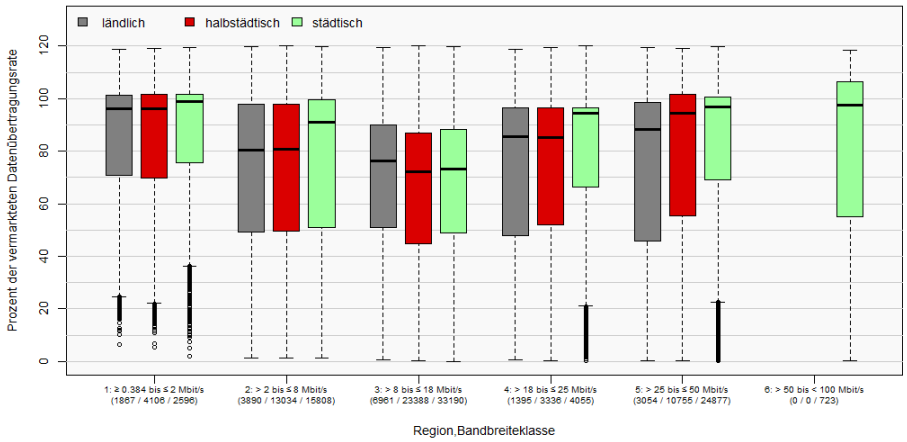

Abbildung 5.14: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geografischen Bereichen und Bandbreiteklassen

Tabelle 12: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten, und 95%-Konfidenzintervalle nach Bandbreiteklasse und Region

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate							
Bandbreite in Mbit/s	**Region**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
1: 0,384 bis ≤ 2	**ländlich**	83.8% [82.1-85.4]	78.8% [76.9-80.6]	75.5% [73.5-77.4]	65.9% [63.7-68]	59.5% [57.2-61.7]	37.2% [35-39.4]
	halbstädtisch	85.2% [84-86.2]	78.5% [77.2-79.7]	74.9% [73.5-76.2]	65.7% [64.3-67.2]	58.5% [56.9-59.9]	38.3% [36.9-39.8]
	städtisch	87.2% [85.9-88.5]	81.6% [80.1-83.1]	78% [76.4-79.6]	70.5% [68.7-72.2]	65.3% [63.5-67.1]	44% [42.1-45.9]
2: > 2 bis ≤ 8	**ländlich**	73.8% [72.4-75.2]	62.4% [60.8-63.9]	57.1% [55.6-58.7]	50.4% [48.8-51.9]	42.2% [40.7-43.8]	13.2% [12.1-14.3]
	halbstädtisch	74.1% [73.4-74.9]	62.6% [61.7-63.4]	56.9% [56.1-57.8]	50.6% [49.8-51.5]	41.8% [40.9-42.6]	14.3% [13.8-15]
	städtisch	79.9% [79.2-80.5]	71% [70.2-71.7]	65.4% [64.6-66.1]	58.9% [58.2-59.7]	51.1% [50.3-51.8]	23.6% [22.9-24.3]
3: > 8 bis ≤ 18	**ländlich**	75.2% [74.2-76.2]	69.2% [68.1-70.3]	58.8% [57.6-59.9]	43.6% [42.4-44.8]	25.1% [24.1-26.1]	3.1% [2.7-3.6]
	halbstädtisch	72.3% [71.7-72.8]	65.5% [64.8-66.1]	53.3% [52.6-53.9]	36.7% [36.1-37.4]	19.2% [18.7-19.7]	3.4% [3.2-3.6]
	städtisch	74.2% [73.8-74.7]	66.7% [66.2-67.2]	54.3% [53.8-54.8]	38.4% [37.9-38.9]	21.2% [20.8-21.7]	7.2% [6.9-7.5]
4: > 18 bis ≤ 25	**ländlich**	74.2% [71.8-76.4]	68.3% [65.8-70.7]	61.6% [59-64.1]	54.3% [51.7-56.9]	47.5% [44.8-50.1]	14.3% [12.5-16.2]
	halbstädtisch	76.2% [74.7-77.6]	68.7% [67.1-70.3]	61.9% [60.3-63.6]	54.6% [53-56.3]	46.2% [44.5-47.9]	15.5% [14.3-16.8]
	städtisch	84.4% [83.3-85.5]	79.6% [78.4-80.8]	72.9% [71.5-74.3]	67.5% [66-68.9]	57.7% [56.2-59.2]	11.7% [10.7-12.7]
5: > 25 bis ≤ 50	**ländlich**	71.3% [69.7-72.9]	66.6% [64.9-68.3]	61.6% [59.9-63.3]	56.2% [54.4-57.9]	48.5% [46.8-50.3]	16.5% [15.2-17.8]
	halbstädtisch	77.2% [76.4-78]	73% [72.2-73.9]	67.6% [66.7-68.5]	62.3% [61.4-63.2]	55.4% [54.4-56.3]	27.8% [26.9-28.6]
	städtisch	83.5% [83-84]	79.7% [79.2-80.2]	74.6% [74.1-75.1]	69.6% [69-70.1]	62.3% [61.6-62.9]	25.6% [25.1-26.2]
6: > 50 bis < 100	**städtisch**	78.4% [75.3-81.3]	72.6% [69.3-75.7]	68.6% [65.1-71.9]	64.7% [61.2-68.1]	56.6% [52.9-60.1]	43.8% [40.3-47.5]

Weniger auffällig sind hingegen auch in 2013 Unterschiede der geografischen Bereiche, wenn unterschiedliche Technologien betrachtet werden (Abbildung 5.15, Tabelle 13).

Für die lediglich für LTE-Anschlüsse festgestellten größeren Unterschiede zeichnet sich gegenüber der Studie 2012 ein Trend zur Verschiebung ab. Wohingegen 2012 die Unterschiede zwischen den städtischen Regionen einerseits und halbstädtischen bzw. ländlichen Gebieten andererseits bestanden, bestehen diese nun zwischen ländlichen Gebieten auf der einen Seite und halbstädtischen und städtischen Regionen auf der anderen Seite.

Es dehnte sich also der Bereich, in dem deutlich niedrigere Datenübertragungsraten erreicht wurden, von den Ballungszentren in halbstädtische Regionen aus.

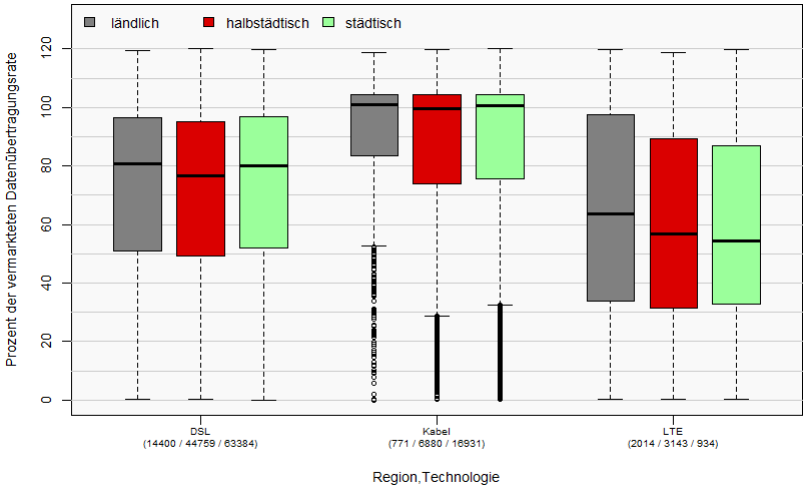

Abbildung 5.15: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geografischen Bereichen und Technologie

Tabelle 13: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten, und 95%-Konfidenzintervalle nach Technologie und Region

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate							
Technologie	**Region**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
DSL	**ländlich**	76.5% [75.8-77.2]	69.4% [68.7-70.2]	62% [61.2-62.8]	50.9% [50.1-51.8]	37.9% [37.1-38.7]	9.5% [9.1-10]
	halbstädtisch	74.3% [73.9-74.7]	66.4% [66-66.9]	57.6% [57.2-58.1]	45.8% [45.4-46.3]	32.7% [32.2-33.1]	9% [8.7-9.2]
	städtisch	77.5% [77.2-77.8]	70.4% [70.1-70.8]	61.4% [61-61.8]	50.1% [49.7-50.5]	37.1% [36.7-37.5]	8.8% [8.6-9.1]
Kabel	**ländlich**	89.2% [86.8-91.2]	86.6% [84.1-88.9]	81.6% [78.7-84.2]	77.4% [74.3-80.2]	70.4% [67.1-73.5]	52.7% [49.1-56.2]
	halbstädtisch	87.1% [86.3-87.9]	83% [82.1-83.8]	77.4% [76.4-78.4]	72.3% [71.2-73.3]	65.5% [64.4-66.7]	48.9% [47.7-50]
	städtisch	86.5% [86-87]	82.5% [82-83.1]	77.6% [77-78.2]	73% [72.3-73.6]	66.8% [66.1-67.5]	51.4% [50.7-52.2]
LTE	**ländlich**	59.2% [57.1-61.4]	51.9% [49.7-54.1]	45.4% [43.3-47.6]	38.4% [36.3-40.6]	32.2% [30.2-34.2]	17.4% [15.8-19.1]
	halbstädtisch	56.8% [55.1-58.5]	47.1% [45.3-48.8]	39.7% [38-41.4]	31.9% [30.3-33.6]	24.6% [23.1-26.1]	13.4% [12.2-14.6]
	städtisch	55.2% [52-58.4]	44.3% [41.2-47.5]	36.4% [33.4-39.5]	28.9% [26.1-31.9]	23.1% [20.5-25.9]	12.2% [10.3-14.5]

5.1.5 Kundenzufriedenheit

Die Teilnehmer haben im Rahmen der Studie vor Durchführung der Messung anhand von Schulnoten (1-6) angegeben, wie zufrieden sie mit ihrem Anbieter sind.

In Abbildung 5.16 sind die prozentual erreichten Datenübertragungsraten nach Kundenzufriedenheit im Boxplot dargestellt.

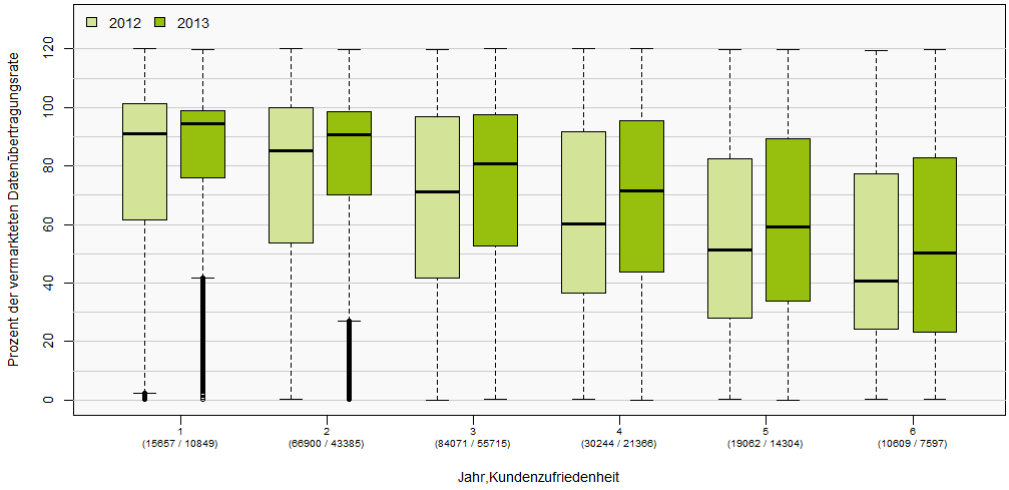

Abbildung 5.16: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach Kundenzufriedenheit (Noten 1="sehr gut" bis 6="ungenügend")

Tabelle 14: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten und 95% Konfidenzintervalle, nach Kundenzufriedenheit

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate						
Zufriedenheit	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
1	89.4% [88.8-89.9]	85.4% [84.7-86.1]	79.8% [79-80.5]	71.3% [70.5-72.2]	57.9% [57-58.9]	21.2% [20.4-22]
2	86.8% [86.5-87.1]	82% [81.7-82.4]	75% [74.6-75.4]	64.7% [64.3-65.2]	51.1% [50.6-51.6]	19.7% [19.3-20]
3	78.2% [77.9-78.6]	70.9% [70.5-71.3]	62% [61.6-62.4]	50.7% [50.3-51.2]	38.5% [38.1-38.9]	15.4% [15.1-15.7]
4	70% [69.4-70.6]	60.7% [60-61.3]	51.3% [50.6-52]	41.6% [40.9-42.3]	31.2% [30.6-31.8]	13.1% [12.6-13.5]
5	59.2% [58.4-60]	49.6% [48.8-50.4]	41.1% [40.3-42]	32.1% [31.3-32.9]	24.5% [23.8-25.2]	10.3% [9.9-10.8]
6	50.5% [49.4-51.6]	42.9% [41.8-44]	34.6% [33.5-35.7]	26.5% [25.6-27.6]	19.6% [18.7-20.5]	8.8% [8.2-9.5]

Im Boxplot ist gut zu erkennen, dass die Kundenzufriedenheit offenbar direkt mit den prozentual erreichten Datenübertragungsraten zusammenhängt. Je schlechter die prozentual erreichte Datenübertragungsrate gemessen wurde, desto schlechter wurde auch der Anbieter bewertet. Damit zeigt sich, dass auch in 2013 die „Liefertreue" ein wichtiger Parameter für die Kundenzufriedenheit ist.

Die überwiegende Anzahl der Teilnehmer bewertete ihren Anbieter positiv. Es haben also nicht nur unzufriedene Kunden teilgenommen. Dies spricht gegen eine Verzerrung der Stichprobe in diese Richtung.

Gegenüber der Stichprobe von 2012 ist die Zufriedenheit leicht gesunken – obwohl die Lieferqualität gestiegen ist (vgl. Abbildung 5.17).

Dies könnte durch eine höhere Sensibilisierung der Kunden, z. B. auch durch das Medieninteresse an der Studie 2012, hindeuten.

