Abschlussbericht

„Dienstequalität von Breitbandzugängen“

Studie im Auftrag der Bundesnetzagentur

Autorin/Autoren:

Kai Lukas
Dr. Almuth Marx
Bernd Oliver Schöttler
Christoph Sudhues

zafaco GmbH
Moaranger 3
85737 Ismaning

Ismaning, 09. April 2013

Inhalt

Einleitung

1 Messbarkeit der Qualität von Internetzugangsdiensten 5

1.1 Ziele der Qualitätsuntersuchung 8
1.2 Methoden der Qualitätsuntersuchung 9
1.3 Kurzzusammenfassung 11

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) 24
2.1.4 Datenübertragungsrate von Internetzugangsdiensten auf der Basis mobiler Breitbandanschlüsse (Messplattform) 37
2.2 Laufzeitenmessung (Messplattform) 39
2.3 Qualität einer Standardanwendung – Web Browsing (Messplattform) .. 40

3 Interdependenzen zwischen Bündeldiensten (Messplattform) 42

4 Darstellung der Messergebnisse 44

4.1 Darstellungsparameter 44
4.2 Graphische Darstellung der Messergebnisse 45

Ergebnisse

5 Datengrundlage 49

5.1 Endkundenmessungen (Initiative Netzqualität) 49
5.1.1 Struktur der Stichprobe 49
5.1.2 Optimale Testumgebung 56
5.1.3 Technische Validierung 57
5.1.4 Messzeitraum 60
5.2 Deutschlandweite Messplattform 61
5.2.1 Stationäre Breitbandanschlüsse 61
5.2.2 Mobile Breitbandanschlüsse 62
5.3 Kontrollmessungen 63

Ergebnisse

6 Stationäre Breitbandanschlüsse 65

6.1 Datenübertragungsrate (Endkundenmessungen) 66
6.1.1 Technologie 68
6.1.2 Bandbreiteklasse 71
6.1.3 Anbieter 77
6.1.4 Geographischer Bereich 81
6.1.5 Kundenzufriedenheit 87
6.1.6 Synchronisierte Datenrate der Leitung 91
6.1.7 Upload 93
6.2 Datenübertragungsrate zu verschiedenen Zeiten des Tages (Messplattform) 95
6.3 Laufzeiten (Messplattform) 98
6.4 Web Browsing (Messplattform) 100

7 Mobile Breitbandanschlüsse 104

7.1 Datenübertragungsrate (Messplattform) 104
7.2 Laufzeiten (Messplattform) 105
7.3 Web Browsing (Messplattform) 106
7.4 Schlussfolgerung für Messungen mobiler Breitbandanschlüsse 107

8 Interdependenzen (Messplattform) 108

8.1 Download 108
8.2 Upload 110

Endnutzermesskonzept

9 Dauerhafte Endnutzer Messungen 112

9.1 Anforderungen 112
9.2 Vergleich technischer Ansätze 113
9.2.1 Hardware Box zwischen Modem/Router und Endkundeneinrichtung 113
9.2.2 Messsoftware im Modem/Router 115
9.2.3 Software Applikation 116
9.2.4 Schlussfolgerung 118

Glossar

10 Glossar 119

Anhang

11 Technische Darstellung der Messverfahren 125
11.1 Messaufbau der Messplattform 125
11.1.1 Messeinheiten stationäre Messungen.....128
11.1.2 Messeinheiten mobile Messungen 129
11.2 Messaufbau der Endkundenmessung.....130
11.3 Daten-Referenz-Systeme.....131
11.4 Messablauf 132
11.4.1 Messung der Datenübertragungsrate – Download 132
11.4.2 Messung der Datenübertragungsrate – Upload 134
11.4.3 Messung der Laufzeit 135
11.4.4 Messung der Webseiten-Downloadzeit.....137
11.4.5 Interdependenzmessung 140
11.5 Technische Validierung.....142

Einleitung

1 Messbarkeit der Qualität von Internetzugangsdiensten

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.

Außerdem werden heute häufig neben dem Internetzugang zusätzlich separate Dienstleistungen über den Breitbandanschluss angeboten. Triple Play-Angebote bestehen z.B. aus Internetzugangsdienst, Telefonie und IPTV. Bei derartigen Breitbandbündelangeboten konkurrieren die im Bündel zusammengefassten Dienste um die verfügbare Datenübertragungsrate des Anschlusses. Dabei handelt es sich um Diensteeinstellungen, die von Netzbetreibern einheitlich für Anschluss-, Konzentrations- und Kernnetz implementiert werden.

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.

Ferner bestimmt die Steuerung der Verkehrsflüsse (Verkehrsmanagement) im Konzentrations- und Kernnetz durch den Internetzugangsanbieter die Qualität des Internetzugangsdienstes. Durch die Implementierung von (pauschal vorgegebenen) Verkehrsmanagementprofilen können Datenpakete bestimmter Anwendungen, Inhalte, Ursprünge oder Ziele mit unterschiedlicher Priorität oder Geschwindigkeit transportiert werden, oder sogar ganz geblockt werden[1].

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

1. Qualität des Anschlusses
    - theoretische maximal erreichbare Datenübertragungsrate
    - Beeinflussung durch Bündelprodukte aufgrund der Konkurrenzsituation (Double Play und Triple Play)
2. Transportgüte im Konzentrations- und Kernnetz
    - Dimensionierung der Netzinfrastruktur und Zuweisung von Netzressourcen je Zugangsprodukt
    - Paketlaufzeiten, Nutzung von Anwendungen
    - Priorisierung und/oder Drosselung von Verkehr bestimmter Anwendungen/Ziele

[1] Solche Verkehrsmanagementstrategien werden kritisch im Rahmen der Debatte um Netzneutralität diskutiert. BEREC hat Netzneutralität definiert als die Gleichbehandlung von Datenpaketen unabhängig von Ursprung, Ziel, Inhalt, Anwendung oder Anbieter, vgl. BoR (10) 42, S. 2.

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.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Einflussfaktoren geben die Anbieter regelmäßig die erreichbare Datenübertragungsrate nur näherungsweise „bis zu" an. Dabei fehlt es oft an einer hinreichenden Transparenz, wie viel ein Endkunde von der vermarkteten Bandbreite tatsächlich nutzen kann. Daher bietet das novellierte TKG in §§ 43a, 45n TKG erweiterte Transparenzvorgaben, die es Endkunden erleichtern sollen, auf einfache Weise Umfang und Qualität von angebotenen Telekommunikationsdiensten zu vergleichen und damit eine informierte Entscheidung zu treffen. Hierzu hat die Bundesnetzagentur unter anderem die Kompetenz erhalten, die Anbieter zur Erhebung der tatsächlichen Mindestqualität zu verpflichten, eigene Messungen anzustellen oder Hilfsmittel zu entwickeln, die es dem Endkunden ermöglichen, eigenständige Messungen anzustellen (§ 43a Abs. 3 S. 2 TKG).

Vor diesem Hintergrund hat die zafaco GmbH im Auftrag der Bundesnetzagentur von Juni bis Dezember 2012 umfangreiche Messungen zur Dienstequalität breitbandiger Internetzugänge durchgeführt.

Die Studie ist dabei auch der Frage nachgegangen, ob Datenpakete je nach Anwendung, Ursprung, Ziel oder Inhalt systematisch unterschiedlich behandelt werden (Netzneutralitätsthematik). Die Untersuchungen dauern hierzu noch an; ihre Ergebnisse werden in einem separaten Dokument dargestellt werden.

1.1 Ziele der Qualitätsuntersuchung

Die Studie hat in einem ersten Schritt die Parameter betrachtet, die maßgeblich die Qualität der Dienstleistung „Internetzugangsdienst" gegenüber dem Endkunden beeinflussen, namentlich:

- Prozentual erreichte Datenübertragungsrate des Anschlusses.

  Dabei wurden sowohl stationäre Technologien (insbesondere xDSL-, Breitbandkabelanschlüsse und stationär genutzte LTE-Anschlüsse) als auch Mobilfunk-Internetzugangstechnologien 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.

- Management der Verkehrlast im Konzentrations- und Kernnetz.

  Hierbei wurden die zeitliche Verteilung der realisierten Datenübertragungsraten, Laufzeiten sowie die Nutzbarkeit von Standardanwendungen in den Blick genommen.

In einem zweiten Schritt ist die Studie der Frage nachgegangen, ob sich die Datenübertragungsrate verändert, wenn bei Bündelprodukten aus Internet, VoIP und IPTV neben dem Internetzugang auch andere Produkte genutzt werden. Hierzu wurde zunächst die Datenübertragungsrate des Internetzugangs erfasst und dann mit der erreichbaren Datenübertragungsrate bei parallel genutztem VoIP und/oder IPTV verglichen.

Zuletzt wird die Frage thematisiert, wie der Endnutzer befähigt werden kann, eigenständig die Leistung seines individuellen Breitbandanschlusses verlässlich zu überprüfen. Denn häufig ist den Kunden nicht bekannt, ob und wenn ja wie stark die tatsächlich erreichte Datenübertragungsrate von der vermarkteten Datenübertragungsrate abweicht. Die Bedingungen für ein solches, durch Endkunden nutzbares Messkonzept bilden den letzten Untersuchungsgegenstand der Studie.

1.2 Methoden der Qualitätsuntersuchung

Die ersten beiden der 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 zu den folgenden Aspekten in einer vollständig kontrollierten Messumgebung erfasst:

- Verfügbare Datenübertragungsrate von mobilen Internetzugangsdiensten
- Management der Verkehrlast im Konzentrations- und Kernnetz. Hierbei wurden die zeitliche Verteilung der realisierten Datenübertragungsraten, Laufzeiten sowie die Qualität einer typischen Endnutzeranwendung in den Blick genommen (Web Browsing).

- Einfluss durch die Nutzung von konkurrierenden Bündelprodukten auf die Qualität des Internetzugangsdienstes

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

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 4).

Die Ergebnisse der Studie werden zusammenhängend in Kapitel 5 bis 8 dargestellt.

In einem abschließenden Teil (Kapitel 9) werden mögliche Rahmenbedingungen für ein Endnutzermesskonzept entwickelt.

1.3 Kurzzusammenfassung

Im Rahmen der Studie wurde die Datenübertragungsrate stationärer Internetzugangsdienste qualitätsgesichert durch Endkundenmessungen erhoben. Dabei wurden mit Hilfe einer Software Applikation 226.543 valide Einzelmessungen durchgeführt. Das statistische Monitoring zeigte, dass die Bevölkerung in ganz Deutschland gleichmäßig durch die Teilnahmeaufrufe erreicht wurde.

Dabei konnten zunächst Unterschiede bei den prozentual erreichten Datenübertragungsraten beobachtet werden, die die untersuchten stationären Anschlusstechnologien erreichen konnten. Die geringsten Abweichungen von der vermarkteten Download-Datenübertragungsrate traten bei Kabelanschlüssen auf. Gleichzeitig liegen die Datenübertragungsraten für Upload und Download bei diesen Anschlüsse vergleichsweise weit auseinander. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die erreichte Upload-Datenübertragungsrate durchaus der für den Upload vermarkteten Datenübertragungsrate entsprechen kann.