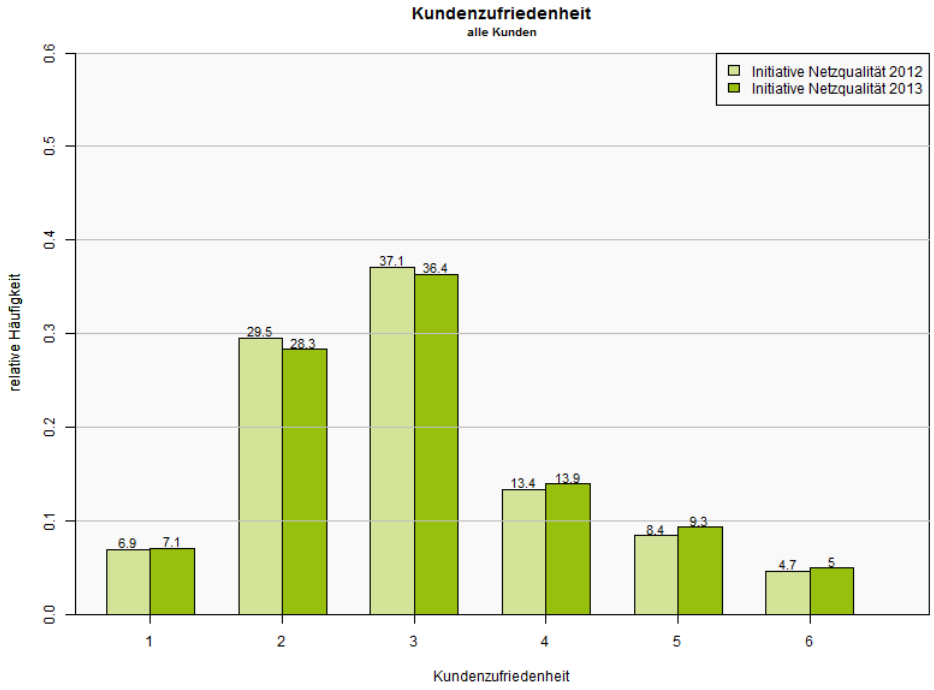

Abbildung 5.17: Häufigkeiten der Kundenzufriedenheit aller Kunden

Wie bereits in 2012 beobachtet, scheinen Kunden mit höherer vermarkteter Datenübertragungsrate tendenziell zufriedener mit ihrem Anbieter zu sein als solche mit geringen vermarkteten Übertragungsraten. Dieser Effekt lässt sich auch bei separater Betrachtung der Technologien

DSL bzw. LTE feststellen, während bei Kabelkunden keine eindeutige Abhängigkeit der Kundenzufriedenheit von der vermarkteten Bandbreiteklasse erkennbar ist.

Die Korrelation zwischen Kundenzufriedenheit und gemessenen prozentual erreichten Übertragungsraten bleibt wie in 2012 bei einer Differenzierung nach Technologie und nach Bandbreiteklassen erhalten. Obwohl die Kunden der unteren Bandbreiteklassen also generell unzufriedener sind als die der höheren Klassen, sind innerhalb einer bestimmten Klasse die Kunden umso zufriedener, je größer die gemessene prozentual erreichte Datenübertragungsrate ist.

5.1.6 Upload

Breitbandanschlüsse des Massenmarktes, die über xDSL-, Kabel- oder LTE-Technologien realisiert werden, weisen regelmäßig ein asymmetrisches Verhältnis zwischen der Datenübertragungsrate auf, die jeweils im Download und im Upload möglich ist. Daher entspricht die Datenübertragungsrate im Upload sehr häufig nur einem Teil der vermarkteten Downloadrate.

Da die Datenübertragungsrate im Upload nicht abgefragt wurde und nicht immer Gegenstand der beworbenen Produkte ist, ist eine Darstellung der prozentual erreichten Datenübertragungsrate im Vergleich zu der für den Upload vermarkteten Datenübertragungsrate nicht immer möglich.

Im Folgenden wurde daher allgemein betrachtet, in welchem Verhältnis die gemessenen Datenübertragungsraten in Upload und Download typischerweise in den verschiedenen Technologien und Bandbreiteklassen stehen.

Deshalb werden die gemessenen Datenübertragungsraten im Upload ebenfalls in Prozent der vermarkteten *Download*-Datenübertragungsrate dargestellt.

Die stärkste Asymmetrie besteht bei Kabelanschlüssen. Hier erhalten nur 56,5% der Nutzer eine *Upload*-Datenübertragungsrate von mindestens 5% und 0,5% mindestens 15% der vermarkteten *Download*-Datenübertragungsrate (siehe Tabelle 15).

Demgegenüber wurden bei DSL-Anschlüssen im Upload mindestens 5% der vermarkteten *Download*-Datenübertragungsrate bei 80,8% der Nutzer gemessen und 15% bei 19,3% (2012: 11,8%) der Nutzer.

Bei stationären LTE-Anschlüssen wurde dieser 5% Wert von 80,6% und der 15% Wert von 54,4% (2012:50,1%) der Nutzer erreicht.

Gegenüber der Studie 2012 sind die Werte im Kabelbereich nahezu konstant geblieben, wohingegen sich Werte für DSL- und stationäre LTE-Anschlüsse leicht erhöhten.

Tabelle 15: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten *Download*-Datenübertragungsrate im Upload erhalten und 95%-Konfidenzintervalle nach Technologien

Verhältnis der Upload-Datenübertragungsrate zur vermarkteten Download-Datenübertragungsrate in Prozent						
Technologie	**5%**	**10%**	**15%**	**20%**	**25%**	**30%**
DSL	80.8% [80.5-81]	27.3% [27.1-27.6]	19.3% [19.1-19.6]	2% [2-2.1]	1.2% [1.2-1.3]	0.8% [0.7-0.8]
Kabel	56.5% [55.8-57.1]	1.6% [1.4-1.7]	0.5% [0.4-0.6]	0.2% [0.1-0.2]	0.1% [0.1-0.1]	0.1% [0-0.1]
LTE	80.6% [79.5-81.5]	60.9% [59.7-62.2]	54.2% [52.9-55.4]	36.3% [35-37.5]	17.8% [16.9-18.8]	5.8% [5.2-6.4]

5.2 Sonderuntersuchungen

5.2.1 Synchronisierte Datenrate der Leitung

Für 34.051 Nutzer (22,2%) der Stichprobe wurde im Rahmen der Messung auch die synchronisierte Datenrate der Leitung ausgelesen, um die von den Nutzern angegebenen vermarkteten Datenübertragungsraten mit den synchronisierten Datenraten der Leitung zu vergleichen. Möglich war dies nur für Nutzer, die Geräte einer Teilgruppe von Herstellern einsetzen.

Hierzu sind in Abbildung 5.18 die Häufigkeiten der synchronisierten Datenraten der Leitung für die am häufigsten vorkommenden vermarkteten Datenübertragungsraten im Histogramm dargestellt.

Übergreifend zeigt sich wie bereits in 2012, dass die Gipfel der Verteilungen der synchronisierten Datenraten im Bereich der von den Kunden angegebenen vermarkteten Datenübertragungsraten liegen.

Die weiteren Beobachtungen lassen sich aufgrund der jeweils zugrunde liegenden Technologie interpretieren.

Die hier mit den vermarkteten Datenübertragungsraten 32 Mbit/s und 64 Mbit/s betrachteten Anschlüsse sind fast ausschließlich in Kabel-Technologie realisiert. Hier ist bei einem Großteil der Kunden die synchronisierte Datenrate der Leitung mindestens gleich der vermarkteten Datenübertragungsrate. Für 32 Mbit/s Anschlüsse liegt dieser Anteil z. B. bei 99,2% (2012: 99,5%).

Bei den Bandbreiten 25 Mbit/s, 35 Mbit/s und 50 Mbit/s handelt es sich überwiegend um VDSL-Anschlüsse. Auch hier ist ein sehr hoher Anteil mit der vermarkteten Datenübertragungsrate oder höher synchronisiert.

Die Bandbreiten 18 Mbit/s und kleiner sind zum überwiegenden Teil in ADSL-Technologie realisiert. In diesem Bereich zeigen sich synchronisierte Datenraten, die für einen hohen Prozentsatz der Endkunden unterhalb der vermarkteten Datenübertragungsraten – und damit unterhalb der in den „Bis-zu" Verträgen genannten Werte - liegen. Bei den 6 Mbit/s-Anschlüssen erhielten nur 60,2% der Kunden tatsächlich eine synchronisierte Datenrate der Leitung von 6 Mbit/s oder mehr (2012: 57,1%), bei den 18 Mbit/s-Anschlüssen liegt der Anteil sogar nur bei 16,64 (2012: 23,2%).

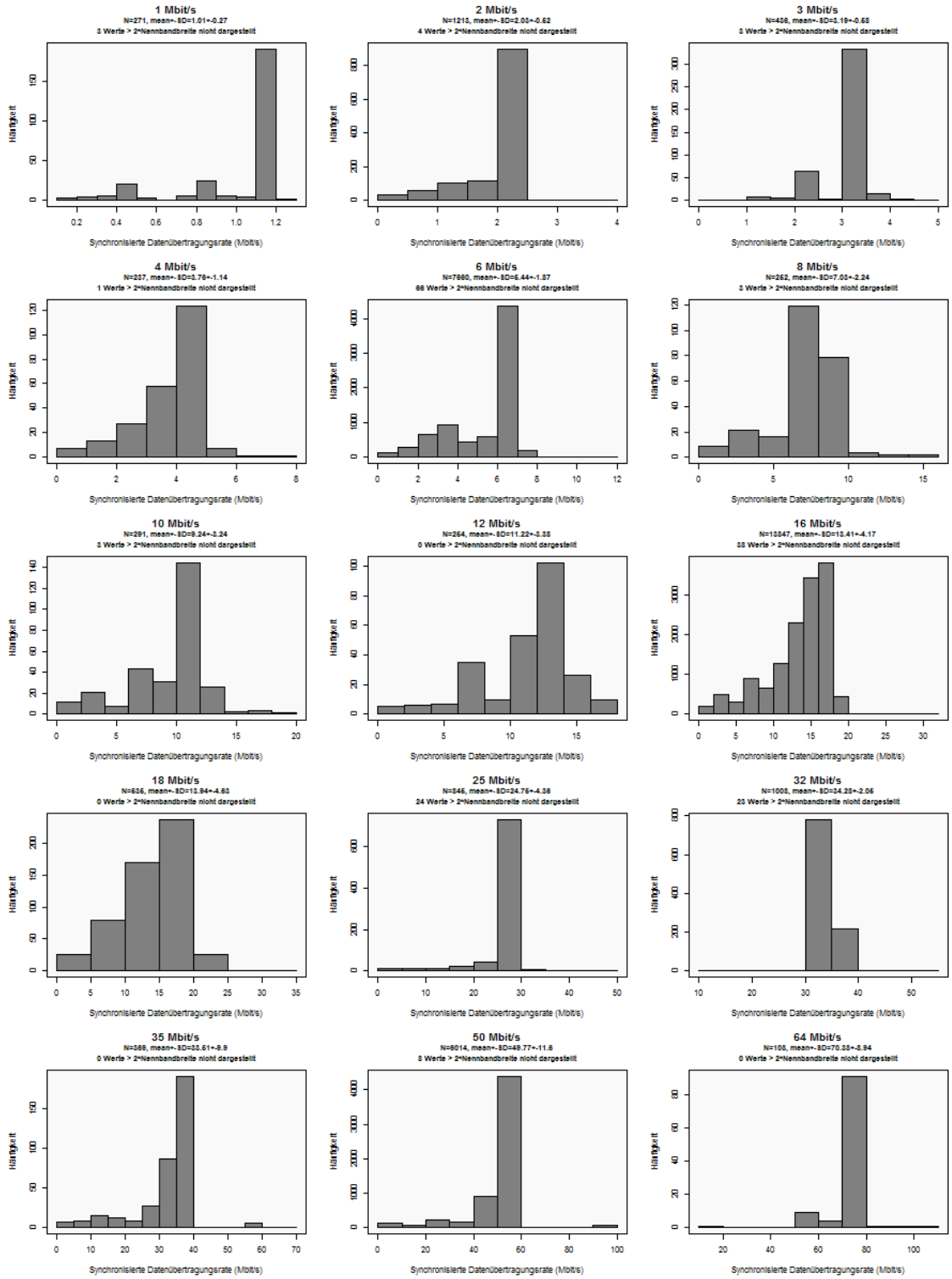

Abbildung 5.18: Häufigkeiten der synchronisierten Datenraten für die 15 häufigsten vermarkteten Datenübertragungsraten (Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden in Übereinstimmung mit der Auswertung der Daten aus 2012 statt der 20 Mbit/s-Anschlüsse die 64 Mbit/s-Anschlüsse in der Grafik gezeigt.)

5.2.2 Zur Messung genutzte Router Schnittstellen

In der Untersuchung einer anderen Untergruppe wurden 3.294 Messungen (2,2%) betrachtet, für die die genutzten Schnittstellen (WLAN/ LAN) durch Auslesen von Werten ermittelt werden konnte. Außerdem wurden auch hier nur Messungen betrachtet, die laut Nutzerangabe in einer „Optimalen Testumgebung" durchgeführt wurden.

Dabei stellte sich heraus, dass 9% der Nutzer dieser Untersuchung trotz Angabe einer optimalen Testumgebung über WLAN gemessen haben.

Bei dieser Unterstichprobe handelt es sich um eine nicht-zufällige Untergruppe der Gesamtstichprobe. Eine Übertragung des ermittelten Anteils an Teilnehmern, die trotz Angabe einer optimalen Testumgebung die Messung über WLAN durchgeführt haben, auf die Gesamtstichprobe ist deswegen nicht direkt möglich. Es erscheint jedoch sehr wahrscheinlich, dass auch unter den Kunden, die andere Modems/Router nutzen, ein vergleichbarer Anteil tatsächlich über WLAN gemessen hat.

Es lassen sich innerhalb der Untergruppe die Datenübertragungsraten, die über LAN gemessen wurden mit denjenigen vergleichen, die tatsächlich über WLAN erfolgten.

Messungen über WLAN erzielten insbesondere im mittleren Bereich der Anteile der vermarkteten Datenübertragungsrate schlechtere Ergebnisse als die über LAN durchgeführten Messungen. Die Differenz beträgt bei 70% der vermarkteten Datenübertragungsrate 8,9 Prozentpunkte. (siehe Abbildung 5.19).

Mindestens 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate wurde in 82,5% der über LAN durchgeführten und 77,2% der über WLAN durchgeführten Messungen erreicht.

Die volle vermarktete Datenübertragungsrate wurde in 30,3% der Messungen über LAN und 25,5% der Messungen über WLAN erzielt.

Es ist jedoch nicht möglich, den Einfluss des WLAN auf das Messergebnis exakt zu quantifizieren und herauszurechnen, weil kein Messwert des jeweiligen Anschlusses in einer tatsächlich optimalen Messumgebung vorliegt.

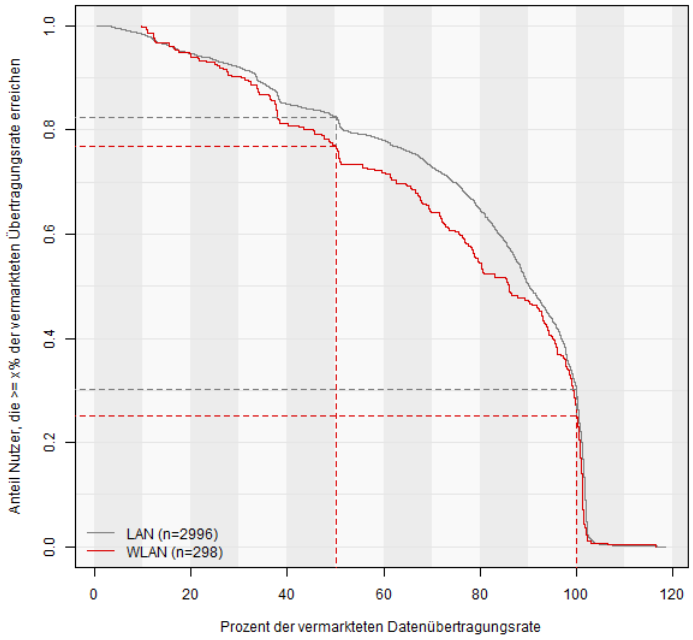

Abbildung 5.19: Empirische Verteilungsfunktionen der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für die Teilstichprobe bei Messung über LAN und WLAN[27]

[27] Die Breite der berechneten Konfidenzintervalle liegt für die WLAN-Gruppe aufgrund des geringen Stichprobenumfangs zwischen 9,5 und 11,3 Prozentpunkten.