Bei der Betrachtung der Bandbreitklassen zeigten sich ebenfalls erkennbare Unterschiede bei den prozentual erreichten Datenübertragungsraten. Die geringsten Abweichungen sind technologie-übergreifend in der untersten Bandbreiteklasse (<= 2 Mbit/s) aufgetreten. Demgegenüber sind die größten Abweichungen in der obersten Bandbreiteklasse 50-100 Mbit/s für Kabelanschlüsse und 25-50 Mbit/s für LTE-Anschlüsse, bzw. in der Bandbreiteklasse zwischen 8-18 Mbit/s für DSL-Anschlüsse gemessen worden.

Zwischen ländlichen, halbstädtischen und städtischen Regionen zeigten sich hingegen nur geringe Differenzen, wobei jedoch bei Anschlüssen städtischer Regionen in der Regel geringere Abweichungen aufgetreten sind. Eine Ausnahme hiervon bilden die stationären LTE-Anschlüsse, bei denen in Ballungszentren deutlich niedrigere Datenübertragungsraten gemessen wurden.

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%).

Im Rahmen der Laufzeitmessungen wurde festgestellt, dass die Laufzeiten bei Kabel-Anschlüssen über den gesamten Tagesverlauf unter denen von DSL-Anschlüssen und stationären LTE-Anschlüssen lagen. Jedoch wiesen die Kabelanschlüsse in den Abendstunden eine etwas erhöhte Laufzeit auf (bis zu 10%).

Auch bei der Untersuchung von Web Browsing als ein typisches Nutzungsszenario lagen die Webseiten-Downloadzeiten von Kabel-Anschlüssen unter denen von DSL-Anschlüssen und stationären LTE-Anschlüssen. Für alle Technologien verschlechterten sich die Werte jedoch um bis zu 15% in den Abendstunden.

Die Interdependenzmessungen haben ergeben, dass technologie-übergreifend bei paralleler Inanspruchnahme von Bündeldiensten eine Verringerung der Download Datenübertragungsrate auftrat.

Mobile UMTS-Anschlüsse wurden im Rahmen eines Bewegungstests stichpunktartig untersucht. Die dabei festgestellten prozentual erreichten Datenübertragungsraten waren regional sehr unterschiedlich. Dies legt den Schluss nahe, dass ein Bewegungs-/Drivetest zwar insbesondere für die exakte räumliche Analyse der Ende-zu-Ende Qualität einzelner Dienste zu einem gegeben Zeitpunkt angewendet werden kann, aber keinen von Ort und Zeit unabhängigen Rückschluss auf die Qualität der mobilen Internetzugänge zulässt.

Zuletzt wurden ausgewählte technische Ansätze für Endnutzermessungen miteinander verglichen. Insgesamt überwiegen dabei grundsätzlich die Vorteile von qualitätsgesicherten Softwarelösungen; allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die konkrete Ausgestaltung und damit die wesentlichen Vorteile essenziell von den privatwirtschaftlichen bzw. regulatorischen Rahmenbedingungen abhängig sind.

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 beurteilt.

Im Folgenden werden für die einzelnen Qualitätsparameter das angewandte Messverfahren, die konkret betrachteten Produkte sowie der Messaufbau detailliert dargestellt. Sofern notwendig, wird dabei zwischen stationären und mobilen breitbandigen Internetzugängen unterschieden werden.

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 10 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 6 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. 5.3).

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. 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 FTP-Protokoll 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) 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.

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[7] ausgewählt. (vgl. Tabelle 1). Ebenfalls wurden UMTS-Anschlüsse der Anbieter Telekom Deutschland, Vodafone, Telefonica und E-Plus gemessen.

Tabelle 1: Untersuchte Anbieter stationärer Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform (Quelle: VATM TK-Marktanalyse Q3/2011)

Stationäre Breitbandanschlüsse		
Anbieter	**Marktanteil**	**Klassifizierung**
Telekom	44,9%	Überregional
Vodafone	11,9%	Überregional
United Internet	11,9%	Überregional
Telefónica	9,0%	Überregional
Unitymedia KabelBW	7,2%	Regional
Kabel Deutschland	5,8%	Regional
Versatel	2,5%	Regional
EWE	2,5%	Regional
NetCologne	1,4%	Lokal
M-net	0,7%	Lokal
KielNet	in 'übrige'	Lokal
congstar	in 'Telekom'	Überregional
Tele2	in 'übrige'	Regional

[7] VATM TK-Marktanalyse Q3/2011

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 5 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 deutschlandweiten Messplattform untersuchte Anbieter LTE stationärer Breitbandanschlüsse

LTE stationäre Breitbandanschlüsse		
Anbieter	**Technologie**	**Standorte**
Telekom	LTE stationär	2
Vodafone	LTE stationär	2
O2	LTE stationär	1

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 waren alle Endkunden aufgerufen, zwischen dem 14.06.2012 und dem 31.12.2012 über einen browserbasierten Test (www.initiative-netzqualitaet.de) die Datenübertragungsrate ihres spezifischen Internetzugangsdienstes zu 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

Vor diesem Hintergrund wurde für diese Studie auf einer Flash-Applikation der Firma AVM aufgesetzt, die außerdem ein Auslesen der synchronisierten Datenrate der Leitung aus „AVM Fritz!Boxen" ermöglicht.[8] Durch die weite Verbreitung von Flash war es Endkunden regelmäßig möglich, die Software-Applikation ohne weiteren Installationsaufwand auf ihren Rechnern zu nutzen.

Die eingesetzte Software-Applikation 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.

Die Endkundenmessungen erfolgten zwischen der Software-Applikation, die als *Flash PlugIn* im Browser des Endgerätes ausgeführt wird, und Daten-Referenz-Systemen.

Ein Einfluss von fehlerhaften Flash-Versionen konnte ausgeschlossen werden, weil in einem solchen Fall keine Messwerte generiert werden konnten oder diese im Rahmen einer Validierung verworfen wurden.

[8] Dieser zusätzliche Wert ist hilfreich zu Validierungszwecken und für Ursachenanalysen bei unzureichender Performance.

Die Datenübertragungsrate kann aber durch im Hintergrund laufende Anwendungen beeinflusst werden, die in den Datenaustausch zwischen Browser und Daten-Referenz-Systemen eingebunden sind (z.B. Virenscanner oder Firewalls). Die gleichen Effekte treten auf, wenn andere Endgeräte (z.B. Smartphones, Tablets) über WLAN auf den zu messenden Breitbandanschluss zugreifen. Die verlässlichsten Ergebnisse lassen sich daher erzielen, wenn weder andere datenintensive Anwendungen noch weitere Endgeräte auf den zu messenden Internetzugang bzw. auf den Breitbandanschluss zugreifen. Schließlich sollte die Messung kabelgebunden über LAN durchgeführt werden, um Qualitätseinbußen durch die WLAN-Verbindung zu vermeiden.

Vor diesem Hintergrund wurden die Endnutzer zunächst über diese Voraussetzungen informiert, und dann 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 Zugangs-Einheit anzuschließen. Schließlich wurde vor der Messung abgefragt, ob bei der Messung eine solche optimale Testumgebung vorgelegen hat (vgl. 2.1.3.1). In die Auswertung der Studie sind nur die Datensätze eingegangen, die bei optimaler Testumgebung ermittelt worden sind.

Ferner wurden die Endnutzer darüber informiert, dass lokale LAN-Konfigurationen (z.B. Proxy-Einstellungen) die Datenübertragungsrate beschränken können, die dem einzelnen Client zur Verfügung steht.

Daten-Referenz-Systeme

Für die Endkundenmessungen wurden an mehreren Orten zehn 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. Im bisher im Produktivbetrieb 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

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 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 2.4). Dies waren im Einzelnen Angaben zu:

- **Postleitzahl**

  Um den gemessenen Anschluss regional zuordnen zu können (vgl. 0), 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. Über die Auswahl „Sonstige" war eine Freitexteingabe möglich.

- **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.

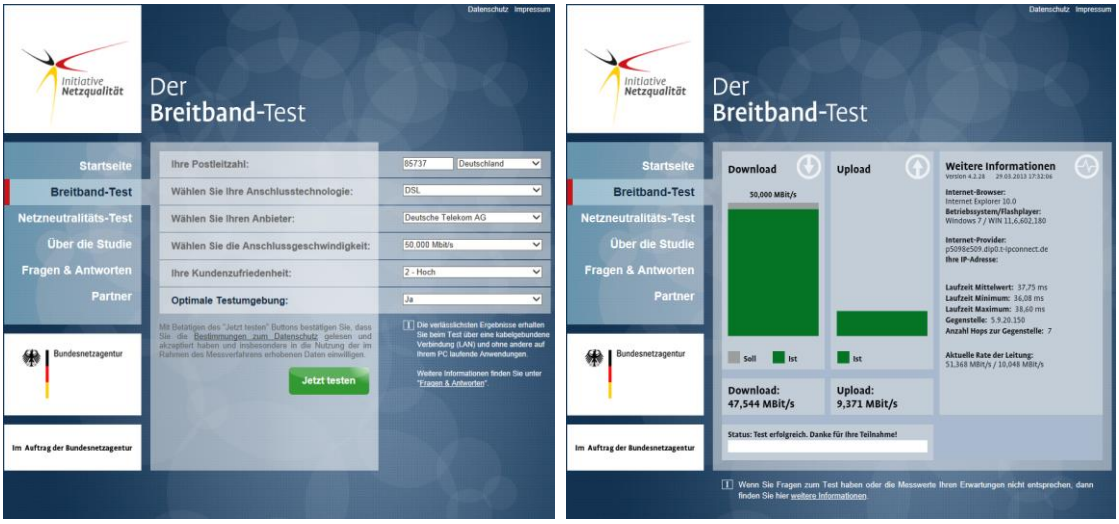

Abbildung 2.3: Benutzeroberfläche der Endkundenmessung

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

- Übersetzung von Freitexteingaben in Standardbezeichnungen mit Hilfe regelmäßig aktualisierter Umsetzungstabellen.
- 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)[9].

Postleitzahl mit Zuordnung geographischer Bereich und Bundesland

- Zuordnung von Bundesland und geographischem Bereich (städtisch, halbstädtisch, ländlich[10]) basierend auf der Bevölkerungsdichte[11] 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.

---

[9] 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.

[10] Klassifizierung gemäß Eurostat

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

Synchronisierte Datenrate der Leitung

Mit der Software-Applikation war es zudem möglich, die synchronisierte Datenrate der Leitung für Geräte (Router-Modem-Kombination) des Herstellers AVM auszulesen. 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.

2.1.3.2.2 Kontrollmessungen über deutschlandweite Messplattform

Zur Überwachung der Messgenauigkeit der Software-Applikation wurde automatisiert an Testanschlüssen an verschiedenen Standorten der Messplattform die Datenübertragungsrate mit der Software-Applikation gemessen[12].

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

Im Studienzeitraum zeigten sich keine offenkundigen Abweichungen. Die Ergebnisse der Kontrollmessungen werden unter 5.3 dargestellt.

Momentan 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 Software Applikation erfolgen. Aus diesem Grund sind Messungen von Glasfaser-Anschlüssen nicht in die Auswertung eingeflossen.

[12] 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 Software-Applikation 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. 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.

Demgegenüber wurden in der Studie 547.978 Messungen durchgeführt, von denen 226.543 valide Einzelmessungen in die Auswertung eingingen. 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[13]. Außerdem haben das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), verschiedene Landesministerien, die Verbraucherzentralen und insbesondere auch die Breitbandkompetenzzentren des Bundes und der Länder auf die Studie aufmerksam gemacht.

Durch diese unterschiedlichen Kanäle 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.

[13] Diese Pressemitteilungen wurden unter anderem aufgegriffen von heise.de, stern.de, ZDF und WDR sowie unterschiedlichen Printmedien.

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. Dabei wurden überregionale, regionale und lokale Anbieter in die Studie mit einbezogen, um die am Markt vertretenen Anbieter repräsentativ abbilden zu können. (vgl. Tabelle 3) Im Ergebnisteil werden die Anbieter nicht namentlich genannt, sondern als Anbieter A, B, C, usw. dargestellt.

Tabelle 3: Untersuchte Anbieter stationärer Breitbandanschlüsse
(Quelle: VATM TK-Marktanalyse Q3/2011)

Anbieter	Marktanteil
Telekom	44,9%
Vodafone	11,9%
United Internet	11,9%
Telefónica	9,0%
Unitymedia KabelBW	7,2%
Kabel Deutschland	5,8%
Versatel	2,5%
EWE	2,5%
NetCologne	1,4%
M-net	0,7%
übrige	2,2%

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]:

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

[14] Referenzverteilung gemäß Bandbreiteclusterung der Europäischen.Kommission COCOM

[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 geographischen Bezug aufweisen.

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

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

Abbildung 2.4: Geographische Klassifizierung

Bei auffälligen Abweichungen der Verteilung einzelner Faktoren von der Verteilung in der Grundgesamtheit wurde versucht, durch gezielte Maßnahmen wie Aufrufe in Medien, die bevorzugt bisher unterrepräsentierte Bevölkerungsgruppen erreichen, gegenzusteuern.

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.

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 2.15.3.

[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.

Dies beruht auf dem Umstand, dass die Ursachen für tageszeitliche Schwankungen der Datenübertragungsrate bei stationären Breitbandanschlüssen primär im Bereich der Netze liegen dürften und nicht im Bereich des einzelnen Anschlusses. 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 21.05.2012 bis 31.12.2012, wobei die Messungen für die stationären LTE Anschlüsse erst am 25.06.2012 begannen.

2.1.4 Datenübertragungsrate von Internetzugangsdiensten auf der Basis mobiler Breitbandanschlüsse (Messplattform)

Die Bestimmung der Datenübertragungsrate, die Internetzugangsdienste auf der Basis mobiler Breitbandanschlüsse erreichen, erfolgte an der Messplattform. Hierfür wurden im Rahmen des oben beschriebenen Verfahrens (siehe 2.1.1) Datenübertragungsraten innerhalb eines vorher definierten Messplans durch Messungen an Orten mit hohem Publikumsverkehr erfasst, an denen regelmäßig ein mobiler breitbandiger Internetzugang genutzt wird.

Produkte

Im Rahmen dieser Tests wurden die „Best in class"-Produkte der Anbieter betrachtet - also die jeweils hochwertigsten Produkte der Anbieter. Dabei kamen Surfsticks der Anbieter zum Einsatz. Die genutzten Datenvolumina wurden so bemessen, dass keine Drosselung der Datenübertragungsrate bei Überschreiten des vertraglich vereinbarten Datenvolumens auftrat („Speed Step Down").

Die gemessenen Datenübertragungsraten werden auf die jeweiligen vermarkteten Datenübertragungsraten bezogen. Die Darstellung in Kapitel 7 erfolgt aggregiert nach den in 4.1 definierten Bandbreiteklassen.

Messaufbau

Die Messungen erfolgen mit der bundesweiten Messplattform. Es wurden dedizierte Messeinheiten eingesetzt, die mit den von den Anbietern gelieferten USB-Surfsticks und Software ausgestattet waren. Die Messeinheiten sind in die Messplattform integriert, d.h. sie entsprechen in ihrer Struktur den Messeinheiten an den Standorten der Plattform (vgl. hierzu ausführlich bei 2.1.2.1), sind aber für den mobilen Einsatz konzipiert.

Die Messungen erfolgten im Oktober und November 2012 sequenziell jeweils für einen Tag in den Orten, an denen sich Standorte der deutschlandweiten Messplattform befinden. Gemessen wurde im Außenbereich an Orten mit hohem Publikumsverkehr (z.B. Bahnhof, Flughafen, Einkaufsstraße, Bildungseinrichtungen, Krankenhäuser, Industriegebiete, vgl. beispielhaft Abbildung 2.5). Abhängig von der Größe der Orte wurden an einem Tag Messungen in 1-4 Bereichen mit einer Dauer von jeweils 90 Minuten durchgeführt. In einem solchen Messintervall konnten

durchschnittlich 157 Einzelmessungen (Up- und Download) durchgeführt werden.

Hauptbahnhof

Universität

Zentrum

Flughafen

Abbildung 2.5: Messfahrten am Beispiel Berlin

2.2 Laufzeitenmessung (Messplattform)

Die Laufzeitenmessungen wurden an den stationären und den mobilen 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 April 2012 am häufigsten besuchten Webseiten aufgerufen (siehe Tabelle 4). Im Messzeitraum kam es nur zu Änderungen der Reihenfolge, während die Zusammensetzung der Liste unverändert geblieben ist. Vor diesem Hintergrund waren Anpassungen nicht erforderlich.

Tabelle 4: Alexa Top 10 Webseiten (Stand April 2012)

Alexa Top 10 Webseiten in Deutschland // April 2012	
Platz	**Webseite**
1.	http://www.google.de
2.	http://www.facebook.com
3.	http://www.google.com
4.	http://www.youtube.com
5.	http://www.ebay.de
6.	http://www.amazon.de
7.	http://www.wikipedia.org
8.	http://www.spiegel.de
9.	http://www.yahoo.com
10.	http://www.bild.de

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 Interdependenzen zwischen Bündeldiensten (Messplattform)

In einem zweiten Schritt sollte untersucht werden, ob die parallele Nutzung von Bündeldiensten wie VoIP oder IPTV sowie die zeitgleiche Nutzung von Up- und Download einen Einfluss auf die Datenübertragungsrate hat.

Für die Interdependenzmessungen ist insbesondere die präzise und reproduzierbare Simulation der VoIP- und IPTV-Nutzung erforderlich. Dies setzt die kontrollierte Steuerung komplexer Abläufe und Einbindung von Endgeräten (z.B. Set-Top-Box) voraus.

Interdependenzen zwischen dem Internetzugangsdienst und einem parallel genutzten VoIP-Dienst wurden durch Messungen an den stationären Testanschlüssen der bundesweiten Messplattform untersucht. Die Interdependenzmessung mit IPTV erfolgte dabei stichpunktartig an einem Standort. Für die Untersuchung der Auswirkung von Interdependenzen bedarf es nicht einer breiten empirischen Basis in Form von Endkundenmessungen. Vielmehr ist eine Messung an den gewählten Standorten der Messplattform geeignet, Aussagen über die Effekte von Interdependenzen zu treffen, weil diese durch allgemeine Diensteprofile verursacht sein dürften.

Messverfahren

Um den Einfluss der parallelen Nutzung von Bündeldiensten zu untersuchen, werden die Datenübertragungsraten in folgenden Szenarien gemessen:

- HTTP-Download ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten
- FTP-Upload ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten
- HTTP-Download mit paralleler Nutzung von FTP-Upload und VoIP
- FTP-Upload mit paralleler Nutzung von HTTP-Download und VoIP
- HTTP-Download mit paralleler Nutzung von FTP-Upload, VoIP und IPTV

Zur Messung der Datenübertragungsraten kommen die unter 2.1.1 beschriebenen Verfahren zum Einsatz, wobei die Datenübertragung nicht bereits nach 20 Sekunden, sondern erst nach 90 Sekunden unterbrochen

wird. Für die Lasttests mit paralleler Nutzung von Bündeldiensten wurden die Störgrößen (d.h. die Belastung durch Bündeldienste) im 5-Sekunden Abstand zueinander und 5 Sekunden vor dem Start der Messgröße (Upload/Download) initiiert und erst nach Beendigung der Messung wieder abgebaut. Ausschließlich die Messgröße fließt in die Ergebnisse ein.

Zum Beispiel gilt für das Szenario „HTTP-Download mit paralleler Nutzung von FTP-Upload und VoIP", dass der FTP-Upload als erste Störgröße (Last) mindestens 10 Sekunden vor dem Start des standardisierten HTTP-Downloads als Messgröße initiiert wird und der Voice-Call als zweite Störgröße 5 Sekunden vor dem Start des standardisierten HTTP-Downloads initiiert wird. Ausschließlich die Qualitätskennwerte des HTTP-Downloads fließen als Messgröße in die Bewertung ein.

4 Darstellung der Messergebnisse

4.1 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 insgesamt 132 Anbietern eingegangen

Für die elf Anbieter mit den größten Marktanteilen (vgl. Tabelle 2) liegen jeweils zwischen 1864 und 103.451 validierte Messungen vor. Die Anbieter werden nicht namentlich genannt, sondern als Anbieter A, B, C, usw. 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] :

- 0,384 Mbit/s bis kleiner gleich 2 Mbit/s
- Größer 2 Mbit/s bis kleiner gleich 8 Mbit/s

[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 marktübliche Produkte gebildet. Dabei schließt die Bandbreiteklasse 1 Produkte mit einer vermarkteten Datenübertragungsrate von 2,048 Mbit/s ein. Auf diese Weise konnten sinnvolle Vergleichsgruppen gebildet werden und auch technologietypische Effekte bei den Datenübertragungsraten dargestellt werden.

- 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

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).

4.2 Graphische Darstellung der Messergebnisse

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

In den Tabellen erfolgt die Darstellung der Schätzwerte in einer bestimmten Untergruppe nur dann, wenn in dieser Untergruppe genügend Messwerte vorliegen, die eine hinreichend genaue statistische Schätzung der jeweiligen Verteilung für die Grundgesamtheit 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 0,1.

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

Für die graphische 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. Denn 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 4.1 stellt anhand beispielhaft simulierter Download 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.

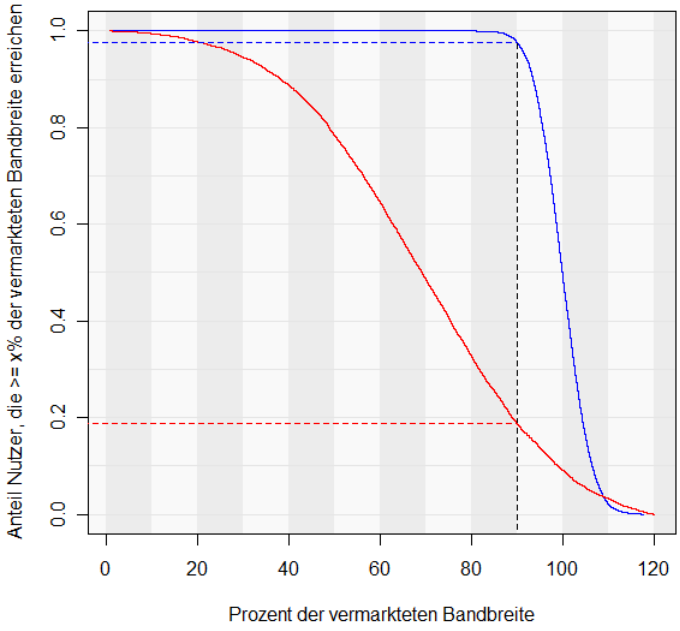

Abbildung 4.1: Beispiel für zwei empirische Verteilungsfunktionen

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 das 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.