5.2.3 Paralleler Datenverkehr

In der Untersuchung dieser Untergruppe wurde zudem der Traffic Counter der Schnittstellen getrennt für Sende- und Empfangsrichtung (Byte oder Paket Zähler) ausgelesen. Dadurch kann parallel zur Messung ablaufender Datenverkehr z. B. durch im Hintergrund laufende Applikationen oder weitere auf den Modem/ Router zugreifende Endgeräte erkannt und dann bei der Berechnung der Datenübertragungsrate berücksichtigt werden.

Zu Beginn und nach Abschluss der Messung wird über den Traffic Counter die über die WAN-Schnittstelle übertragene Datenmenge ermittelt. Der Auslesevorgang erfolgte ausschließlich über die LAN-Schnittstelle zwischen Endkunden PC und Modem/Router. Die Differenz zwischen dem Wert am Ende der Messung und dem Wert zu Beginn der Messung ergibt die im Messzeitraum über die WAN-Schnittstelle übertragene Datenmenge. Diese Datenmenge enthält sowohl die zwischen Softwareapplikation und Daten-Referenz-System im Rahmen der Messung ausgetauschten Daten als auch ggf. parallel ablaufenden Datenverkehr. Die Berechnung der Datenübertragungsrate kann dann aus dem Gesamtvolumen inklusive des parallelen Datenverkehrs erfolgen.

Es konnte festgestellt werden, dass bei allen Messungen paralleler Datenverkehr stattfand, wenn auch bei den meisten Teilnehmern mit sehr geringem Anteil (siehe Tabelle 16).

Bei über der Hälfte der Messungen in der Untergruppe lag der Anteil des parallelen Datenverkehr an der gesamten über die WAN-Schnittstelle übertragenen Datenmenge unter 1%, bei 90% unter 4%. Er lässt sich jedoch genau quantifizieren und berücksichtigen.

Tabelle 16: Häufigkeit verschiedener Anteile des parallelen Datenverkehrs

Anteil paralleler Datenverkehr								
Häufigkeit	≥ 0% bis < 1%	≥ 1% bis < 2%	≥ 2% bis < 3%	≥ 3% bis < 4%	≥ 4% bis < 5%	≥ 5% bis < 6%	≥ 6% bis < 7%	≥ 7% bis < 8%
N	1820	843	230	94	58	33	31	35
Prozent	55,3%	25,6%	7,0%	2,9%	1,8%	1,0%	0,9%	1,1%
Häufigkeit	≥ 8% bis < 9%	≥ 9% bis < 10%	≥ 10% bis < 20%	≥ 20% bis < 30%	≥ 30% bis < 40%	≥ 40% bis < 50%	≥ 50% bis < 100%	Gesamt
N	14	18	76	21	12	5	4	3294
Prozent	0,4%	0,5%	2,3%	0,6%	0,4%	0,2%	0,1%	100,0%

In Abbildung 5.20 ist die Verteilung der gemessenen Datenübertragungsraten der Verteilung der korrigierten Datenübertragungsraten gegenüber gestellt. Die Korrektur wirkt sich vor allem im Bereich höherer erreichter prozentualer Datenübertragungsraten aus.

Für mindestens 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate wurde ohne Berücksichtigung des parallel zur Messung ablaufenden Datenverkehrs ein Wert von 82,1% ermittelt. Unter Berücksichtigung des gesamten Datenverkehrs ergaben sich 82,9%. Der Unterschied ist mit 0,8 Prozentpunkten nur gering.

Die volle vermarktete Datenübertragungsrate wurde ohne Einbeziehung des parallelen Datenverkehrs in 29,9% der Messungen und unter Berücksichtigung des gesamten Datenverkehrs in 35,7% der Messungen erzielt. Damit lag der Unterschied mit 5,8 Prozentpunkten merkbar höher.

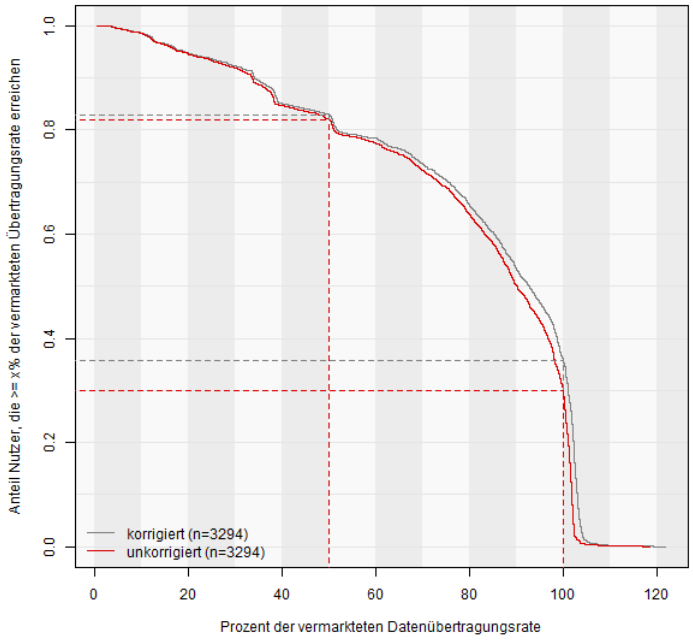

Abbildung 5.20: Empirische Verteilungsfunktionen der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für die Teilstichprobe mit und ohne Berücksichtigung des parallelen Datenverkehrs

5.3 Datenübertragungsrate zu verschiedenen Zeiten des Tages (Messplattform)

Die zeitliche Verteilung der Datenübertragungsraten wurde mit Hilfe der deutschlandweiten Messplattform untersucht. Bei den hier zugeführten Anschlüssen handelte es sich um die hochwertigsten Anschlüsse, die an diesen innerstädtischen, gut von den Anbietern erschlossenen Standorten verfügbar waren. Die sehr hohen prozentual erreichten Datenübertragungsraten sind begründet durch die großenteils unmittelbare Nähe der Plattformstandorte zum Hauptverteiler, Outdoor-DSLAM oder CMTS der Anbieter.

Die Messungen erfolgten im Messzeitraum sieben Tage pro Woche an jeweils 23 Stunden. Dargestellt ist der Mittelwert über alle Messungen zur entsprechenden Stunde bezogen auf die vermarktete Datenübertragungsrate des jeweiligen Anschlusses.

Download

Bei DSL-Anschlüssen wurde wie in 2012 keine Abhängigkeit der Datenübertragungsrate im Download von der Tageszeit festgestellt (vgl. Abbildung 5.21).

Im Gegensatz dazu zeigten Kabelanschlüsse die bereits in 2012 beobachtete leichte Verringerung der Download-Datenübertragungsrate in den Abendstunden, in denen mehr Endbenutzer auf das Internet zugreifen. Abends sank die gemessene Datenübertragungsrate jeweils um bis zu 10% ab. Als Ursache kommt die Nutzung von Ressourcen durch mehrere Endkunden (Shared Medium) in Betracht. Ein ähnlicher Effekt zeigte sich bei den stationären LTE-Anschlüssen. Zusätzlich wurde hier – vermutlich bedingt durch nächtliche Wartungsarbeiten - eine Verringerung der Datenübertragungsrate zwischen 05:00 Uhr und 06:00 Uhr festgestellt.

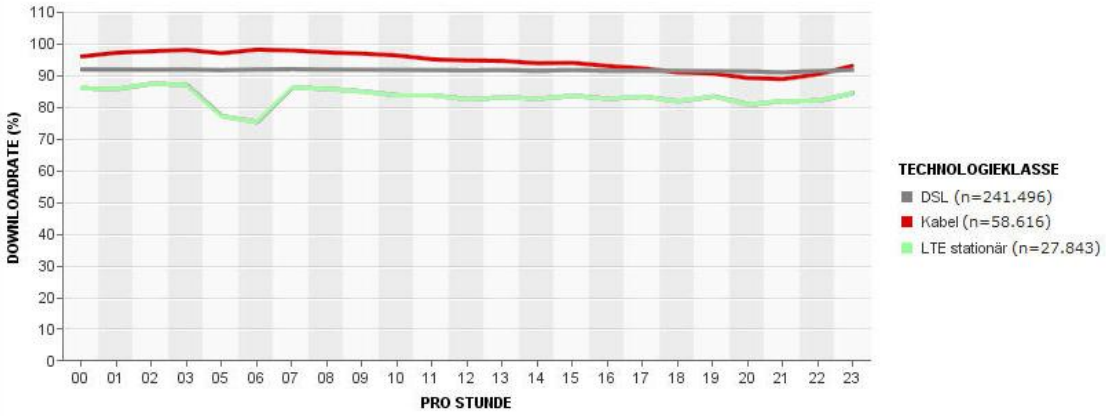

Abbildung 5.21: Zeitliche Verteilung der Download-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Download-Datenübertragungsrate nach Technologie

Die Untersuchung nach Bandbreiteklassen (Abbildung 5.22) ergab, dass eine nahezu tageszeitunabhängige Verteilung vorliegt. Eine Ausnahme bildete die Bandbreiteklasse > 50 Mbit/s. Die Verringerung der Download-Datenübertragungsrate in den Abendstunden ist hier durch den hohen Anteil an Kabel- und LTE-Anschlüssen zu erklären.

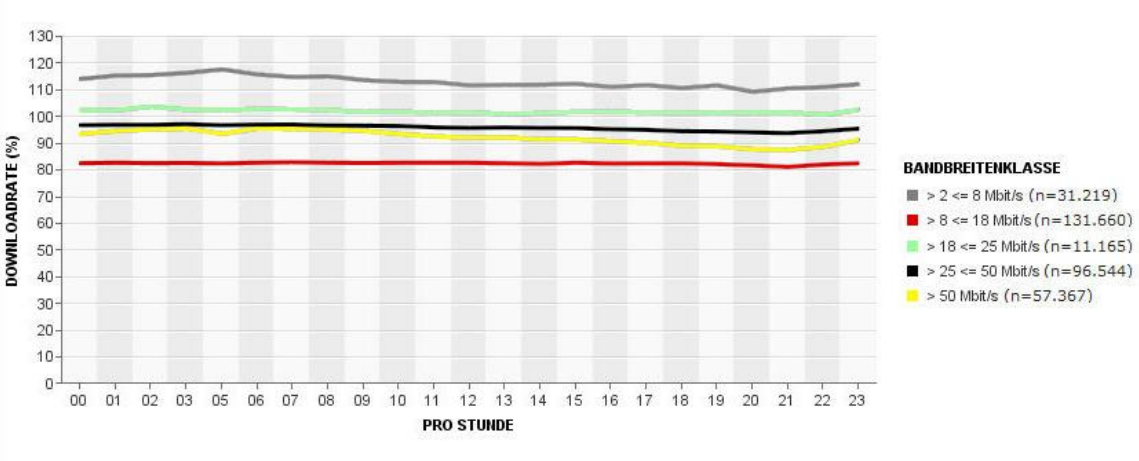

Abbildung 5.22: Zeitliche Verteilung der Download-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Download-Datenübertragungsrate nach Bandbreitenklasse

Upload

Im Falle des Upload zeigte sich keine Verringerung der Upload-Datenübertragungsrate in den Abendstunden (vgl. Abbildung 5.23).

Der geringere Einfluss der Tageszeit kann wie in der Studie 2012 dadurch erklärt werden, dass die an Endkunden typischerweise vermarkteten Upload-Datenübertragungsraten relativ niedrig sind.

Abbildung 5.23: Zeitliche Verteilung der Upload-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Upload-Datenübertragungsrate nach Technologie

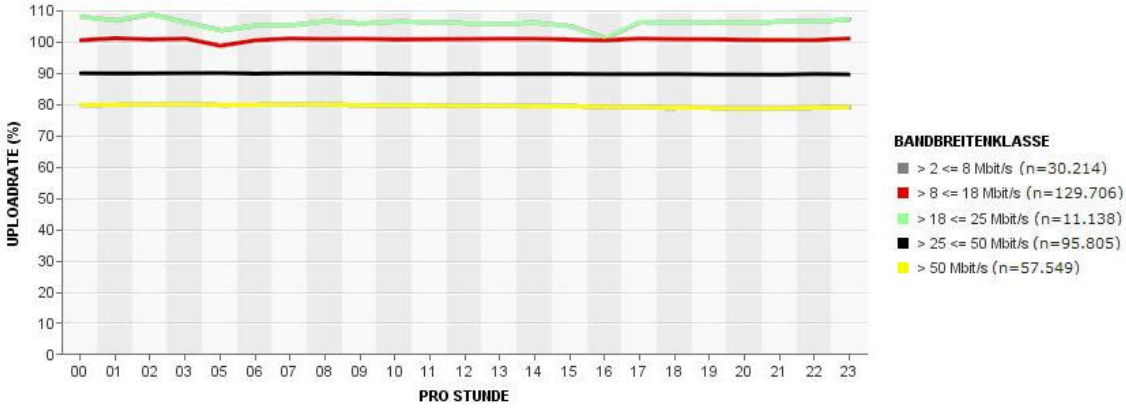

Abbildung 5.24: Zeitliche Verteilung der Upload-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Upload-Datenübertragungsrate nach Bandbreiteklasse

5.4 Laufzeiten (Messplattform)

Die Laufzeitmessungen erfolgten auf der deutschlandweiten Messplattform.

Mit dem hier dargestellten Laufzeit-Mittelwert wird die mittlere Antwortzeit aller 30 Einzel-Laufzeiten der im Rahmen einer Laufzeitmessung betrachteten Pakete angegeben.

Dabei ergab sich für DSL-Anschlüsse ein Wert von 18,52 Millisekunden. Kabelanschlüsse schnitten mit 16,55 Millisekunden besser ab (s. Tabelle 17). Die Laufzeiten stationärer LTE-Anschlüsse lagen mit 39,78 Millisekunden deutlich darüber. Gegenüber der Studie 2012 haben sich die für DSL- (2012: 23,68 ms) und stationäre LTE-Anschlüsse (2012: 44,80 ms) ermittelten Werte verbessert, wohingegen die bei Kabelanschlüssen (2012: 15,17 ms) gemessenen Laufzeiten etwas höher als im Vorjahr lagen.

Tabelle 17: Laufzeiten nach Technologie

Laufzeit		
Technologie	**N**	**Mittelwert**
DSL	230.263	18,52 ms
Kabel	57.088	16,55 ms
LTE stationär	31.398	39,78 ms

Über den Tagesverlauf betrachtet (Abbildung 5.25) stellte sich ein ähnliches Bild wie 2012 dar. Die gemessenen Laufzeiten von DSL-Anschlüssen blieben nahezu konstant. In den Abendstunden wurde eine Zunahme um bis zu ca. 3% beobachtet. Die Laufzeiten von Kabelanschlüssen lagen über den gesamten Tagesverlauf unter denen von DSL-Anschlüssen und wiesen in den Abendstunden etwas höhere Werte auf (bis zu ca. 10%).