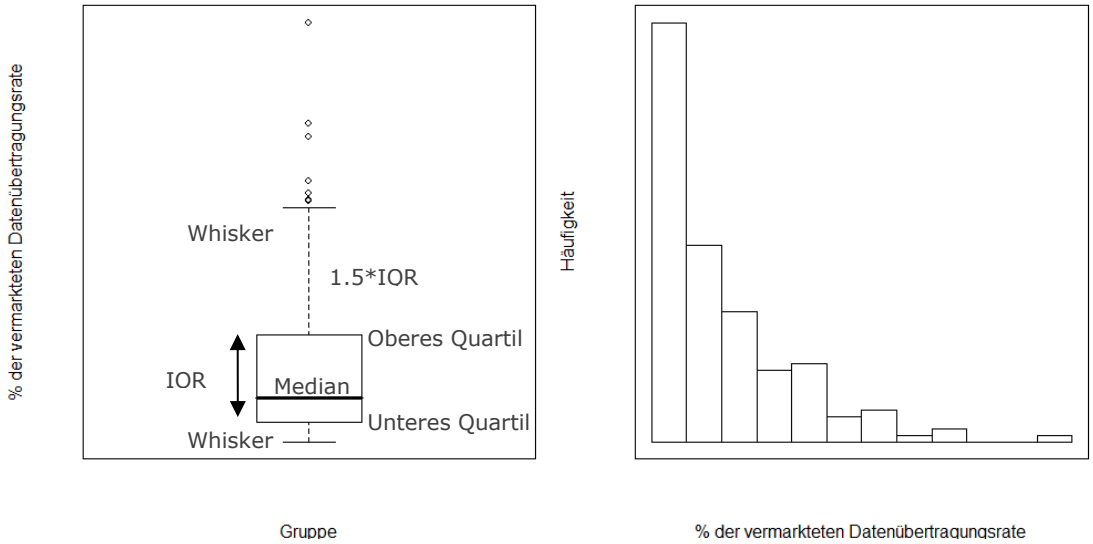

Abbildung 4.2: Beispiel für einen Boxplot und das zugehörige Histogramm

Ergebnisse

5 Datengrundlage

5.1 Endkundenmessungen (Initiative Netzqualität)

5.1.1 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
- Geographische 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 werden nur diejenigen 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. Dies entspricht genau der Stichprobe, die in die Auswertung eingeht.

Anbieter

In Abbildung 5.1 werden die prozentualen Anteile der Anbieter in der Stichprobe mit den Marktanteilen der Anbieter laut VATM TK-Marktanalyse Q3/2012 verglichen. 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.

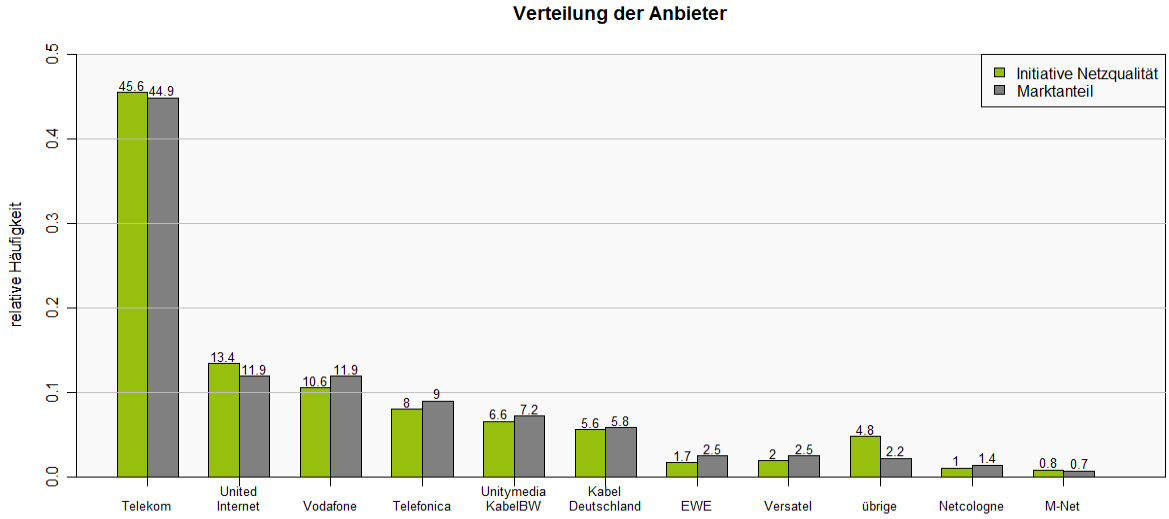

Abbildung 5.1: Verteilung der Anbieter in der Stichprobe der Initiative Netzqualität im Vergleich zu den Marktanteilen nach VATM TK Marktanalyse Q3/2012

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

Bundesländer

Abbildung 5.2 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.

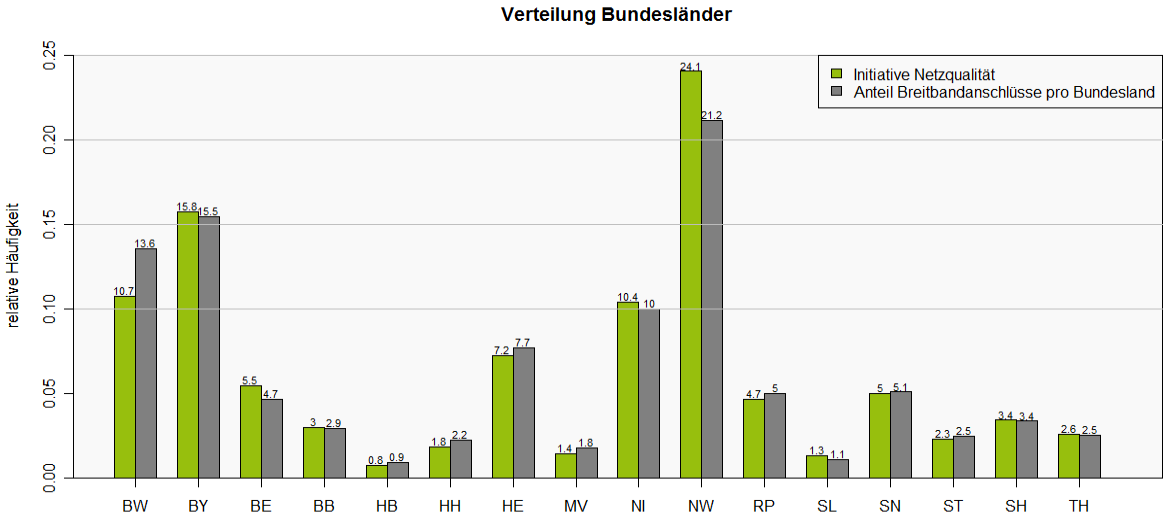

Abbildung 5.2: Verteilung der Studienteilnehmer auf die Bundesländer im Vergleich zur Verteilung der Breitbandanschlüsse[25]

Die Messungen spiegeln auch die regionale Verteilung der Breitbandanschlüsse auf die Bundesländer sehr gut wider. Lediglich Breitbandanschlüsse in Baden Württemberg sind unterrepräsentiert, während für Nordrhein-Westfalen ein größerer Stichprobenanteil vorliegt, als nach der Verteilung der Breitbandanschlüsse zu erwarten wäre. Dies liegt vor allem an einem Aufruf im WDR am 28.09.2012, der offensichtlich sehr große Wirkung zeigte.

---

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

[24] Initiative D21, „(N)onliner Atlas 2011" S. 58 Breitbandnutzung nach Bundesländern, Juli 2011

[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

Geographische 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 5.3).

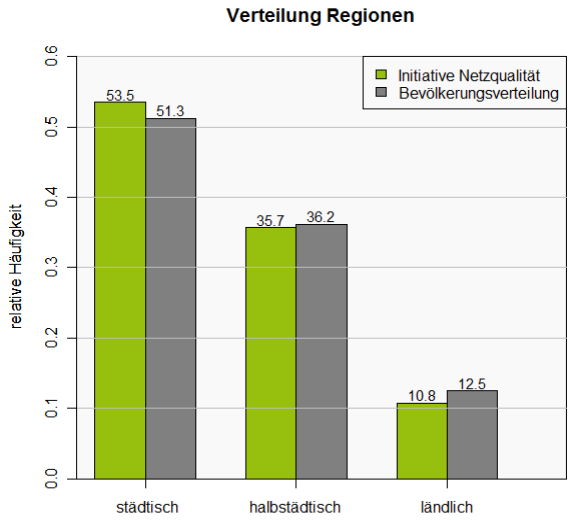

Abbildung 5.3: Verteilung der Studienteilnehmer nach Regionen im Vergleich zur Bevölkerungsstatistik

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 86,8% auf DSL- und zu 13,2% auf Kabelanschlüsse. Bei dieser Aufstellung sind LTE-Anschlüsse noch nicht berücksichtigt Nach ersten Erhebungen dürften sie rund 1,0% der Breitbandanschlüsse in Deutschland ausmachen, in der Stichprobe kommen sie sogar zu 3,0% vor (vgl. Abbildung 5.5.).

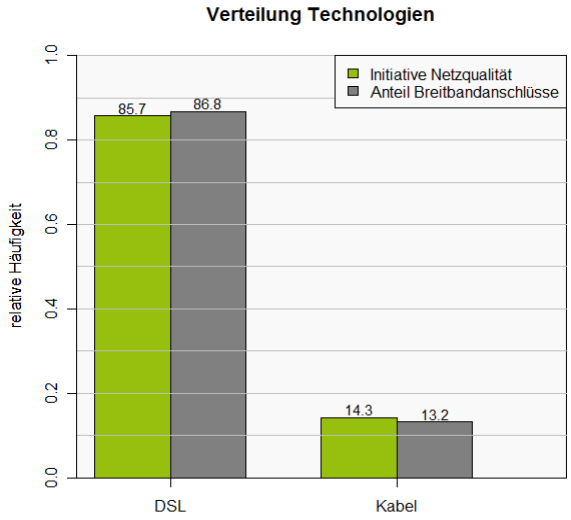

Abbildung 5.4: Vergleich der von den Studienteilnehmern angegebenen Technologien mit der Verteilung der Breitbandanschlüsse (CoCom Q2/2012)

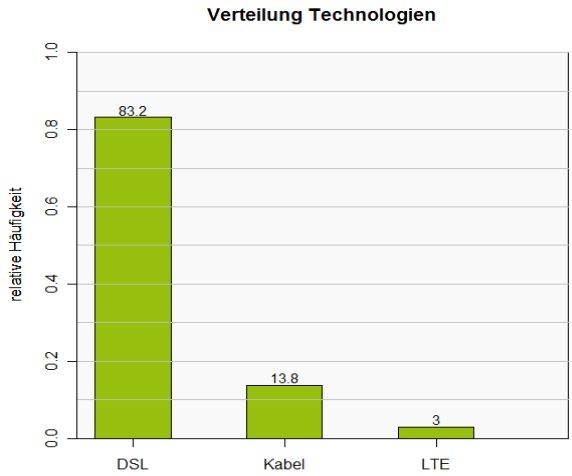

Abbildung 5.5: Verteilung der Studienteilnehmer auf die Technologien DSL, Kabel und LTE stationär.

Bandbreiteklassen

In Abbildung 5.6 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 4.1) gewählt werden.

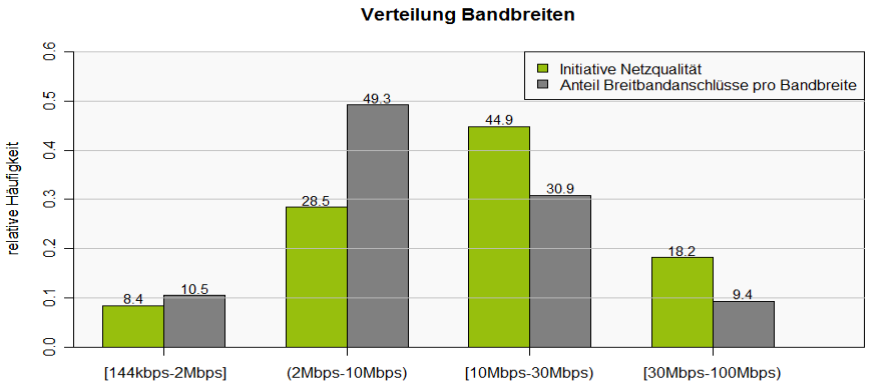

Abbildung 5.6: Verteilung der Anschlüsse der Studienteilnehmer nach Bandbreiteklassen und Referenzverteilung mit Stand 07/2012 (Quelle: Bundesnetzagentur)

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 geographische 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 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. 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.

5.1.2 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 nicht der Fall ist (vgl. ausführlich 2.1.2.2).

Stichpunktartige Untersuchungen legen nahe, dass vor allem bestimmte Virenscanner einen negativen Einfluss auf die dem Benutzer im Browser zur Verfügung stehende Datenübertragungsrate haben. Dabei variiert die Beeinträchtigung je Typ des Virenscanners. Beeinflussungen zeigten sich insbesondere bei Virenscannern mit aktivierter Browserschutz-Funktion.

Bei Zwischenauswertungen wurde die Auswirkung einer nicht-optimalen Testumgebung auf die Messergebnisse untersucht. Es zeigte sich, dass sowohl bei den optimalen als auch bei den nichtoptimalen Messungen die Varianz groß ist. Bei beiden Testumgebungen wurden große Abweichungen von der vermarkteten Datenübertragungsrate gemessen

Im Mittel waren die prozentual erreichten Datenübertragungsraten bei nicht optimaler Umgebung um etwa 8% geringer als bei optimalen Bedingungen.

Dabei zeigte sich, dass die Auswirkungen mit steigender vermarkteter Datenübertragungsrate stärker ausgeprägt waren: Während in der Klasse der Anschlüsse bis zu 2 Mbit/s die Abweichung im Mittel 2,5% betrug, lag sie bei den Anschlüssen über 50 Mbit/s bei 26,7%.

Da nicht festgestellt werden konnte, welche der unter nichtoptimalen Bedingungen durchgeführten Messungen tatsächlich durch andere Programme maßgeblich beeinflusst wurden, wurden alle Messwerte, die unter nichtoptimalen Bedingungen gewonnen wurden, für die weitergehende Analyse ausgeschlossen. Dies betrifft insgesamt 122.858 Werte.

5.1.3 Technische Validierung

Die technische Validierung wurde gemäß 2.1.3.2.1 durchgeführt.

Von den 547.978 durch Endverbraucher durchgeführten Messungen wurden aufgrund der kaskadierten Plausibilitätstets 70.786 Messungen verworfen.

Bei der Elimination von Mehrfachmessungen wurden weitere 113.402 Messungen verworfen.

In der Auswertung wurden 2.196 Messungen von in Glasfaser Technologie realisierten Anschlüssen und 3.246 Messungen von in ‚übrigen' Technologien (z.B. WiMAX, UMTS, etc.) realisierten Anschlüssen nicht betrachtet. Von den verbleibenden Messwerten wurden 8.947 Messungen von Anschlüssen ≥ 100 Mbit/s von den weiteren Analysen ausgeschlossen.

Teilstichprobe AVM-Kunden

Für 47.431 Nutzer (20,9%) 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 des Herstellers AVM einsetzen.

Dabei wurde deutlich, dass regelmäßig die synchronisierte Datenrate in dem Bereich lag, den die Endkunden als vermarktete Datenübertragungsrate angegeben haben. Die Ergebnisse werden im Detail bei 6.1.6 dargestellt. Das deutet darauf hin, dass die Endkunden zwischen der rein beworbenen Datenübertragungsrate und der vereinbarten Datenübertragungsrate zu unterscheiden wissen. Insbesondere besteht damit kein Grund zur Annahme, dass die Endkunden – bewusst oder unbewusst – die höheren Werbeversprechen angegeben haben.

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 AVM Nutzer mindestens genauso gut der Verteilung der Grundgesamtheit entspricht, wie dies für die gesamte Stichprobe der Fall ist.

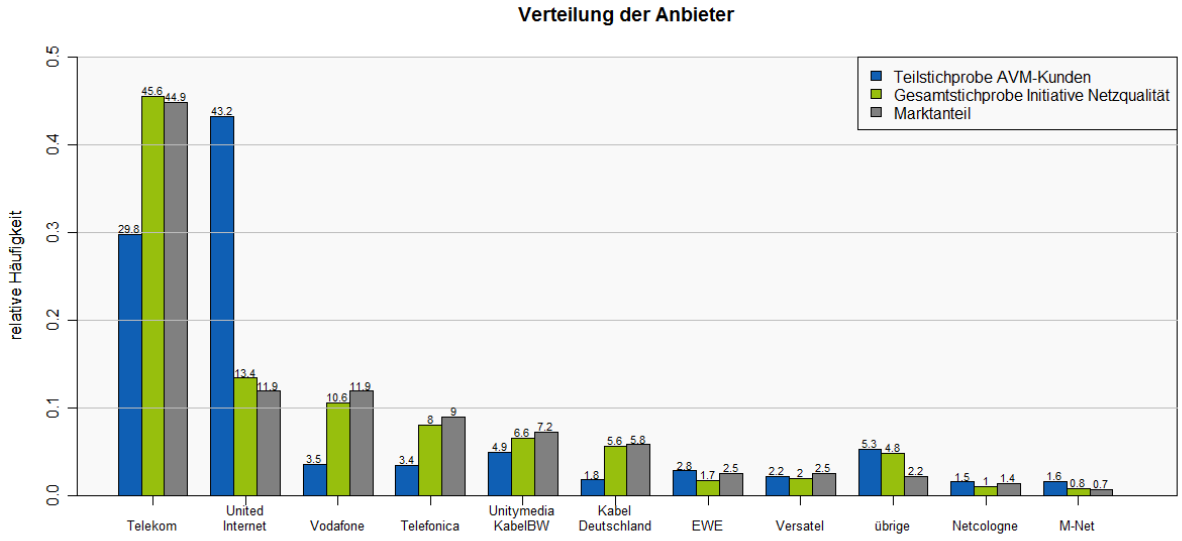

Abbildung 5.7: Verteilung der Anbieter in der Stichprobe der Initiative Netzqualität im Vergleich zu den Marktanteilen nach VATM TK Marktanalyse Q3/2012 und zur Teilstichprobe der AVM-Kunden

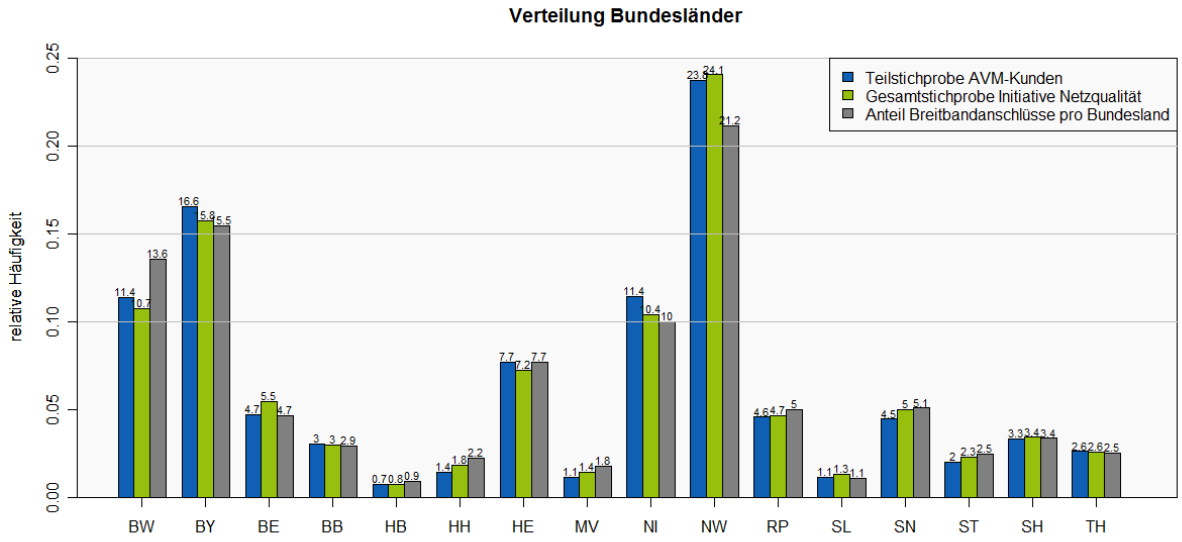

Abbildung 5.8: Verteilung der Studienteilnehmer auf die Bundesländer im Vergleich zur Verteilung der Breitbandanschlüsse und zur Teilstichprobe der AVM-Kunden

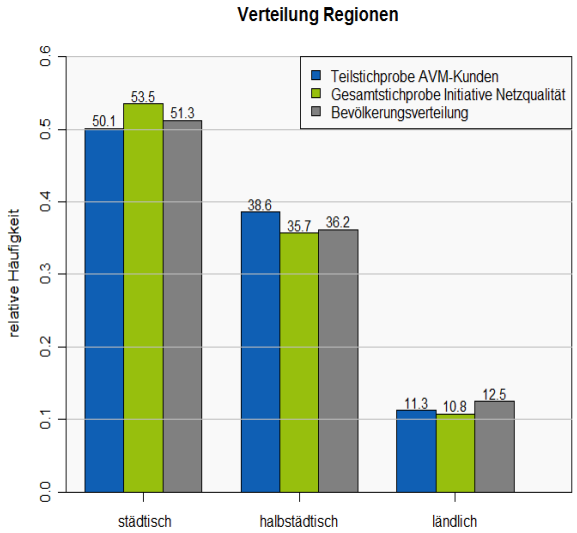

Abbildung 5.9: Verteilung der Studienteilnehmer nach Regionen im Vergleich zur Bevölkerungsstatistik und zur Teilstichprobe der AVM-Kunden

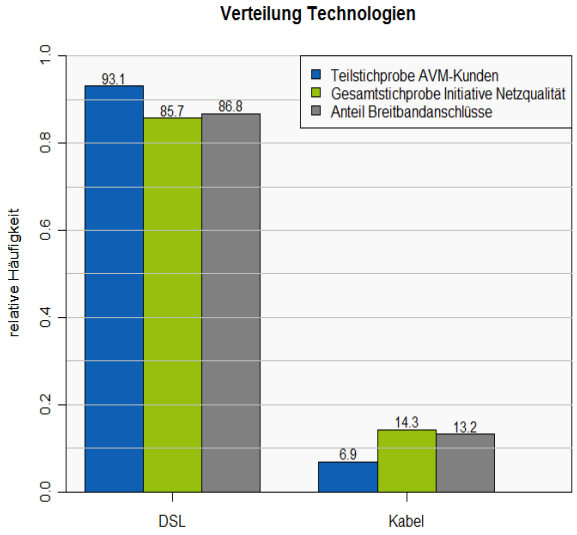

Abbildung 5.10: Vergleich der von den Studienteilnehmern angegebenen Technologien mit der Verteilung der Breitbandanschlüsse (CoCom Q2/2012) und zur Teilstichprobe der AVM-Kunden

Lediglich im Hinblick auf die Verteilung der Anbieter waren deutliche Unterschiede zu erkennen Dies ist insofern zu erklären, als AVM Geräte von manchen Anbietern standardmäßig mitvertrieben werden, während andere Anbieter Geräte anderer Hersteller von Hause aus mitliefern.