Abbildung 5.25: Zeitliche Verteilung der Laufzeit über Stunden nach Technologie

In der Analyse nach Bandbreiteklassen (Tabelle 18) zeigte sich, dass die Abhängigkeit der Laufzeit von der Bandbreitenklasse für DSL Anschlüsse relativ gering war. Bei den Kabelanschlüssen verringerte sich die Laufzeit von 21,34 ms bei > 25 bis ≤50 Mbit/s auf 15,96 in der Klasse > 50 Mbit/s.

Bei stationären LTE-Anschlüssen wurde keine klare Abhängigkeit von der Bandbreitenklasse festgestellt. Gründe hierfür sind bisher nicht ersichtlich.

Tabelle 18: Laufzeit nach Bandbreiteklassen

Laufzeit			
Technologie	**Bandbreite in Mbit/s**	**N**	**Mittelwert**
DSL	2: > 2 bis ≤ 8	18.405	17,83 ms
	3: > 8 bis ≤ 18	121.728	18,78 ms
	4: > 18 bis ≤ 25	3.833	20,84 ms
	5: > 25 bis ≤ 50	86.297	18,21 ms
Kabel	5: > 25 bis ≤ 50	6.344	21,34 ms
	6: > 50	50.744	15,96 ms
LTE	2: > 2 bis ≤ 8	10.920	36,37 ms
	3: > 8 bis ≤ 18	4.193	47,48 ms
	4: > 18 bis ≤ 25	8.249	44,20 ms
	5: > 25 bis ≤ 50	1.789	46,46 ms
	6: > 50	6.247	32,67 ms

5.5 Web Browsing (Messplattform)

Auf der deutschlandweiten Messplattform wurde das Szenario Web Browsing untersucht. Darin werden die ersten zehn der laut Alexa Top Site Listing am häufigsten aufgerufenen Webseiten aufgerufen, um ein typisches Nutzerverhalten nachzubilden (vgl. 2.3).

Gemessen wurden dabei die Zeiten für verschiedene Phasen des Seitenaufrufes:

- Die *DNS-Antwortzeit* ist dabei die Zeit für die Auflösung des Hostnamens in die zugehörige IP Adresse
- Die *HTTP-Antwortzeit* bezeichnet die zur Initialisierung der HTTP Verbindungen zu den Webseiten benötigte Zeit
- Schließlich wurde übergreifend die zum vollständigen Download der Alexa Top 10 Webseiten erforderliche Zeit als *Webseiten-Downloadzeit* gemessen.

In Tabelle 19 sind diese Zeiten für verschiedene Anschlusstechnologien dargestellt[28]. Kabelanschlüsse lieferten dabei in den Bereichen HTTP-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit geringfügig bessere Werte als DSL-Anschlüsse.

Tabelle 19: DNS-Antwortzeit, HTTP-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit im Szenario Web Browsing nach Technologie für stationäre Breitbandanschlüsse

Web Browsing				
Technologie	**N**	**DNS Antwortzeit**	**HTTP Antwortzeit**	**Webseiten Downloadzeit**
DSL	2.415.307	32,89 ms	51,65 ms	4,64 s
Kabel	617.801	40,80 ms	49,27 ms	4,49 s

[28] Zugunsten der Anzahl der Messungen zur zeitlichen Verteilung der Datenübertragungsraten und der Laufzeit wurde für stationäre LTE-Anschlüsse in der Studie 2013 im Hinblick auf das zur Verfügung stehende Datenvolumen auf das Szenario Web Browsing verzichtet.

Betrachtet man die Zeiten nach Bandbreiteklassen (Tabelle 20) so ließ sich - wie auch in 2012 - feststellen, dass bei den untersuchten Anschlüssen die Webseiten-Downloadzeit nur in sehr geringem Maße von der Datenübertragungsrate der Anschlüsse abhing. Die gemessenen Werte für den vollständigen Download der Alexa Top 10 fielen bei DSL-Anschüssen von 4,78 Sekunden in Bandbreiteklasse > 2 bis ≤8 Mbit/s bis hin zu 4,57 Sekunden in der Bandbreiteklasse > 25 bis ≤50 MBit/s. Bei Kabelanschlüssen fielen die Werte von 4,81 Sekunden in der Bandbreiteklasse > 25 bis ≤50 MBit/s auf 4,45 Sekunden in der Bandbreiteklasse > 50 MBit/s.

Das für die Darstellung der Webseiten zu übertragende Datenvolumen ist relativ gering. Als bestimmende Faktoren für die Downloadzeit können dann eher anschlussunabhängige Parameter wie Infrastrukturen zur Lieferung von Inhalten im Netz (Content Delivery Networks) oder Infrastrukturen beim Hosting der Inhalte zum Tragen kommen.

Tabelle 20: DNS-Antwortzeit, http-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit im Szenario Web Browsing nach Bandbreiteklassen für stationäre Breitbandanschlüsse

Web Browsing					
Technologie	**Bandbreite**	**N**	**DNS Antwortzeit**	**HTTP Antwortzeit**	**Webseiten Downloadzeit**
DSL	**2: > 2 bis ≤ 8**	228.368	34,32 ms	52,32 ms	4,78 s
	3: > 8 bis ≤ 18	1.232.717	29,76 ms	52,46 ms	4,66 s
	4: > 18 bis ≤ 25	35.139	58,43 ms	49,91 ms	4,59 s
	5: > 25 bis ≤ 50	919.083	35,77 ms	50,48 ms	4,57 s
Kabel	**5: > 25 bis ≤ 50**	73.368	33,90 ms	48,72 ms	4,81 s
	6: > 50	544.433	41,73 ms	49,34 ms	4,45 s

Für die folgende Darstellung des zeitlichen Verlaufes der Webseiten-Downloadzeit wurde eine Webseite mit komplexen Inhalten aus der Alexa Top 10 Liste ausgewählt, da zum vollständigen Laden der Webseite dadurch mehr Interaktionen notwendig sind. Es wurde eine andere Website als in der Studie 2012 ausgewählt, da die dort betrachtete nicht mehr in den Alexa Top 10 vertreten war.

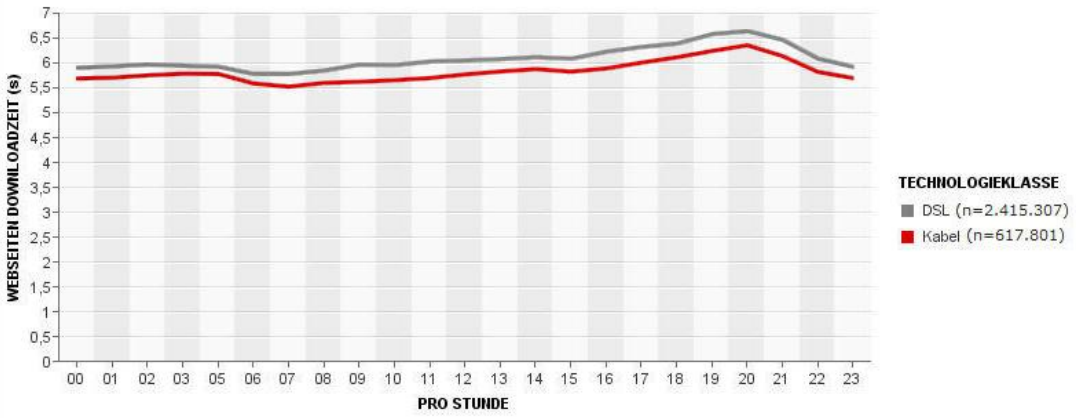

Abbildung 5.26: Zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit über Stunden nach Technologie für eine Webseite mit komplexen Inhalten

Die zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit wies wie in der Studie 2012 eine Verschlechterung der Werte um ca. bis zu 15% in den Abendstunden auf. Dieser Effekt trat sowohl für DSL- als auch für Kabelanschlüsse auf (vgl. Abbildung 5.26) und war für alle Bandbreiteklassen sichtbar (vgl. Abbildung 5.27).

Möglicher Grund könnte die erhöhte Last auf den Infrastrukturen zur Lieferung von Inhalten im Netz oder beim Hosting durch vermehrte Zugriffe in den Abendstunden sein.

Im Szenario Web Browsing wird bewusst das Verhalten der Gegenstelle in die Messung einbezogen, um die Leistungsfähigkeit bzgl. Darstellung von Web-Inhalten zu untersuchen. Der hier dargestellte Messwert ist deshalb zu unterscheiden von der zeitlichen Verteilung der gemessenen Datenübertragungsraten, wie sie in 5.3 untersucht wird. Die dortige Messung erfolgt unter dem Aspekt der vollständigen Auslastung des Übertragungskanals über einen hinreichenden Zeitraum zur Feststellung der Datenübertragungsrate des Anschlusses. Dabei ist auch die Gegenstelle der Messung (Daten-Referenz-System) unter Kontrolle und so ausgelegt, dass keine Beeinflussung durch deren potenzielle Überlastung besteht.

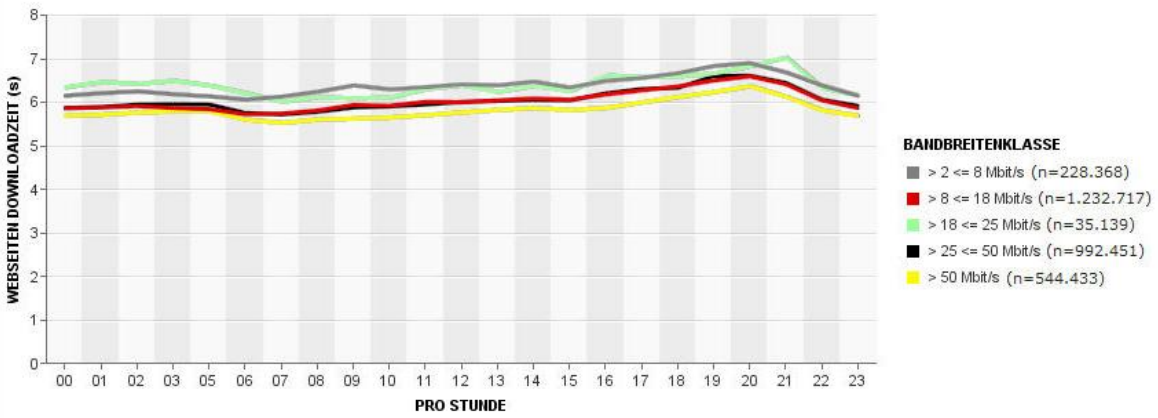

Abbildung 5.27: Zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit über Stunden nach Bandbreiteklasse für eine Webseite mit komplexen Inhalten

6 Glossar

Anbieter
Partei, mit der der Endkunde einen Vertrag über die Bereitstellung eines Internet-Zugangs abgeschlossen hat.

„Bis zu"-Bandbreite
Häufig unterschreitet die in der praktischen Nutzung erzielte Datenübertragungsrate eines Internetzugangs die vermarktete Datenübertragungsrate. Das kann von verschiedenen Faktoren abhängen, z B. von der Länge der Anschlussleitung, davon, wie viele Nutzer zeitgleich die Leitung nutzen, oder aber auch von den Modem-Einstellungen. In vielen Telekommunikationsverträgen werden deshalb keine festen Datenübertragungsraten garantiert, sondern nur Geschwindigkeiten "bis zu" einer bestimmten Grenze versprochen. Dabei bleibt oft unklar, wie stark die tatsächlich erreichbare Datenübertragungsrate von der maximal versprochenen abweichen kann.

CMTS
Ein Cable Modem Termination System (kurz: CMTS) ist eine Komponente, die sich in der Regel in einer Kabelkopfstelle (Headend) befindet und High Speed Datendienste wie Internet oder Voice over Cable dem Kabelnutzer zur Verfügung stellt.

Datenübertragungsrate
Geschwindigkeit, mit der Daten über eine (Breitband-) Verbindung übertragen werden. Gemessen in Megabit pro Sekunde (Mbit/s) Die Beschreibung des im Rahmen der Studie eingesetzten Messverfahrens für die Datenübertragungsrate befindet sich in 2.1.1.

Deutschlandweite Messplattform
Im Rahmen der Studie eingesetztes Messkonzept, dass auf in 2.1.2.1 beschrieben ist.

DNS
Domain Name System - Hierarchischer Verzeichnisdienst im Internet zur Verwaltung des Namensraums, d.h. zur Beantwortung von Anfragen zur Namensauflösung in IP-Adressen.

Download/Downstream
Übertragungsrichtung vom Netz hin zur Endkundeneinrichtung.

DSL
Digital Subscriber Line (DSL, xDSL) - Digitale Breitband-Verbindungen für Teilnehmeranschlüsse über einfache Kupferleitungen des herkömmlichen Telefonnetzes. Ausprägungen von xDSL sind ADSL (asymmetric digital subscriber line), HDSL (high data rate digital subscriber line) und VDSL (very high data rate digital subscriber line).

DSLAM
Ein Digital Subscriber Line Access Multiplexer (engl. „DSL-Zugangskonzentrator"), kurz DSLAM, ist ein Teil der für den Betrieb von DSL benötigten Infrastruktur.

Endgerät
Technisches Gerät, das durch den Endkunden zur Nutzung des Internetzugangs verwendet wird. Es kann unmittelbar an die Endkunden-Schnittstelle (Dienstzugang) angeschlossen sein oder aber über eine Endkundeninfrastruktur mit dieser verbunden sein.

Endkunde
Partei, die einen Vertrag mit einem Anbieter über die Bereitstellung des Internet-Zugangs abgeschlossen hat. Im Sinne dieses Dokuments gelten Telekommunikationsdienstanbieter, die ihrerseits Telekommunikationsdienstleistungen von anderen Dienstanbietern beziehen, nicht als Endkunden.

Endkundeninfrastruktur
Gesamtheit der Systeme und Einrichtungen auf der Endkundenseite, die zur Nutzung einer Telekommunikation über eine TK-Infrastruktur benutzt werden.

Endnutzer
Partei, die einen Vertrag mit einem Anbieter über die Bereitstellung des Internet-Zugangs abgeschlossen hat.
Wird in diesem Dokument gleichbedeutend mit dem Begriff **Endkunde** nach DIN 66274 verwendet.

ETSI
European Telecommunications Standards Institute - Gemeinnütziges Institut zur Schaffung von europaweit einheitlichen Standards im Telekommunikationsbereich.

FTP
File Transfer Protocol - Protokoll der ISO/OSI-Anwendungsschicht zur Übertragung von Dateien über IP-Netze.

FTTB
Fibre to the Building – Glasfaser bis an das Gebäude, weitere Verteilung im Gebäude mit Kupferkabeln.

FTTC/FTTN
Fibre to the Curb / Fibre to the Node – Glasfaser bis zum Kabelverzweiger, weitere Übertragung zum Teilnehmeranschluss über Kupferkabel.

FTTH
Fibre to the Home – Glasfaser bis ins Haus/die Wohnung.

Glasfaser
Technologie zur Realisierung von Breitbandanschlüssen unter Nutzung von Glasfaser Leitungen.
Ausprägungen: FTTH, FTTB, FTTC / FTTN

GPRS
General Packet Radio Service - Paketorientierter Dienst zur Datenübertragung in GSM- und UMTS-Netzen.

GSM
Global System for Mobile Communications - Digitaler Mobilfunkstandard der zweiten Generation als Nachfolger der analogen Systeme der ersten Generation.