5.1.4 Messzeitraum

Die im Rahmen der Studie betrachteten Messungen der Initiative Netzqualität wurden vom 14.06.2012 bis 31.12.2012 durchgeführt.

5.2 Deutschlandweite Messplattform

5.2.1 Stationäre Breitbandanschlüsse

Die Messungen stationärer Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform erfolgten vom 21.05.2012 bis 31.12.2012, wobei die Messungen der stationären LTE Anschlüsse am 25.06.2012 begannen.

Auf der deutschlandweiten Messplattform erfolgte für stationäre Anschlüsse die Messung der Laufzeiten und der tageszeitlichen Verteilung der Datenübertragungsrate. Außerdem wurden Interdependenzen und 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 Software Applikation durchgeführt wurden.

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

Stationäre Breitbandanschlüsse	
Messung	**N**
HTTP Download	376.254
HTTP Download mit FTP Upload und VoIP	379.588
HTTP Download mit FTP Upload, VoIP, IPTV	9.132
FTP Upload	378.939
FTP Upload mit HTTP Download und VoIP	379.657
Laufzeit	379.856
Web Browsing	3.912.405

5.2.2 Mobile Breitbandanschlüsse

Die Messungen mobiler Breitbandanschlüsse mit den mobilen Messeinheiten der deutschlandweiten Messplattform fanden im Oktober und November 2012 statt.

Die Anzahl der dabei durchgeführten Messungen ist in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Anzahl der Messungen mobiler Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform für verschiedene Tests

Mobile Breitbandanschlüsse	
Messung	**N**
HTTP Download	6.621
FTP Upload	6.583
Laufzeit	6.717
Web Browsing	29.415

5.3 Kontrollmessungen

Zur Überwachung der Messgenauigkeit wurde automatisiert an Testanschlüssen an verschiedenen Standorten der deutschlandweiten Messplattform die Datenübertragungsrate mit der Software Applikation 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 Software Applikation ermittelten Messwerten für verschiedene Anbieter und vermarktete Datenübertragungsraten.

Zum Vergleich der Messverfahren wurden beispielhaft für zwei Anschlüsse Messungen der Softwareapplikation und in zeitlicher Nähe dazu durchgeführte Messungen der Messplattform betrachtet.

Die prozentuale Abweichung wird durch 100*(Software-Messplattform)/Messplattform berechnet und in Abbildung 5.11 im Boxplot dargestellt. Es zeigt sich, dass die Abweichungen beim 16 Mbit/s Anschluss im Mittel geringfügig größer als Null sind (Mittelwert=0,67%, Median 0,96%). Die Softwareapplikation hat hier also im Mittel geringfügig höhere Werte gemessen als die Messplattform. Demgegenüber lagen beim 64 Mbit/s Anschluss die Werte aus der Softwareapplikation im Mittel etwas unterhalb der Messungen der Plattform (Mittelwert der prozentualen Abweichung=-0,53%, Median=-0.1%).

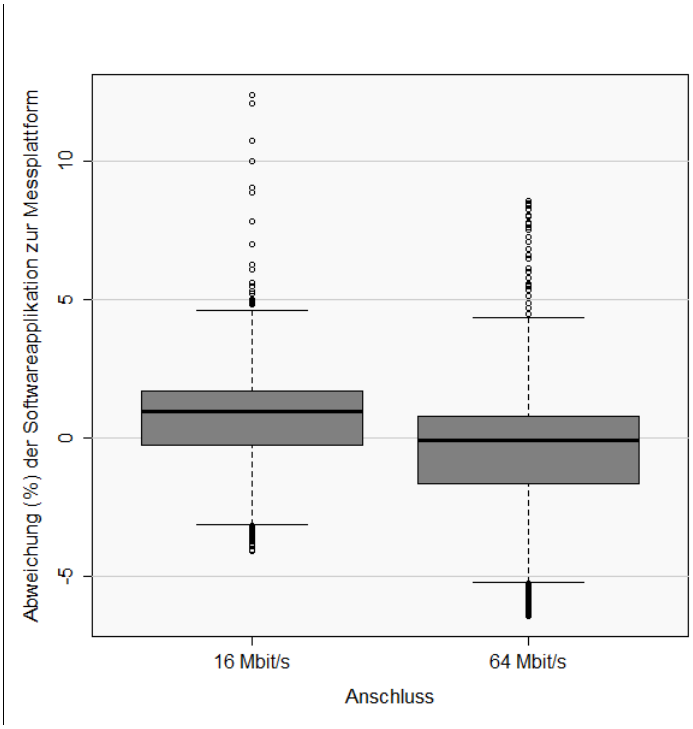

Abbildung 5.11: Vergleich der Messergebnisse der regulären Datenübertragungsraten-Messungen der Messplattform mit den durch die Software Applikation ermittelten Messwerten am Beispiel eines 16 MBit/s und 64 Mbit/s Anschlusses

Insgesamt liegen bei dem 16 Mbit/s Anschluss 95% aller prozentualen Abweichungen zwischen -2,9% und 3,4%, bei dem 64 Mbit/s Anschluss zwischen -5,5% und 2,9%.

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.

6 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 nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden kann. Deshalb ist zum einen wichtig, dass die Einflüsse gleichmäßig auftreten, d.h., dass sich ihr Effekt nicht bei bestimmten Testanschlüssen stärker auswirkt als bei anderen. Zum anderen ist es wichtig, dass diese Einflussfaktoren bei der Bewertung der Messergebnisse berücksichtigt werden.

Ein möglicher Einflussfaktor der Endkundeneinrichtung auf die erreichbare Datenübertragungsrate ist zum Beispiel die eingesetzte Hardware. Ältere Routerschnittstellen können zum Beispiel bestimmte Daten-übertragungsraten nicht verarbeiten und auch die Nutzung von WLAN oder Powerline kann die erreichbare Datenübertragungsrate drosseln. Diese Faktoren wurden systematisch bei Breitbandanschlüssen mit einer vermarkteten Download-Datenübertragungsrate von ≥ 100 Mbit/s beobachtet, während Anschlüsse mit einer vermarkteten Download-Datenübertragungsrate unter 100 Mbit/s davon nicht systematisch beeinflusst wurden.

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

Auch 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.

Ein ähnlicher Einfluss kann bestehen, wenn der Internetzugangsdienst durch andere Anwendungen (z.B. Virenscanner) oder Endgeräte beeinflusst wird. Im Rahmen der Endkundenmessung wurden die Endkunden darauf hingewiesen, diese beiden Faktoren bei der Herstellung

einer optimalen Testumgebung zu berücksichtigen. Außerdem wurden sie aufgefordert, einzuschätzen, ob eine solche optimale Testumgebung vorliegt. Messwerte, bei denen eine nicht-optimale Testumgebung angegeben worden ist, sind nicht in die Auswertung eingegangen. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass Endkunden die Qualität ihrer Testumgebung unzutreffend eingeschätzt haben. Auch dies dürfte aber gleichmäßig auf die betrachteten Anschlüsse wirken. Denn 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 dabei zu berücksichtigen, dass prozentual erreichte Datenübertragungsraten unter Umständen etwas höher sein können. Die Vergleiche zwischen verschiedenen Untergruppen sind jedoch von diesem Umstand nicht berührt. Um den Ursprung der Messergebnisse klar herauszustellen, wird bei den betrachteten Faktoren in den Zwischenüberschriften genannt, ob die Messergebnisse aus Endkundenmessungen stammen oder solche der Messplattform sind.

6.1 Datenübertragungsrate (Endkundenmessungen)

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

Abbildung 6.1 stellt die empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsraten für alle Nutzer der Stichprobe dar. Die erreichten Datenübertragungsraten lagen zwischen 0,6 und 120% der vermarkteten Datenübertragungsraten. Knapp 69,2% der Nutzer erreichten 50% der vermarkteten Datenübertragungsrate oder mehr, während bei 19,5% der Nutzer die volle vermarktete Datenübertragungsrate (100%) erreicht oder überschritten wurde.

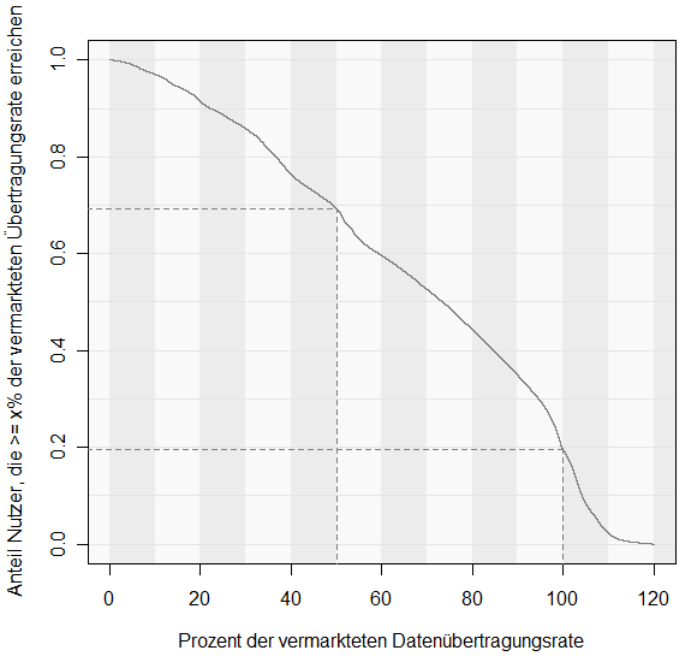

Abbildung 6.1: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsrate für alle Nutzer in der Stichprobe

6.1.1 Technologie

In Abbildung 6.2 (Boxplott) wird der Median und Quartilen der prozentual erreichten Datenübertragungsraten getrennt nach Technologien dargestellt, Abbildung 6.3 (Empirische Verteilungsfunktion) zeigt die Verteilung der prozentual erreichten Datenübertragungsraten.

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

Insgesamt hat sich technologieübergreifend eine große Varianz der gemessenen Datenübertragungsraten gezeigt. Aus den Abbildung 6.2, Abbildung 6.3 und der Tabelle 7 zeigen sich klar erkennbare Unterschiede zwischen den in den jeweiligen Technologien erreichten prozentualen Datenübertragungsraten.

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. 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 aktueller Standort, die Umgebungsfaktoren oder die Fortbewegungsgeschwindigkeit des Nutzers.

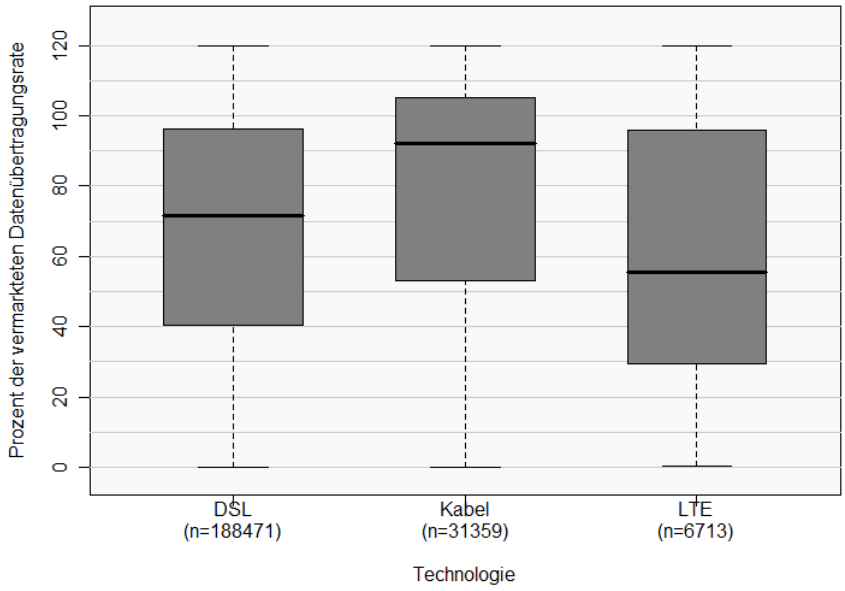

Abbildung 6.2: Prozentual erreichte Datenübertragungsrate nach Technologie

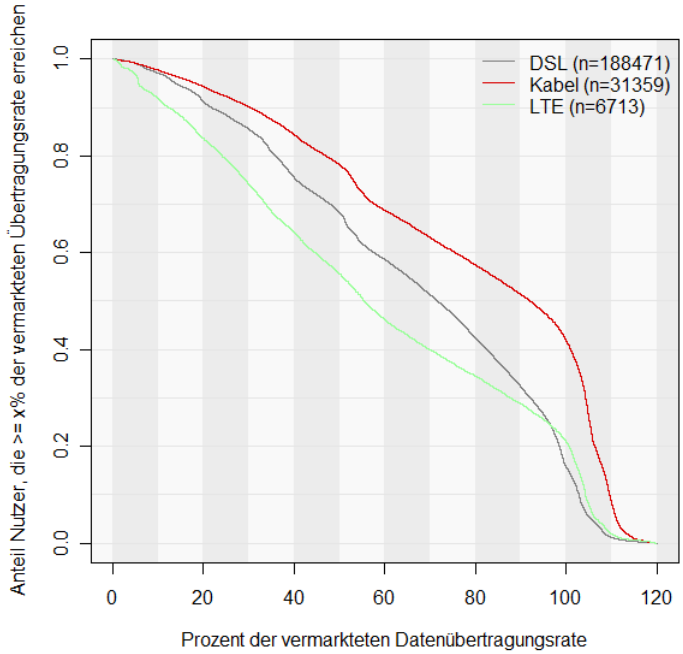

Abbildung 6.3: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Technologien.

Tabelle 7: 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	68.2% [68-68.4]	58.6% [58.3-58.8]	51.3% [51.1-51.6]	42.5% [42.2-42.7]	32.3% [32.1-32.6]	15.7% [15.6-15.9]
Kabel	78.1% [77.7-78.6]	68.7% [68.2-69.2]	63.1% [62.6-63.7]	57.5% [56.9-58]	51.4% [50.9-52]	41.8% [41.3-42.4]
LTE	55.6% [54.4-56.8]	46.1% [44.9-47.3]	39.9% [38.8-41.1]	34.5% [33.4-35.7]	28.8% [27.8-29.9]	20.9% [19.9-21.9]

6.1.2 Bandbreiteklasse

Die Breitbandanschlüsse wurden anhand der von den Studienteilnehmern angegebenen vermarkteten Download Datenübertragungsraten in 6 Bandbreiteklassen eingeteilt (vgl. 4.1). Abbildung 6.4 und Abbildung 6.5 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.

Die besten Messergebnisse wurden in der untersten Bandbreiteklasse erzielt. Hier erreichten 42,6% der Nutzer die vermarktete Datenübertragungsrate oder mehr, während bei 80% mindestens die Hälfte davon gemessen wurde.

Demgegenüber schnitten die Anschlüsse in den mittleren Bandbreiteklassen schlechter ab. Bei den Anschlüssen mit Nennbandbreiten von 8-18 Mbit/s erhielten nur 6,9% die volle Übertragungsrate oder mehr und 64,4% mindestens 50% der vermarkteten Übertragungsrate.

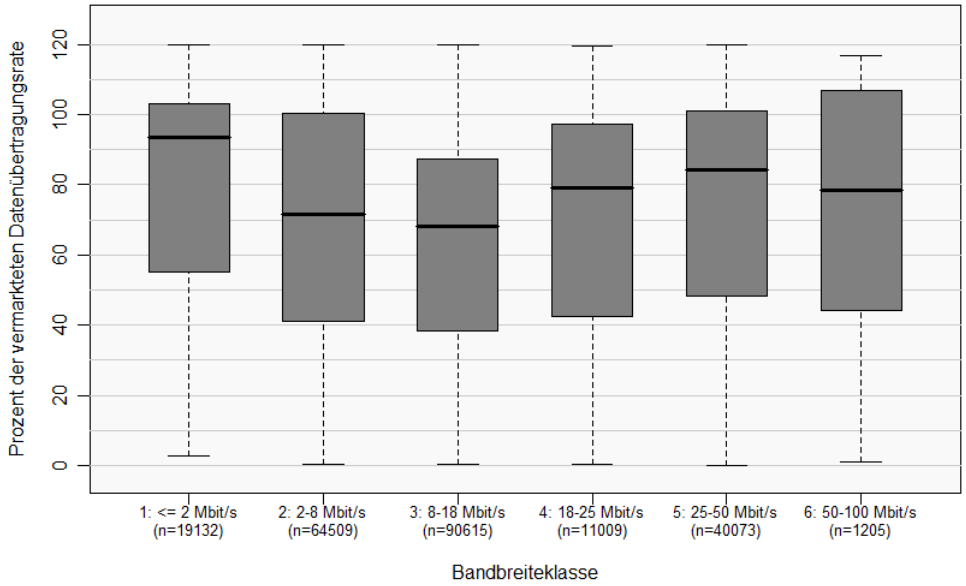

Abbildung 6.4: Prozentuale Datenübertragungsrate nach Bandbreiteklassen

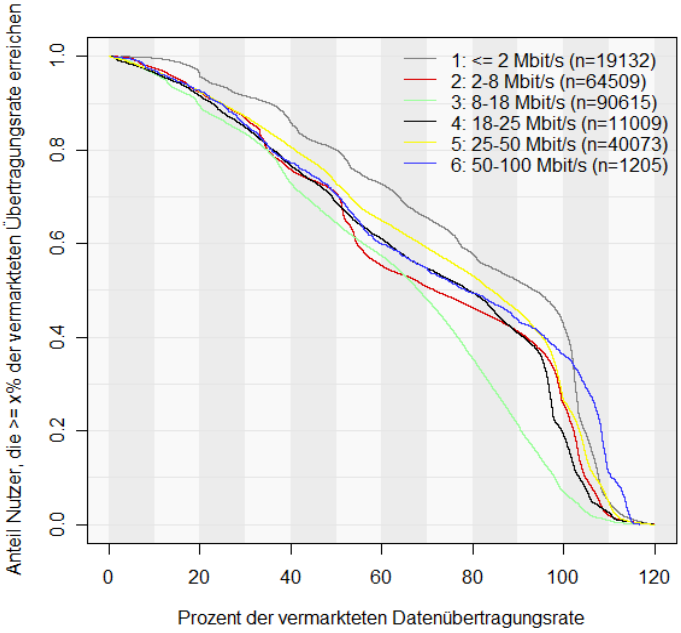

Abbildung 6.5: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Übertragungsrate nach Bandbreiteklassen.

Tabelle 8: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten und 95%-Konfidenzintervalle nach Bandbreiteklassen

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate						
Bandbreite	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
1: ≤ 2 Mbit/s	80% [79.5-80.6]	72.7% [72-73.3]	65.6% [64.9-66.2]	57.8% [57.1-58.5]	52% [51.3-52.7]	42.6% [41.9-43.3]
2: 2-8 Mbit/s	70.7% [70.3-71]	55.3% [54.9-55.7]	50.8% [50.4-51.2]	46.3% [45.9-46.7]	41.2% [40.8-41.6]	25.7% [25.4-26.1]
3: 8-18 Mbit/s	64.4% [64.1-64.7]	57.4% [57.1-57.7]	48.1% [47.7-48.4]	35.4% [35.1-35.7]	21.2% [20.9-21.5]	6.9% [6.8-7.1]
4: 18-25 Mbit/s	68.7% [67.9-69.6]	61.1% [60.2-62]	54.7% [53.8-55.6]	49.5% [48.6-50.4]	40.9% [40-41.8]	19.1% [18.4-19.9]
5: 25-50 Mbit/s	72.8% [72.4-73.2]	64.9% [64.5-65.4]	59.1% [58.6-59.6]	53.1% [52.6-53.6]	45.6% [45.1-46.1]	26.5% [26.1-26.9]
6: 50-100 Mbit/s	70.5% [67.9-73]	59.9% [57.1-62.6]	54.5% [51.7-57.3]	49.5% [46.6-52.3]	43.7% [41-46.6]	36.3% [33.6-39]

Insbesondere in der Bandbreiteklasse zwischen 2-8 Mbit/s fällt ein uneinheitlicher Verlauf der Verteilungsfunktion auf; sie fällt in mehreren Bereichen steil ab, verläuft dann aber wieder flacher.

Dies deutet darauf hin, dass die in dieser Bandbreiteklasse vermarkteten Produkte unter einer „bis-zu"-Angabe Anschlüsse zusammen fassen, die sich in der realisierbaren Datenübertragungsrate stark unterscheiden, aber von den Anbietern nicht als separate Produkte angeboten werden. Dementsprechend weist die Verteilung der prozentual erreichten Datenübertragungsraten für alle 6 Mbit/s-Anschlüsse beispielsweise Gipfel bei 6, 3 und 2 Mbit/s auf (vgl. Abbildung 6.6). Dies weist darauf hin, dass hier tatsächlich unterschiedliche Datenübertragungsraten unter der Bezeichnung „Bis-zu-6Mbit/s" vermarktet wurden.