HTTP
Hypertext Transfer Protocol - Protokoll der ISO/OSI-Anwendungsschicht zur Übertragung von Daten über IP-Netze (wird hauptsächlich verwendet, um Webseiten aus dem World Wide Web – www - zu laden).

IP
Internet Protocol - Protokoll der ISO/OSI-Vermittlungsschicht zum Austausch von Daten über Rechnernetze.

IPTV
Internet Protocol Television - Gattungsbegriff für audiovisuelle Dienste wie z. B. Fernsehen und Video, die über IP-basierte Netze übertragen werden.

ISDN
Integrated Services Digital Network - Digitaler Festnetzstandard für ein dienstintegrierendes Telekommunikationsnetz.

ITU-T
International Telecommunication Union (Telecommunication Standardization Sector) - Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die sich offiziell und weltweit mit technischen Aspekten der Telekommunikation beschäftigt.

Kabel
Technologie zur Realisierung von Breitbandanschlüssen über Breitband TV Kabel (Kupfer Koaxial).

LAN
Local Area Network - Ein in seiner Ausdehnung begrenztes und somit lokales Rechnernetz.

Laufzeit
Zeit, die ein Datenpaket benötigt, um von einem Sender zu einem Empfänger zu gelangen - i.A. angegeben in Millisekunden. Die Beschreibung des im Rahmen der Studie hierfür eingesetzten Messverfahrens befindet sich in 2.2.

LTE
Long Term Evolution - Digitaler Mobilfunkstandard der vierten Generation, mit dem wiederum höhere Datenübertragungsraten als mit dem der dritten Generation möglich sind.

LTE stationär
Insbesondere im ländlichen Bereich wird die LTE-Zugangstechnologie als Ersatz für Festnetzanschlüsse eingesetzt. Der Zugang erfolgt dabei über ein LTE-taugliches Endgerät.

Mbit/s
Megabit pro Sekunde: Einheit zur Messung der Datenübertragungsrate. 1 Mbit/s entspricht SI-konform 1000 kbit/s bzw. 1000000 bit/s.

Mobiler Breitbandanschluss
Breitbandanschluss zur Nutzung an wechselnden Orten. Die Realisierung erfolgt in verschiedenen Technologien (z. B. UMTS, LTE).

Modem/Router
Funktionsgruppe, die Endkunden-Schnittstelle zur Nutzung des Internet-Zugangs bereitstellt. Je nach verwendeter Zugangstechnologie und Dienstangebot kann es sich hierbei um einen einfachen Netzabschlusspunkt oder aber auch um eine komplexe Hardware-Einheit handeln, die vom Dienstanbieter bereitgestellt wird (z. B. eine Modem/Router-Einheit bei Double und Triple Play-Produkten).

Netzneutralität
Bezeichnet die unbeeinflusste Datenübertragung im Internet. Alle Datenpakete werden unverändert und in gleicher Qualität transportiert, unabhängig von Quelle, Ziel und Inhalt.

PING
Kein Acronym – Ein Computerprogramm zur Überprüfung der Erreichbarkeit eines Hosts in einem IP-Netz. Der Einsatz erfolgt auch im Rahmen der Laufzeitmessung.

SIM
Subscriber Identity Module - Chipkarte in einem Mobiltelefon zur Identifikation des Nutzers im GSM- oder UMTS-Netz.

SNMP
Simple Network Management Protocol – Ein Protokoll zur Verwaltung, Überwachung und Steuerung von Netzelementen.

Stationärer Breitbandanschluss
Breitbandanschluss zur Nutzung an einem festen Ort. Die Realisierung kann sowohl drahtgebunden (z. B. DSL, Kabel, Glasfaser) als auch drahtlos (z. B. LTE stationär, Richtfunk, Satellit) erfolgen.

Synchronisierte Datenrate der Leitung
Datenrate, mit der das Endgerät mit dem Netz des Anbieters synchronisiert ist. Diese stellt die maximale Datenübertragungsrate dar, die unter optimalen Bedingungen erreicht, aber nicht überschritten werden kann. Sie kann dabei je nach der Produktgestaltung des Anbieters unter der Datenrate liegen, die die Teilnehmeranschlussleitung entsprechend ihrer Qualität und ggfls. Länge in Abhängigkeit von der Anschlusstechnologie maximal zulässt. Dabei ist z. B. außerdem zu berücksichtigen, dass bei einigen Technologien die Nutzung von Ressourcen durch mehrere Verbraucher erfolgen kann (z. B. bei Kabel- und Mobilfunkanschlüssen).

TCP
Transmission Control Protocol - Verbindungsorientiertes, paketvermittelndes Protokoll der ISO/OSI-Transportschicht zur Übertragungssteuerung von Daten.

Upload/Upstream
Übertragungsrichtung von der Endkundeneinrichtung ins Netz.

UMTS
Universal Mobile Telecommunications System - Digitaler Mobilfunkstandard der dritten Generation, mit dem höhere Datenübertragungsraten als mit dem der zweiten Generation möglich sind.

URL
Uniform Resource Locator - Identifikator einer Ressource (Host) und des verwendeten Netzprotokolls in Computernetzen, über das die Ressource lokalisiert werden kann (wird häufig als Synonym für Internetadresse verwendet).

Vermarktete Datenübertragungsrate
Datenübertragungsrate, die der Anbieter dem Endkunden gegenüber bewirbt oder diesem in Rechnungs- und Vertragsunterlagen kommuniziert. Die Angabe erfolgt häufig in Form einer „bis zu"-Bandbreite.

VoIP
Voice over IP - Sprachübertragung über IP-basierte Datennetze.

WAN
Wide Area Network - Ein sich über einen sehr großen geografischen Bereich ausdehnendes Rechnernetz. Der im Bericht verwendete Begriff

WLAN
Wireless Local Area Network - Ein in seiner Ausdehnung begrenztes und somit lokales Rechnernetz, auf das drahtlos zugegriffen wird.

Anhang

7 Technische Darstellung der Messverfahren

Der Anhang stellt in komprimierter Form die technischen Abläufe und Prozesse dar.

7.1 Messaufbau der Messplattform

Die bundesweite Messplattform setzt sich aus Messeinheiten an 26 Standorten (vgl. Abbildung 7.1) zusammen sowie aus mehreren zentralen Server-Systemen, u.a. einer Business Intelligence Plattform (Datenauswertung), einem Data Warehouse (Datenspeicherung), Daten-Referenz-Systemen (Gegenstellen der Datenmessungen) und einem Management-System.

Verteilung der Standorte

Die Verteilung der Standorte orientiert sich an folgenden Überlegungen:

- Abdeckung mindestens aller einstelligen Vorwahlbereiche
- Ermöglichung der Verfügbarkeit einer hohen Anzahl von Anbietern an einem Standort durch Platzierung in größeren Städten

Abbildung 7.1: Standorte der deutschlandweiten Messplattform

Verteilung der Anbieter und Produkte

Im Rahmen der Plattform wurden breitbandige Endkundenanschlüsse von überregionalen, regionalen sowie lokalen Anbietern betrachtet. Hierfür wurden Festnetz- und TV-Kabelanbieter entsprechend ihrer Marktanteile[29] ausgewählt (vgl. Tabelle 21).

Im Bereich der stationären Breitbandanschlüsse werden jeweils die „best-in-class"-Produkte gemessen, also die hochwertigsten Anschlüsse, die an diesen innerstädtischen, gut von den Anbietern erschlossenen Standorten verfügbar waren. Ein Großteil der Plattformstandorte befindet sich insbesondere in unmittelbarer Nähe zum Hauptverteiler, Outdoor-DSLAM oder CMTS der Anbieter.

[29] VATM TK-Marktanalyse Q3/2013

Tabelle 21: Untersuchte Anbieter und Produkte stationärer Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform (Quelle: VATM TK-Marktanalyse Q3/2013)

Stationäre Breitbandanschlüsse			
Anbieter	**Marktanteil**	**Klassifizierung**	**Produkte**
Telekom	43,8%	Überregional	16000/1024 kbit/s, 25064/5056kbit/s, 51300/10000 kbit/s
Vodafone	10,6%	Überregional	6144/640 kbit/s, 16128/800 kbit/s, 50000/10000 kbit/s
United Internet	12,0%	Überregional	6000/512 kbit/s, 16000/1024 kbit/s, 24000/5000 kbit/s, 51300/10000 kbit/s
Telefónica	8,1%	Überregional	6000/1024 kbit/s, 12000/1024 kbit/s, 16000/1000 kbit/s, 16000/1024 kbit/s, 50000/10000 kbit/s
Unitymedia KabelBW	8,5%	Regional	32000/1000 kbit/s, 64000/5000 kbit/s, 100000/2500 kbit/s, 128000/5000 kbit/s
Kabel Deutschland	7,1%	Regional	32000/2000 kbit/s, 100000/6000 kbit/s
EWE	2,5%	Regional	16000/1024 kbit/s
Versatel	1,8%	Regional	16000/800 kbit/s
NetCologne	1,4%	Lokal	18000/1000 kbit/s, 100000/5120 kbit/s
M-net	0,7%	Lokal	18000/1000 kbit/s
KielNet	in 'übrige'	Lokal	51200/10240 kbit/s
congstar	in 'Telekom'	Überregional	16000/1024 kbit/s
Tele2	in 'übrige'	Regional	16000/1000 kbit/s

7.1.1 Messeinheiten stationäre Messungen

Für die Plattform kommt leistungsfähige, auf diesen Einsatzzweck speziell zugeschnittene Hardware und Software zum Einsatz. Die Messeinheiten sind autonome Einheiten, die keine Bedienung vor Ort erfordern. Nach dem Einschalten gehen sie automatisch in den Betriebszustand über. Selbsttests und die eingebaute Systemüberwachung sorgen für eine hohe Betriebssicherheit.

An den oben genannten Standorten ist mindestens eine Messeinheit gemäß folgender Spezifikation vorhanden:

- 19"-Technik aufgebautes Computersystem oder Embedded Box PC
- State of the Art PC-Architektur mit ausreichend dimensionierten Prozessor und Speicher
- 10/100/1000 Mbit/s Ethernet-Karte
- ISDN-Karte
- Betriebssystem Windows XP Embedded
- TCP/IP-Standardeinstellung des Betriebssystems

Die Messeinheiten sind teilnehmergleich an das Anschlussnetz inklusive Router des Anbieters angeschlossen. In dem nicht spezielle Testanschlüsse, sondern öffentlich verfügbare Teilnehmeranschlüsse gewählt wurden, ist eine Vergleichbarkeit der Anbieter gewährleistet.

Eine Volumenbegrenzung durch die Messungen konnte bei den Zugangsprodukten nicht festgestellt werden.

7.2 Messaufbau der Endkundenmessung

Um eine möglichst hohe Anzahl von Teilnehmern zu erreichen, musste die Implementierungstechnologie mehreren Anforderungen entsprechen:

- keine spezifische Installation innerhalb der Endkundeninfrastruktur, um eine Teilnahme für Endnutzer nicht zu erschweren.
- Unabhängigkeit von Browser- und Betriebssystemtyp
- Hoher Verbreitungsgrad und Robustheit

Für die Studie 2013 wurde die Messsoftware nicht mehr mittels Flash umgesetzt, sondern auf Java umgestellt.

Dabei wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Die Endkundenmessung wird durch eine Softwareapplikation als *Java PlugIn* im Browser des Endkunden-PC durchgeführt. Durch die Umstellung auf Java wurde der eigentliche Messablauf gegenüber der Studie 2012 nicht verändert.
- Durch die weite Verbreitung von Java war es Endkunden ebenso wie bei Flash regelmäßig möglich, die Softwareapplikation ohne weiteren Installationsaufwand auf ihren Rechnern zu nutzen.
- In Java können - im Gegensatz zu Flash - Protokolle genutzt werden, mit denen Abfragen des Modem/Routers des Endkunden über das *Java PlugIn* im Browser des Endkunden-PC möglich sind (hier insbesondere SNMP).
- Aus Sicherheitsgründen wurde die Messsoftware (Programmcode) mit einem Zertifikat signiert, um die Authentizität der Quelle sicherzustellen[30]. Ebenso findet der Auslesevorgang nur innerhalb der Endkundenumgebung (LAN) statt. Hierzu findet kein Zugriff über das Internet statt, da dies ein zusätzliches Sicherheitsrisiko bedeuten würde.

[30] Das digitale Signieren von Java-Anwendungen schützt den Code vor Manipulation und bindet die Identität des Anbieters an den Code. Dadurch wird dem Endbenutzer versichert, dass der Code von der zafaco GmbH stammt und vertrauenswürdig ist.

Im Rahmen der Untersuchung wurden personenbezogene Daten ausschließlich nach den geltenden gesetzlichen Bestimmungen erhoben, gespeichert und verarbeitet, soweit dies zur Durchführung der Studie notwendig und erforderlich war. Als personenbezogene Daten gelten die vom Nutzer verwendete IP-Adresse und die Router-ID, die im Rahmen des Messverfahrens zur Validierung und für das statistische Montoring erhoben wurden. Diese lassen unter Umständen einen Rückschluss auf die Identität des Nutzers (Personenbezug) zu.

Gemäß der Datenschutzerklärung der Initiative Netzqualität haben nur zafaco und die Bundesnetzagentur Zugriff auf die IP-Adresse und die Router-ID. Diese Daten werden nicht an Dritte weitergegeben. Außerdem war weder für zafaco noch für die Bundesnetzagentur ein Rückschluss auf die Identität der Nutzer möglich. Ein solcher Rückschluss wäre lediglich für die Anschlussanbieter möglich, da nur dieser die IP-Adresse oder Router-ID einem Vertrag zuordnen kann.

Endkunden-Testumgebung

Die verlässlichsten Messergebnisse lassen sich erzielen, wenn weder andere datenintensive Anwendungen noch weitere Endgeräte auf den zu messenden Internetzugang/Breitbandanschluss zugreifen und Viren-scanner, Firewalls o. ä. ausgeschaltet sind.

Grundsätzlich können die folgenden Effekte auftreten, die das Mess-ergebnis beeinflussen:

- Zusätzliche Endgeräte (z. B. Smartphones, Tablets) greifen zeit-gleich zum Messvorgang auf den Internetzugang zu und generieren parallelen Datenverkehr.
- Die Anbindung des messenden Endkunden-PC ist begrenzt durch
    - eine WLAN-Anbindung, die geringere Datenübertragungsraten als der Internetzugang selbst aufweist
    - lokale LAN-Konfigurationen, die die Datenübertragungsrate einzelner Endkundengeräte beschränken.

- Prozesse/Anwendungen (z. B. Virenscanner oder Firewalls) können unmittelbar in den Datenaustausch zwischen Softwareapplikation und Daten-Referenz-System eingebunden sein, wodurch die resultierende Datenübertragungsrate beeinflusst werden kann.
- Das auf dem Endkundengerät verwendete Betriebssystem, die Browserversion o. ä. kann einen Einfluss auf die Messung haben (z. B. Implementierung des TCP/IP-Protocol Stacks).

Die Endnutzer wurden über diese Effekte informiert und gebeten, eine „optimale Testumgebung" herzustellen. Sie wurden aufgefordert, alle anderen Anwendungen zu beenden und das Endgerät, von dem die Messung gestartet werden soll, direkt über ein LAN-Kabel an die vom Anbieter zur Verfügung gestellte Zugangseinheit anzuschließen. Zusätzlich sollten parallele Prozesse/Anwendungen, die womöglich im Hintergrund ablaufen, beendet werden.

Schließlich wurde vor der Messung abgefragt, ob bei der Messung eine solche optimale Testumgebung vorgelegen hat (vgl. 2.1.3.1).

Für das im Rahmen der Gesamtstudie durchgeführte Validierungsverfahren wurde nur Messungen berücksichtigt, bei denen der Kunde angegeben hatte, eine optimale Testumgebung zu haben. In die Auswertung der Gesamtstudie sind also nur die Datensätze eingegangen, die laut Kundenangabe bei optimaler Testumgebung ermittelt worden sind.

Auslesen zusätzlicher Werte

Gegenüber der Studie 2012 konnten in der Studie 2013 für bestimmte Teilmengen von Routern jeweils zusätzliche Werte ausgelesen werden:

- Synchronisierte Datenrate der Leitung

  Mit der synchronisierten Datenrate wird die Datenrate bezeichnet, mit der sich das Modem mit dem Anschlussnetz des Anbieters verbindet. Diese stellt die Datenübertragungsrate der Anschlussleitung dar, die unter optimalen Bedingungen erreicht, aber nicht überschritten werden kann. Sie kann dabei je nach der Produktgestaltung des Anbieters unter der Datenrate liegen, die die Teilnehmeranschlussleitung entsprechend ihrer Qualität und - in Abhängigkeit von der Anschlusstechnologie – entsprechend ihrer Länge maximal zulässt. Darüber hinaus ist z. B. zu berücksichtigen, dass bei einigen Technologien bereits im Anschluss-netz die Nutzung von Ressourcen durch mehrere Verbraucher erfolgen kann (z. B. bei Kabel- und Mobilfunkanschlüssen). Zudem erfasst die synchronisierte Datenrate nicht die – technologieunabhängige – gemeinsame Nutzung von Ressourcen im Konzentrationsnetz.

  Durch die Implementierung zusätzlicher Abfrageprotokolle konnte gegenüber der Studie 2012 die Anzahl der Hersteller erweitert werden, für die ein Auslesen der synchronisierten Datenrate der Leitung möglich ist. Dieser Wert ist hilfreich, um festzustellen, ob die synchronisierte Datenrate in dem Bereich liegt, den die Endkunden als vermarktete Datenübertragungsrate angegeben haben. (vgl. 5.2.1).

- Abfrage der Router–Schnittstellen inklusive ihrer Verbindungs-geschwindigkeiten (Interface Link Speed)

  Aus einer Teilmenge von Modem/Routern konnten die Eigenschaften der beim Messvorgang verwendeten Schnittstellen des Endkunden-PC und des Router/Modem (LAN/WLAN) inklusive ihrer Verbindungs-geschwindigkeiten (Interface Link Speed) ausgelesen werden.

  Daher konnte für diese Teilmenge – unabhängig von der Endbenutzer-Angabe zur optimalen Testumgebung – erkannt werden, ob die Messung über WLAN erfolgte und mit welcher Datenrate der Endkunden PC mit dem Modem/Router verbunden ist.

- Übertragene Verkehrsmenge in Sende- und Empfangsrichtung der Schnittstellen (Interface Traffic Counter)

  Die insgesamt übertragene Datenmenge in Sende- und Empfangsrichtung konnte für diese Teilmenge aus dem Byte- oder Paketzähler (Interface Traffic Counter) der WAN-Schnittstelle (Anbindung des Routers an den Internetzugang) ausgelesen werden. Der Auslesevorgang erfolgte ausschließlich über die LAN-Schnittstelle zwischen Endkunden PC und Modem/Router. Dadurch war es möglich, Datenverkehr zu erkennen, der zusätzlich zur Messung erfolgte. Dieser parallele Datenverkehr kann z. B. durch im Hintergrund laufende Applikationen oder weitere vorhandene Endgeräte verursacht werden.

Durch die oben beschriebenen Werte kann die Kundenangabe „optimale Testumgebung" im Hinblick auf die Qualität der Anbindung des Endkunden-PC (z. B. WLAN) überprüft werden und paralleler Datenverkehr bei der Berechnung der Datenübertragungsrate mit einbezogen werden (s. 2.1.3.2.1).

Da diese Möglichkeiten nicht für alle Teilnehmer bestanden, wurden die Auswirkungen für diese Untergruppe in einer separaten Auswertung untersucht (vgl. 5.2.2 und 5.2.3).

Es wurde somit davon abgesehen, die Teilmenge der Messergebnisse, bei denen ein Auslesen zusätzlicher Werte möglich war, anders zu behandeln. Durch diese Vorgehensweise wurde methodische Konsistenz zwischen der ersten und der vorliegenden zweiten Qualitätsstudie gewährleistet. Eine Andersbehandlung einer Teilmenge würde zudem zu Verzerrungen innerhalb der Gesamtstudie führen.

7.3 Daten-Referenz-Systeme

Für die Datenmessungen standen 8 Server (Daten-Referenz-System) mit einer Anbindung von jeweils 1 Gbit/s zur Verfügung. Durch eine Vernetzung der Daten-Referenz-Systeme mit den wichtigsten und größten Peering- bzw. Internetaustauschknotenpunkten Europas wurde ein optimiertes und stabiles Routing erreicht.

Die serverseitige Konfiguration wurde wie folgt durchgeführt:

- 19"-Technik aufgebautes Computersystem
- State of the Art PC Architektur mit ausreichend dimensionierten Prozessor und Speicher
- 10/100/1000 Mbit/s Ethernet-Karte
- Betriebssystem Linux
- TCP/IP-Konfiguration gemäß ETSI EG 202 057-4

7.4 Messablauf

Die durchgeführten Messungen wurden durch ein zentrales Management-System gesteuert. Je Messeinheit wurde ein spezifischer, stündlich wiederkehrend ablaufender Messplan implementiert. Dabei wurden bei den Datenmessungen Verbindungen zwischen den Messeinheit und jeweils einem von 8 Servern (Daten-Referenz-System) durchgeführt. Der Messplan der automatisierten Messungen wurde so aufgesetzt, dass eine Reserve von 20% eingehalten wurde und damit keine Überlastung der Daten-Referenz-Systeme auftreten kann. Zusätzlich wurden die Server durch ein Monitoring-System überwacht. Für geplante Wartungsaufgaben wurde einmal pro Tag ein nächtliches Wartungsfenster zwischen 04:00 Uhr und 05:00 Uhr vorgesehen.

7.4.1 Messung der Datenübertragungsrate – Download

Die Messung der Datenübertragungsrate im Download erfolgte sowohl auf der Messplattform als auch im Rahmen der Endkundenmessungen nach einem einheitlichen Verfahren.

Um eine realitätsnahe Nutzungssituation abzubilden, wurde das von Endkunden häufig angewandte HTTP-Protokoll eingesetzt.

Hierzu wurden mehrere parallele HTTP-Datenströme initiiert, um pro Datenstrom jeweils eine 1 GB-Datei von dem Daten-Referenz-System auf die Messeinheit herunterzuladen. Die Datenübertragung aller Datenströme wurde nach einer festgelegten Zeit von 20 Sekunden abgebrochen. Damit ist auch bei der maximal betrachteten Datenübertragungsrate sichergestellt, dass während des gesamten Messzeitraums ein Datentransfer stattfindet und die auf dieser Stecke maximal mögliche Datenübertragungsrate gemessen werden kann. Bei der Bestimmung des Zeitfensters wurden die Effekte der TCP Congestion Control (Überlaststeuerung) berücksichtigt.

Die Initiierung mehrerer paralleler Datenströme verringert zugleich den Einfluss der TCP/IP-Konfiguration der Messeinheit auf die Messung. Dieser Einfluss ist umso stärker, je höher die zu messende Datenübertragungsrate ist. Für den in der Studie abgedeckten Bandbreitenbereich von bis zu 200 Mbit/s haben sich in umfangreichen und seit 2002 regelmäßig von zafaco durchgeführten Untersuchungen vier Datenströme als geeignet herausgestellt.

Die *HTTP-Download-Zeit* ergibt sich als Zeit vom Startzeitpunkt des letzten HTTP-Streams bis zum ersten Abbruchzeitpunkt der vier parallelen HTTP-Streams des standardisierten HTTP-Downloads (vgl. Abbildung 7.2). Damit bezeichnet die HTTP-Download-Zeit den Zeitraum, während dessen alle parallelen HTTP-Streams zeitgleich Last erzeugen.

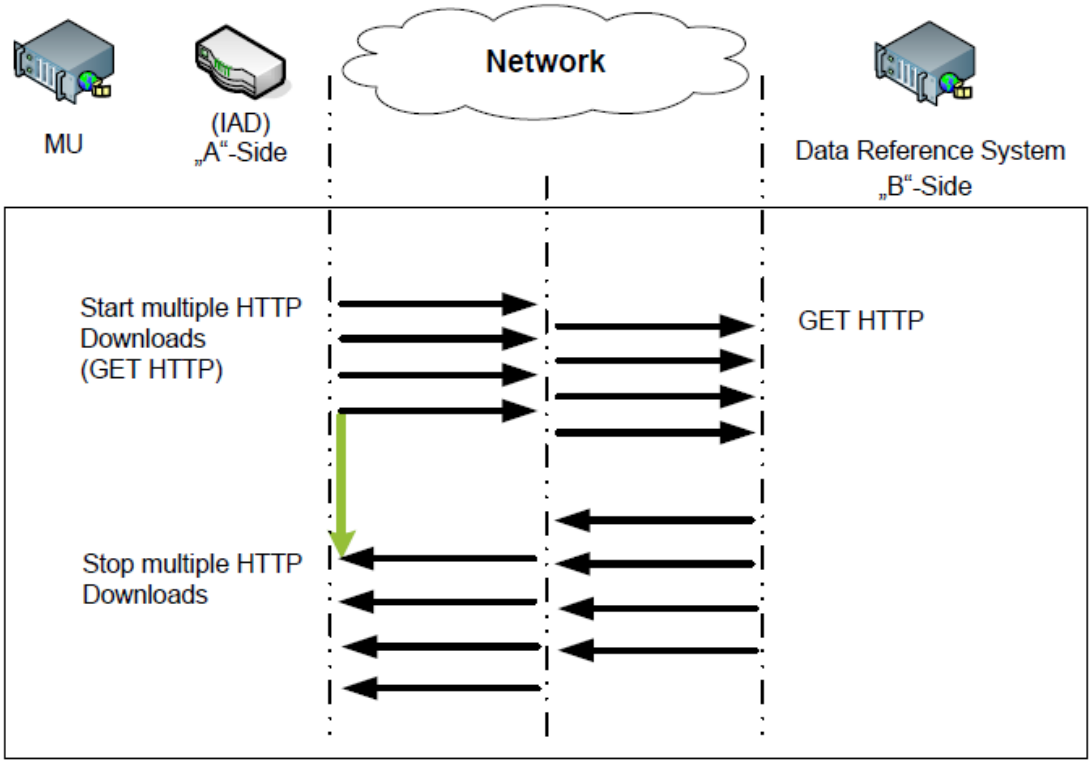

Abbildung 7.2: Messung der Datenübertragungsrate - Download

Die Datenmenge, die übertragen wurde, berechnet sich aus der Summe der geladenen Daten der vier einzelnen HTTP-Streams während der HTTP-Download-Zeit.

Aus Datenmenge und HTTP-Download-Zeit wurde der *HTTP-Download-Durchsatz* und damit die zur Verfügung stehende Download-Datenübertragungsrate in Mbit/s berechnet[31].

[31] Die Berechnung erfolgt bei den Endkundenmessungen inklusive der HTTP-Protokoll-Header, d.h. die Angaben zur Datenübertragungsrate beziehen sich auf den Durchsatz des Internetzugangsdienstes (IP-Payload).

7.4.2 Messung der Datenübertragungsrate – Upload

Das gewählte Messverfahren unterscheidet sich im Detail je nachdem, ob die Messung auf der Messplattform oder im Rahmen der Endkundenmessungen vorgenommen wurde.

Auf der Messplattform wurde das zur Übertragung von Dateien weit verbreitete FTP-Protokoll eingesetzt. Zur Erfassung der Upload-Datenübertragungsrate wurde ein standardisierter FTP-Upload[32] einer hinreichend großen[33] Datei im passive Mode[34] durchgeführt, der nach 20 Sekunden abgebrochen wurde.

Bei den Endkundenmessungen erfolgte die Erfassung der Upload-Datenübertragungsrate demgegenüber mit Hilfe eines standardisierten HTTP Uploads[35]. Dazu wurde eine hinreichend große[4] Datenmenge für einen Messzeitraum von mindestens 20 Sekunden generiert und übertragen.

Die *Upload-Zeit* ergibt sich für den FTP-Upload als Zeit vom Startzeitpunkt bis zum Abbruchzeitpunkt (vgl. Abbildung 7.3) des FTP-Streams des standardisierten FTP-Uploads. Für den HTTP-Upload ergibt sie sich als Zeit vom Startzeitpunkt bis zur vollständigen Übertragung des Upload Streams.

[32] Gemäß ETSI EG 202 057 - Part 4.
[33] Hinreichend groß bedeutet hier, dass auch bei der maximal betrachteten Datenübertragungsrate sichergestellt ist, dass während des gesamten Messzeitraums ein Datentransfer stattfindet und die auf dieser Stecke maximal mögliche Datenübertragungsrate gemessen werden kann.
[34] Passive Mode wird eingesetzt, wenn der Server keine Verbindung zum Client aufbauen kann. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn der Client sich hinter einem Router befindet, der die Adresse des Clients mittels NAT umschreibt, oder wenn eine Firewall das Netzwerk des Clients vor Zugriffen von außen abschirmt.
[35] Gemäß ETSI EG 202 057 - Part 4

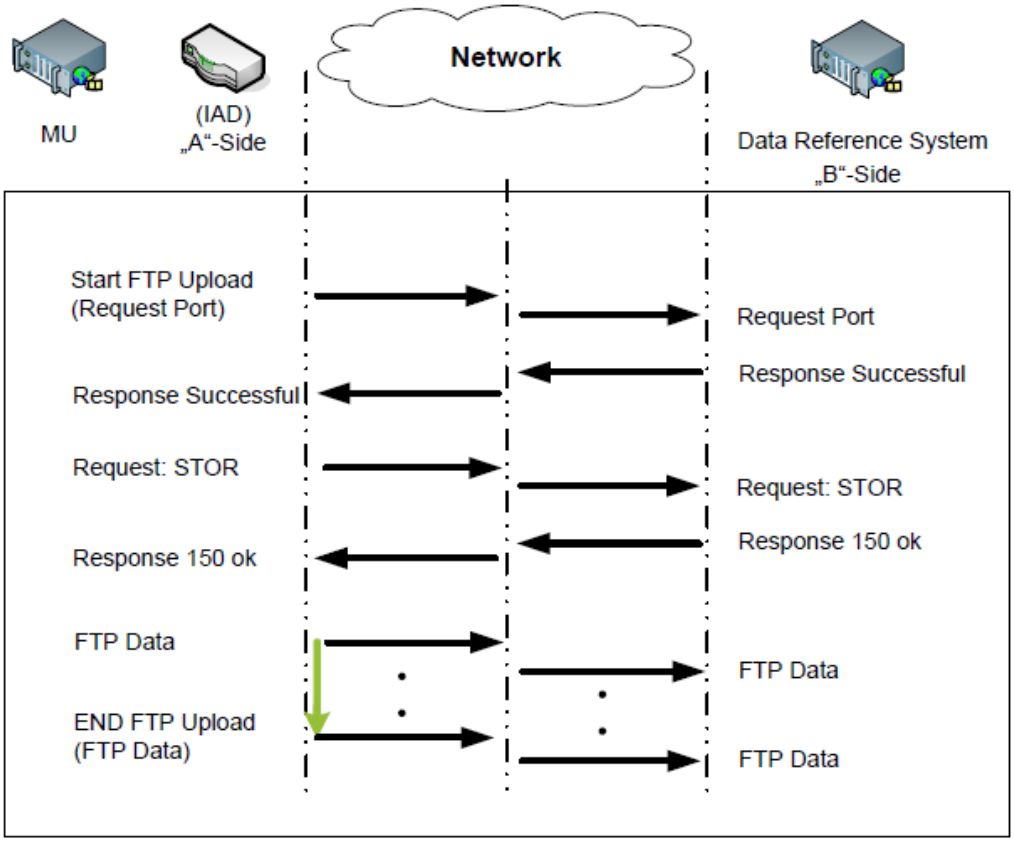

Abbildung 7.3: Messung der Datenübertragungsrate - Upload

Aus Datenmenge und Upload Zeit wird der *Upload-Durchsatz* und damit die zur Verfügung stehende Datenübertragungsrate im Upload des Produkts in Mbit/s berechnet.

7.4.3 Messung der Laufzeit

Das Prinzip der Laufzeitmessung basiert auf der Versendung einer sogenannten „PING"-Anfrage an ein Daten-Referenz-System. Diese Anfrage wird von den auf der Übertragungsstrecke beteiligten Netzknoten weitergeleitet und vom angesprochenen System in umgekehrter Richtung beantwortet. Die Laufzeit entspricht der Zeit, die vom Absenden der Anfrage bis zum Erhalt der Antwort vergangenen ist.

Eine Laufzeitmessung der Messplattform besteht aus 30 hintereinander im Abstand von jeweils einer Sekunde ausgeführten „PING"-Messungen[36] von einer Messeinheit zu den Daten-Referenz-Systemen.

Der Messwert *Laufzeit* ist hier als die Zeit definiert, die vom Absenden der „PING"-Anfrage (ICMP-Echo-Request) bis zum Eintreffen der entsprechenden Antwort (ICMP-Echo-Reply) vergeht (vgl. Abbildung 7.4).

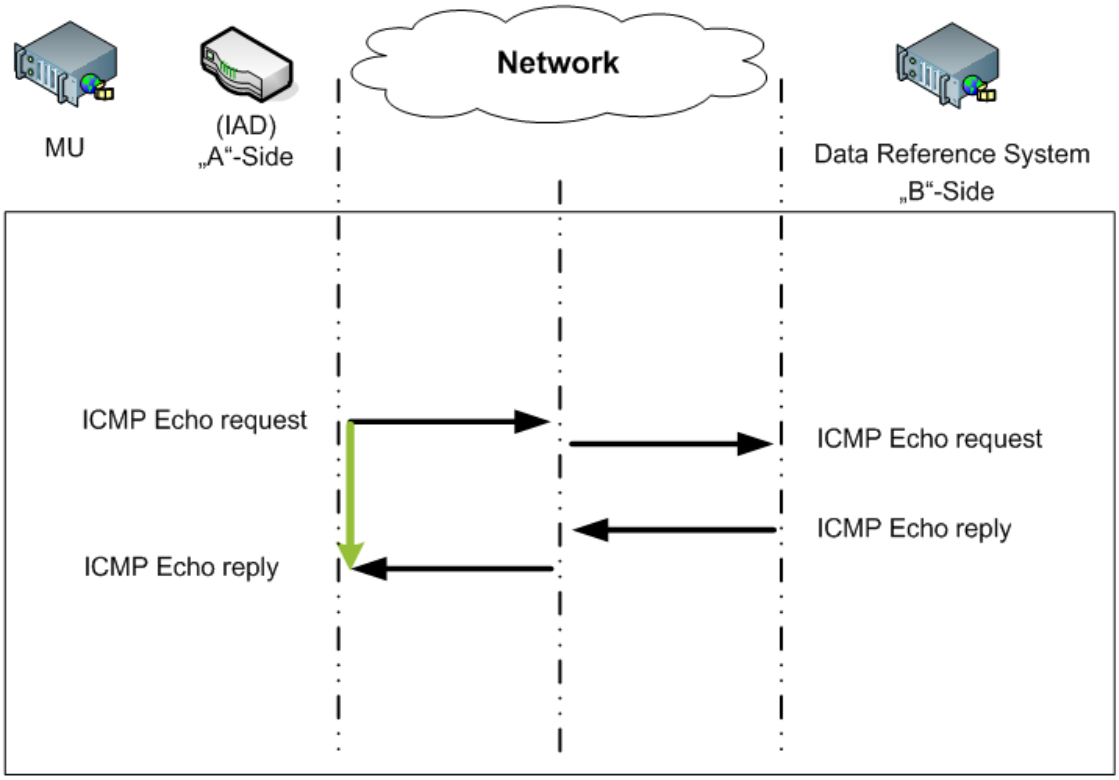

Abbildung 7.4: Messung der Laufzeit

Mit dem Wert *Laufzeit-Mittelwert* wird die mittlere Antwortzeit aller Laufzeiten einer Laufzeitmessung in Millisekunden dargestellt.

[36] ICMP-Echo-Requests mit einer Paketgröße von 32 bytes

7.4.4 Messung der Webseiten-Downloadzeit

Um ein typisches Nutzerverhalten nachzubilden, wurden die ersten 10 der laut Alexa Top Site Listing[37] der im Juli 2013 am häufigsten besuchten Webseiten aufgerufen (siehe Tabelle 22). Die Zusammensetzung der Liste wurde im Messzeitraum konstant gehalten.

Tabelle 22: Alexa Top 10 Webseiten (Stand Juli 2013)

Alexa Top 10 Webseiten in Deutschland // Juli 2013	
Platz	**Webseite**
1.	http://www.google.de
2.	http://www.facebook.com
3.	http://www.youtube.com
4.	http://www.amazon.de
5.	http://www.ebay.de
6.	http://www.google.com
7.	http://www.wikipedia.org
8.	http://www.web.de
9.	http://www.gmx.net
10.	http://www.yahoo.com

Im Rahmen des Nutzungsszenarios Web Browsing wird die Zeit ermittelt, die für das vollständige Laden einer Webseite benötigt wird. Der Endnutzer nimmt diesen Vorgang als ein einzelnes Ereignis wahr, technisch können aber unterschiedliche Zeitabschnitte gemessen werden (DNS-Antwortzeit, HTTP-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit). Diese Qualitätsparameter wurden einzeln wie nachfolgend dargestellt erfasst.

[37] Siehe www.alexa.com/topsites/countries/DE

DNS-Antwortzeit

Mit diesem Messwert wird die Auflösungszeit von Hostnamen in IP-Adressen in Millisekunden gemessen.

Als *DNS-Antwortzeit* ist hier die Zeit definiert, die vom Absenden eines DNS-Requests (DNS query) zum Endgerät bis zum Eintreffen der aufgelösten IP-Adresse (DNS query response) vergeht.

HTTP-Antwortzeit

Dieser Wert bezeichnet die Antwortzeit einer HTTP-Initialisierung zu den Webseiten der *Alexa Top 10* in Millisekunden.

HTTP-Antwortzeit ist hier als die Zeit definiert, die vom Absenden des initialen HTTP-Requests (GET HTTP) bis zum Eintreffen des ersten TCP-Packets der HTTP-Response vergeht.

Webseiten-Downloadzeit

Mit diesem Messwert wird die zum vollständigen Download der Alexa Top 10-Webseiten erforderliche Zeit in Sekunden angegeben.

Die Webseiten-Downloadzeit wird hier als die Zeit definiert, die vom Absenden des initialen HTTP-Requests (GET HTTP) bis zum Eintreffen der letzten HTTP-Response (HTTP 200 OK) vergeht (vgl. Abbildung 7.5).

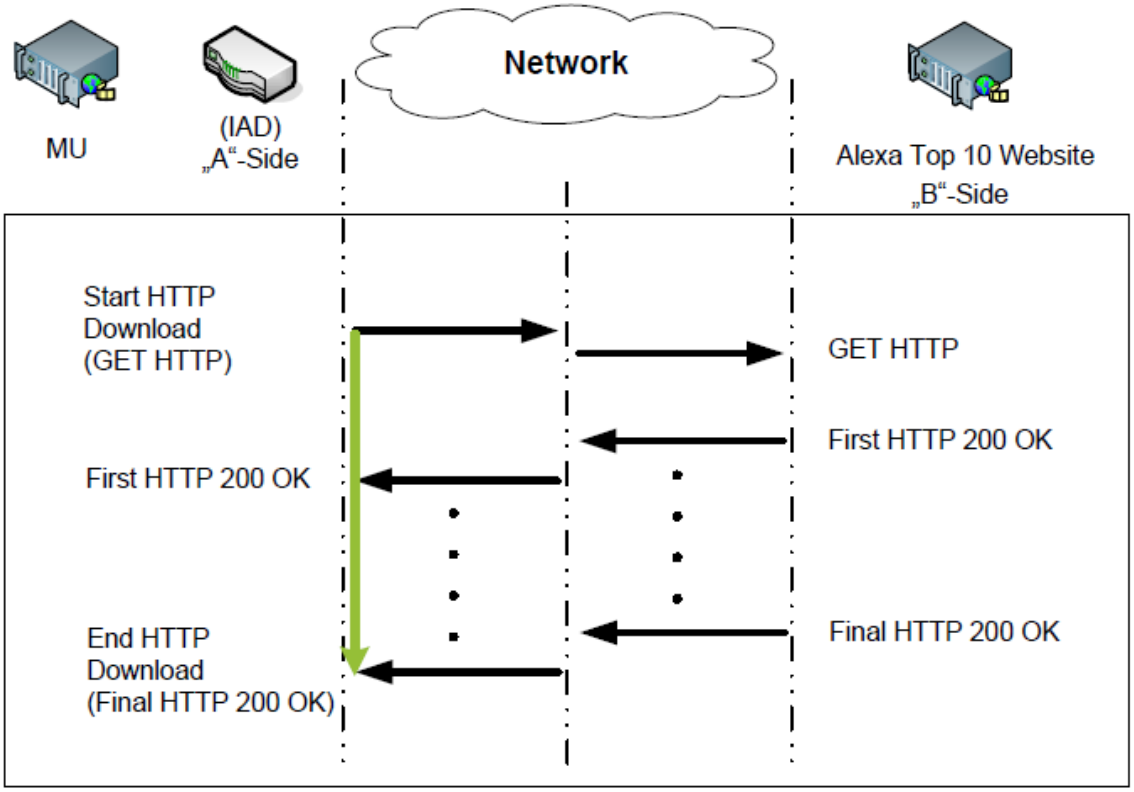

Abbildung 7.5: Messung der Webseiten-Downloadzeit

Zur Erfassung von DNS-Antwortzeit, HTTP-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit wurde eine „WebKit-Browser-Engine“[38] genutzt, die JavaScript und Web 2.0-Seiten unterstützt. Damit erlaubt sie eine genaue Beobachtung und Protokollierung der Vorgänge beim Aufruf und Laden von Webseiten. Die einzelnen Zeiten bei einem vollständigen Webseiten-Download können somit genau bestimmt werden.

[38] WebKit (http://www.webkit.org/) ist eine Open Source HTML-Rendering-Engine, mit deren Hilfe Webseiten in Webbrowsern dargestellt werden.

7.5 Auslesen von Modem/Router Parametern

Die im Rahmen der Studie 2013 für die Endkundenmessungen eingesetzte Java Applikation ermöglicht das Auslesen von unten genannten Informationen aus den Modem/Routern einiger Anbieter.

Im Rahmen der Untersuchung wurden personenbezogene Daten ausschließlich nach den geltenden gesetzlichen Bestimmungen erhoben, gespeichert und verarbeitet, soweit dies zur Durchführung der Studie notwendig und erforderlich war. Als personenbezogene Daten gelten die vom Nutzer verwendete IP-Adresse und die Router-ID, die im Rahmen des Messverfahrens zur Validierung und für das statistische Monitoring erhoben wurden. Diese lassen unter Umständen einen Rückschluss auf die Identität des Nutzers (Personenbezug) zu.

Gemäß der Datenschutzerklärung der Initiative Netzqualität haben nur zafaco und die Bundesnetzagentur Zugriff auf die IP-Adresse und die Router-ID. Diese Daten werden nicht an Dritte weitergegeben. Außerdem war weder für zafaco noch für die Bundesnetzagentur ein Rückschluss auf die Identität der Nutzer möglich. Ein solcher Rückschluss wäre lediglich für die Anschlussanbieter möglich, da nur dieser die IP-Adresse oder Router-ID einem Vertrag zuordnen kann.

7.5.1 Synchronisierte Datenrate der Leitung

Mit der synchronisierten Datenrate wird die Datenrate bezeichnet, mit der sich das Modem mit dem Anschlussnetz des Anbieters verbindet. Diese stellt die Datenübertragungsrate der Anschlussleitung dar, die unter optimalen Bedingungen erreicht, aber nicht überschritten werden kann. Sie kann dabei je nach der Produktgestaltung des Anbieters unter der Datenrate liegen, die die Teilnehmeranschlussleitung entsprechend ihrer Qualität und - in Abhängigkeit von der Anschlusstechnologie – entsprechend ihrer Länge maximal zulässt. Darüber hinaus ist z. B. zu berücksichtigen, dass bei einigen Technologien bereits im Anschlussnetz die Nutzung von Ressourcen durch mehrere Verbraucher erfolgen kann (z. B. bei Kabel- und Mobilfunkanschlüssen). Zudem erfasst die synchronisierte Datenrate nicht die – technologieunabhängige – gemeinsame Nutzung von Ressourcen im Konzentrationsnetz.

Durch die Implementierung zusätzlicher Abfrageprotokolle konnte gegenüber der Studie 2012 die Anzahl der Hersteller erweitert werden, für die ein Auslesen der synchronisierten Datenrate der Leitung möglich ist.

Dieser Wert ist hilfreich, um festzustellen, ob die synchronisierte Datenrate in dem Bereich liegt, den die Endkunden als vermarktete Datenübertragungsrate angegeben haben. (vgl. 5.2.1).

7.5.2 Abfrage der Router–Schnittstellen inklusive ihrer Verbindungsgeschwindigkeiten (Interface Link Speed)

Aus einer Teilmenge von Modem/Routern konnten die Eigenschaften der beim Messvorgang verwendeten Schnittstellen des Endkunden-PC und des Router/Modem (LAN/WLAN) inklusive ihrer Verbindungsgeschwindigkeiten (Interface Link Speed) ausgelesen werden.

Daher konnte für diese Teilmenge – unabhängig von der Endbenutzer-Angabe zur optimalen Testumgebung – erkannt werden, ob die Messung über WLAN erfolgte und mit welcher Datenrate der Endkunden PC mit dem Modem/Router verbunden ist.

7.5.3 Übertragene Verkehrsmenge in Sende- und Empfangsrichtung der Schnittstellen (Interface Traffic Counter)

Die insgesamt übertragene Datenmenge in Sende- und Empfangsrichtung konnte für diese Teilmenge aus dem Byte- oder Paketzähler (Interface Traffic Counter) der WAN-Schnittstelle (Anbindung des Routers an den Internetzugang) ausgelesen werden. Der Auslesevorgang erfolgte ausschließlich über die LAN-Schnittstelle zwischen Endkunden PC und Modem/Router. Dadurch war es möglich, Datenverkehr zu erkennen, der zusätzlich zur Messung erfolgte. Dieser parallele Datenverkehr kann z. B. durch im Hintergrund laufende Applikationen oder weitere vorhandene Endgeräte verursacht werden.

Durch die oben beschriebenen Werte kann paralleler Datenverkehr bei der Berechnung der Datenübertragungsrate mit einbezogen werden.

Zu Beginn und nach Abschluss der Messung wird über den Traffic Counter die über die WAN-Schnittstelle übertragene Datenmenge ermittelt. Der Auslesevorgang erfolgte ausschließlich über die LAN-Schnittstelle zwischen Endkunden PC und Modem/Router. Die Differenz zwischen dem Wert am Ende der Messung und dem Wert zu Beginn der Messung ergibt die im Messzeitraum über die WAN-Schnittstelle übertragene Datenmenge. Diese Datenmenge enthält sowohl die zwischen Softwareapplikation und Daten-Referenz-System im Rahmen der Messung ausgetauschten Daten als auch ggf. parallel ablaufenden Datenverkehr. Die Berechnung der Datenüber-

tragungsrate kann dann aus dem Gesamtvolumen inklusive des parallelen Datenverkehrs erfolgen.

7.5.4 Auslesevorgang

Der Auslesevorgang wird gestartet, nachdem der Kunde der Messung zugestimmt und den Messablauf gestartet hat.

Der Zugriff auf den Moden/Router erfolgt vom Endkunden-PC innerhalb des LAN/WLAN des Kunden. Zunächst erfolgt eine Identifikation von Hersteller und Anbieter. Dann werden durch ein Java Applet aus dem Java PlugIn herstellerabhängig spezifische Abfragen durchgeführt.

Diese erfolgen entweder über Universal Plug and Play (UPnP)[39], das Simple Network Management Protocol (SNMP)[40] oder über http.

[39] UPnP ermöglicht herstellerübergreifend eine Ansteuerung von Geräten über ein IP-basiertes Netzwerk. Der UPnP Standard wird durch das UPnP-Forum spezifiziert.
[40] Das von IETF entwickelte Netzwerkprotokoll SNMP dient zur zentralen Überwachung und Steuerung von Netzwerkelementen wie z. B. Routern.

7.6 Technische Validierung

Die ermittelten Messwerte und Endkundenangaben wurden regelmäßig in einem mehrstufigen Validierungsprozess überprüft. Dabei wurden Datensätze mit unplausiblen Werten verworfen.

Abhängig von den erfassten Kennwerten wurden die folgenden Validierungsstufen durchgeführt:

Anbieter

- Verwerfen ausländischer Anbieter
- Validierung der Anbieterbezeichnung basierend auf der IP-Adresse in Verbindung mit Reverse DNS Lookup / whois-Abfrage.
- Abbildung von gültigen Resale-Szenarien (mögliche Kombinationen von Anbieter aus Endkundenangabe und Leistungserbringer aus technischer Validierung)[41].

Postleitzahl mit Zuordnung geografischer Bereich und Bundesland

- Zuordnung von Bundesland und geografischem Bereich (städtisch, halbstädtisch, ländlich[42]) basierend auf der Bevölkerungsdichte[43] des jeweiligen Postleitzahlengebietes unter Prüfung der Gültigkeit der angegebenen Postleitzahl.

Technologie

- Übersetzung von Freitexteingaben in Standardbezeichnungen mit Hilfe regelmäßig aktualisierter Umsetzungstabellen.
- Prüfung, ob die angegebene Technologie im Markt vorhandenen Kombinationen von Anbietern und Technologien entspricht.

[41] Im Rahmen der technischen Validierung wird der Anbieter ermittelt, dessen Vorleistungsprodukt der Reseller nutzt, um den Endkunden einen Internetzugangsdienst anzubieten. Wenn dieser Anbieter kein möglicher Vorleister für den vom Endkunden angegebenen Anbieters ist, würde der Datensatz als unplausibel verworfen werden.
[42] Klassifizierung gemäß Eurostat
[43] Statistisches Bundesamt, „Gemeindeverzeichnis , Gebietsstand: 31.12.2011 (4. Quartal)", Januar 2012

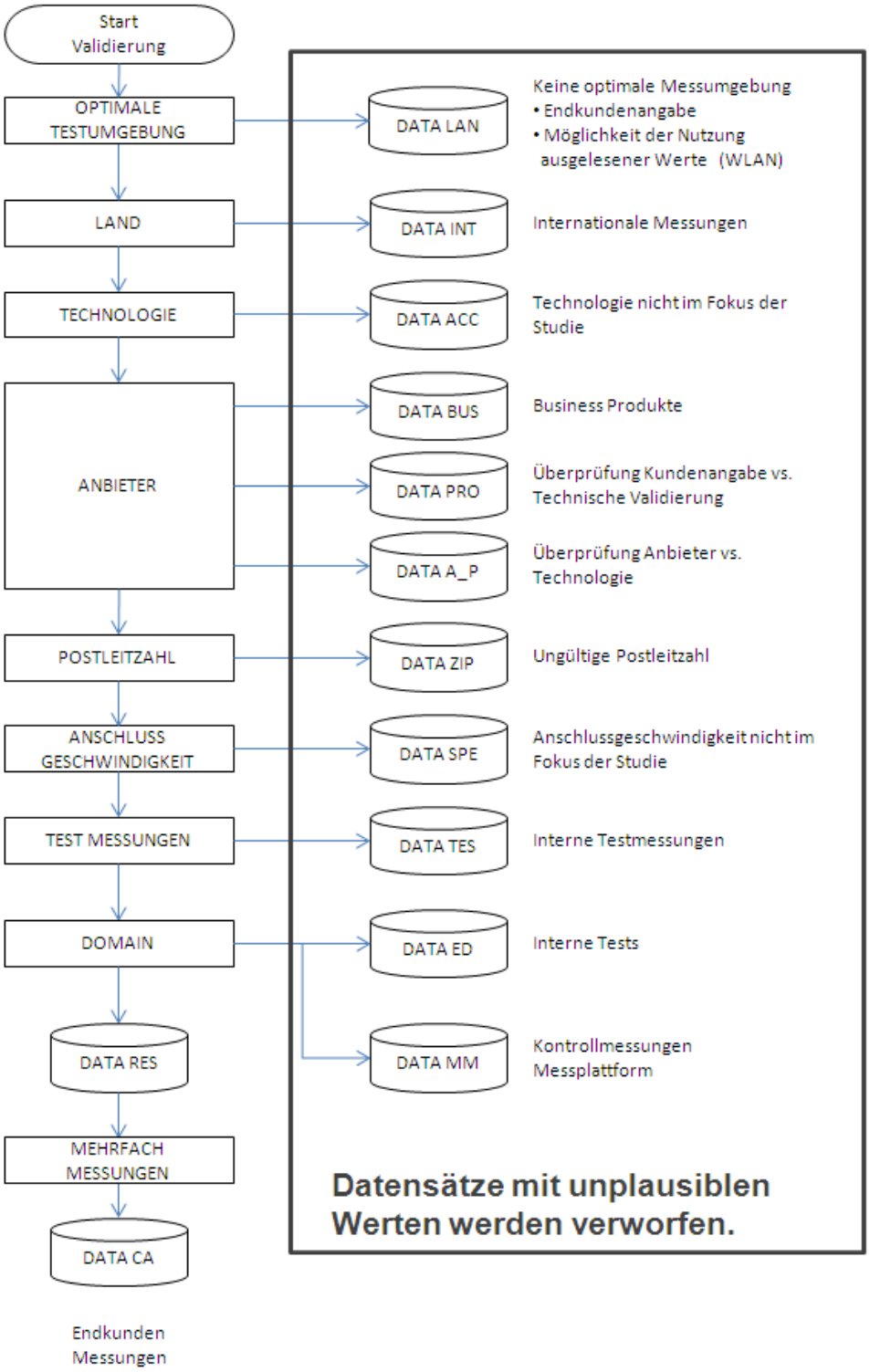

Abbildung 7.6: Überblick der Validierungsstufen, in denen jeweils Datensätze mit unplausiblen Werten verworfen werden

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Integriertes Messkonzept 8
Abbildung 2.1: Standorte der deutschlandweiten Messplattform 16
Abbildung 2.2: Beispielhafter Aufbau einer Messeinheit an einem Standort 18
Abbildung 2.3: Benutzeroberfläche der Endkundenmessung 28
Abbildung 2.4: Geografische Klassifizierung 38
Abbildung 3.1: Beispiel für zwei empirische Verteilungsfunktionen 47
Abbildung 3.2: Beispiel für einen Boxplot und das zugehörige Histogramm 48
Abbildung 3.3: Beispiel für einen Boxplot mit Vergleichsdarstellung 49
Abbildung 3.4: Beispiel für empirische Verteilungsfunktionen mit Vergleichsdarstellung 50
Abbildung 4.1: Verteilung der Anbieter in der Stichprobe der Initiative Netzqualität im Vergleich zu den Marktanteilen nach VATM TK Marktanalyse Q3/2013 52
Abbildung 4.2: Verteilung der Studienteilnehmer auf die Bundesländer im Vergleich zur Verteilung der Breitbandanschlüsse 53
Abbildung 4.3: Verteilung der Studienteilnehmer nach Regionen im Vergleich zur Bevölkerungsstatistik 54
Abbildung 4.4: Vergleich der von den Studienteilnehmern angegebenen Technologien mit der Verteilung der Breitbandanschlüsse (Tätigkeitsbericht der Bundesnetzagentur 2Q/2013) 55
Abbildung 4.5: Verteilung der Anschlüsse der Studienteilnehmer nach Bandbreiteklassen und Referenzverteilung mit Stand 2Q/2013 (Quelle: Bundesnetzagentur) 56
Abbildung 4.6: Verteilung der Studienteilnehmer 2013 auf die Bundesländer im Vergleich zur Verteilung der Breitbandanschlüsse und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung 61
Abbildung 4.7: Verteilung der Studienteilnehmer 2013 nach Regionen im Vergleich zur Bevölkerungsstatistik und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung 61
Abbildung 4.8: Vergleich der von den Studienteilnehmern angegebenen Technologien mit der Verteilung der Breitbandanschlüsse (CoCom Q2/2012) und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung 62

Abbildung 4.9: Verteilung der Anbieter in der Stichprobe der Initiative Netzqualität 2013 im Vergleich zu den Marktanteilen nach VATM TK Marktanalyse Q3/2013 und zur Teilstichprobe der Kunden mit ermittelter synchronisierter Datenrate der Leitung 62
Abbildung 4.10: Vergleich der Messergebnisse der regulären Datenübertragungsraten-Messungen der Messplattform mit den durch die Softwareapplikation ermittelten Messwerten für zehn Anschlüsse..... 65
Abbildung 5.1: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für alle Nutzer in der Stichprobe 69
Abbildung 5.2: Boxplot der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für alle Nutzer in der Stichprobe 70
Abbildung 5.3: Prozentual erreichte Datenübertragungsrate nach Technologie 72
Abbildung 5.4: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Technologien. 73
Abbildung 5.5: Prozentuale Datenübertragungsrate nach Bandbreiteklassen .. 75
Abbildung 5.6: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Übertragungsrate nach Bandbreiteklassen (links: 2012 – rechts: 2013)..... 75
Abbildung 5.7: Häufigkeiten der prozentual erreichten Datenübertragungsraten bei einer vermarkteten Datenübertragungsrate von 6 Mbit/s (links 2012 – rechts 2013)..... 77
Abbildung 5.8: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsraten nach Technologie und Bandbreiteklassen 79
Abbildung 5.9: Prozentuale Datenübertragungsrate nach Anbieter..... 81
Abbildung 5.10: Empirische Verteilungsfunktionen der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Anbieter und Technologie (links 2012 – rechts 2013). 82
Abbildung 5.11: Verteilung der prozentual erreichten Übertragungsrate nach Anbieter und Bandbreiteklasse 84
Abbildung 5.12: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geografischen Bereichen..... 85
Abbildung 5.13: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Übertragungsrate nach geografischen Bereichen..... 86
Abbildung 5.14: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geografischen Bereichen und Bandbreiteklassen 88
Abbildung 5.15: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geografischen Bereichen und Technologie 90

Abbildung 5.16: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach Kundenzufriedenheit 91
Abbildung 5.17: Häufigkeiten der Kundenzufriedenheit aller Kunden..... 92
Abbildung 5.18: Häufigkeiten der synchronisierten Datenraten für die 15 häufigsten vermarkteten Datenübertragungsraten(Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden in Übereinstimmung mit der Auswertung der Daten aus 2012 statt der 20 Mbit/s-Anschlüsse die 64 Mbit/s-Anschlüsse in der Grafik gezeigt.) ... 97
Abbildung 5.19: Empirische Verteilungsfunktionen der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für die Teilstichprobe bei Messung über LAN und WLAN 99
Abbildung 5.20: Empirische Verteilungsfunktionen der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für die Teilstichprobe mit und ohne Berücksichtigung des parallelen Datenverkehrs 101
Abbildung 5.21: Zeitliche Verteilung der Download-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Download-Datenübertragungsrate nach Technologie.....103
Abbildung 5.22: Zeitliche Verteilung der Download-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Download-Datenübertragungsrate nach Bandbreitenklasse.....103
Abbildung 5.23: Zeitliche Verteilung der Upload-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Upload-Datenübertragungsrate nach Technologie 104
Abbildung 5.24: Zeitliche Verteilung der Upload-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Upload-Datenübertragungsrate nach Bandbreiteklasse 104
Abbildung 5.25: Zeitliche Verteilung der Laufzeit über Stunden nach Technologie 106
Abbildung 5.26: Zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit über Stunden nach Technologie für eine Webseite mit komplexen Inhalten .109
Abbildung 5.27: Zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit über Stunden nach Bandbreiteklasse für eine Webseite mit komplexen Inhalten 110
Abbildung 7.1: Standorte der deutschlandweiten Messplattform.....118
Abbildung 7.2: Messung der Datenübertragungsrate - Download.....128
Abbildung 7.3: Messung der Datenübertragungsrate - Upload.....130
Abbildung 7.4: Messung der Laufzeit 131
Abbildung 7.5: Messung der Webseiten-Downloadzeit.....134
Abbildung 7.6: Überblick der Validierungsstufen, in denen jeweils Datensätze mit unplausiblen Werten verworfen werden.....139