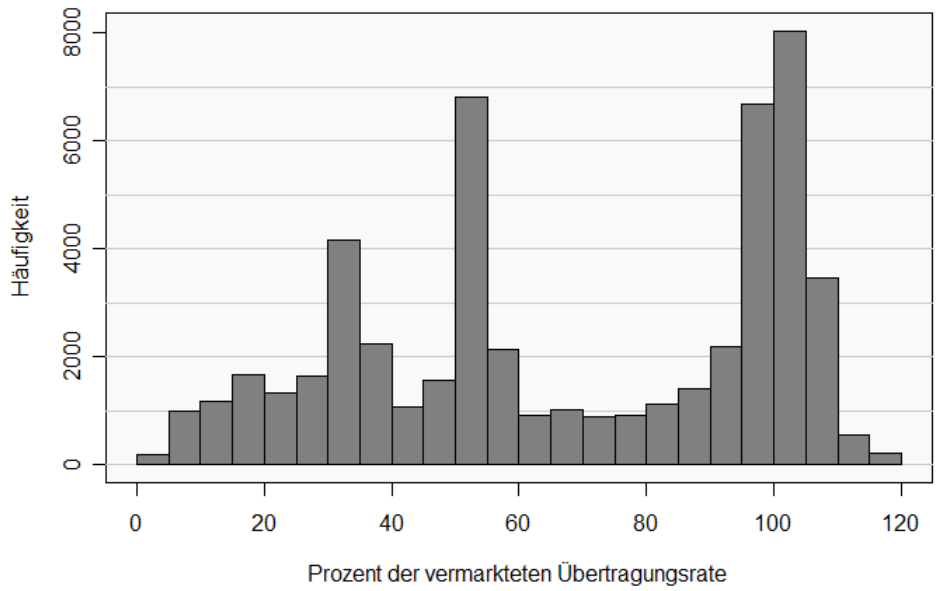

Abbildung 6.6: Häufigkeiten der prozentual erreichten Datenübertragungsraten bei einer vermarkteten Datenübertragungsrate von 6 Mbit/s.

Diese Ergebnisse werden bestätigt durch die Analyse der synchronisierten Datenraten der Leitungen (vgl. 6.1.6).

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. Möglich war dies nur für Nutzer, die Geräte des Herstellers AVM einsetzen.

Im oben genannten Bandbreitenbereich 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 57,1% der Kunden tatsächlich eine synchronisierte Datenrate der Leitung von 6 Mbit/s oder mehr.

Tabelle 9: Häufigkeiten der Bandbreiteklassen nach Technologie

Bandbreiteklassen nach Technologien												
Technologie	1: ≤ 2 Mbit/s		2: 2-8 Mbit/s		3: 8-18 Mbit/s		4: 18-25 Mbit/s		5: 25-50 Mbit/s		6: 50-100 Mbit/s	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
DSL	19040	10,1%	60216	32,0%	85862	45,6%	5662	3,0%	17691	9,4%		
Kabel	92	0,3%	1295	4,1%	4722	15,1%	2212	7,1%	21833	69,6%	1205	3,8%
LTE			2998	44,7%	31	0,5%	3135	46,7%	549	8,2%		

Innerhalb der unterschiedlichen Technologien werden nicht in jeder Bandbreiteklasse Produkte angeboten (vgl. Tabelle 9) 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 6.7).

Bei allen Technologien treten bei der jeweils niedrigsten verfügbaren Bandbreiteklasse die geringsten Abweichungen von der vermarkteten Datenübertragungsrate auf.

Die größten Abweichungen treten für die Shared Medium-Anschlusstechnologien Kabel und LTE bei der höchsten verfügbaren Bandbreiteklasse auf, während bei DSL-Anschlüssen die größten Abweichungen in der Bandbreiteklasse zwischen 8-18 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 wurden, 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 80,1% bzw. 42,5% die halbe bzw. die volle vermarktete Übertragungsrate, während es in der Klasse 3 nur 63,4% bzw. 4,5% waren.

Die beste Bandbreiteklasse für Kabelanschlüsse war die Klasse 2, in der 84,3% der Kunden die halbe und 50,5% die volle Übertragungsrate gemessen haben. Demgegenüber waren es in Klasse 6 70,5% bzw. 36,3%.

Von den LTE-Anschlüssen der Klasse 2 erhielten 67,5% die halbe und 33,1% die volle Datenübertragungsrate. In der Bandbreiteklasse 5 erhielt nur 1,6% die volle und 23,3% der Kunden die halbe Übertragungsrate.

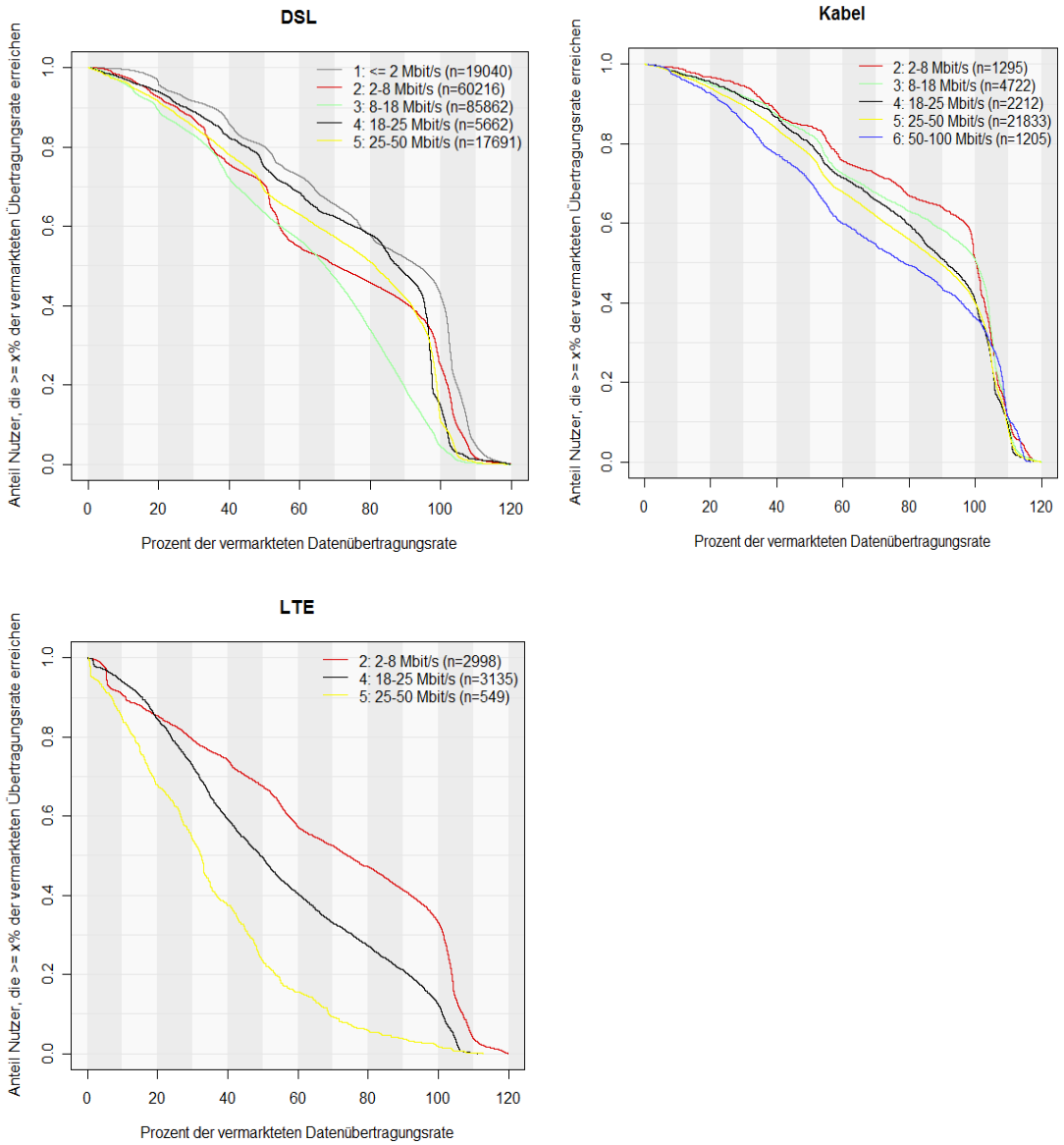

Abbildung 6.7: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Datenübertragungsraten nach Technologie und Bandbreiteklassen

Tabelle 10: Anteile der Nutzer, die mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten, und 95%-Konfidenzintervalle nach Technologie und Bandbreiteklassen

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate							
Technologie	Bandbreite	50%	60%	70%	80%	90%	100%
DSL	1: ≤ 2 Mbit/s	80.1% [79.5-80.6]	72.7% [72.1-73.4]	65.6% [64.9-66.2]	57.8% [57.1-58.5]	52% [51.3-52.7]	42.5% [41.8-43.2]
	2: 2-8 Mbit/s	70.5% [70.2-70.9]	54.7% [54.3-55.1]	50.2% [49.8-50.6]	45.8% [45.4-46.2]	40.7% [40.3-41.1]	24.8% [24.5-25.2]
	3: 8-18 Mbit/s	63.4% [63.1-63.7]	56.6% [56.2-56.9]	47% [46.6-47.3]	33.9% [33.6-34.2]	19.1% [18.9-19.4]	4.5% [4.4-4.6]
	4: 18-25 Mbit/s	74.9% [73.8-76]	68.5% [67.2-69.7]	62.4% [61.2-63.7]	58% [56.7-59.2]	47.9% [46.6-49.2]	14.7% [13.8-15.6]
	5: 25-50 Mbit/s	69% [68.3-69.7]	63% [62.2-63.7]	57.3% [56.6-58]	51.1% [50.4-51.9]	41.9% [41.2-42.7]	10.8% [10.4-11.3]
Kabel	2: 2-8 Mbit/s	84.3% [82.2-86.2]	75.8% [73.3-78]	72.4% [69.9-74.8]	66.9% [64.3-69.5]	63.9% [61.3-66.5]	50.5% [47.8-53.2]
	3: 8-18 Mbit/s	82.3% [81.2-83.4]	72.4% [71.1-73.6]	67.7% [66.4-69]	63.1% [61.7-64.4]	58.4% [57-59.8]	50.7% [49.2-52.1]
	4: 18-25 Mbit/s	80.1% [78.3-81.7]	71.4% [69.5-73.2]	65.7% [63.7-67.7]	59.4% [57.4-61.5]	51% [49-53.1]	40.2% [38.2-42.3]
	5: 25-50 Mbit/s	77.1% [76.6-77.7]	67.8% [67.2-68.4]	61.8% [61.2-62.5]	55.9% [55.3-56.6]	49.6% [48.9-50.3]	39.9% [39.2-40.5]
	6: 50-100 Mbit/s	70.5% [67.9-73]	59.9% [57.1-62.6]	54.5% [51.7-57.3]	49.5% [46.6-52.3]	43.7% [41-46.6]	36.3% [33.6-39]
LTE	2: 2-8 Mbit/s	67.5% [65.8-69.1]	57.4% [55.6-59.1]	52.5% [50.7-54.3]	47.2% [45.4-49]	41.3% [39.6-43.1]	33.1% [31.5-34.8]
	4: 18-25 Mbit/s	49.6% [47.9-51.4]	40.4% [38.7-42.2]	33% [31.4-34.7]	27.2% [25.6-28.8]	21.1% [19.7-22.5]	12.2% [11.1-13.4]
	5: 25-50 Mbit/s	23.3% [20-27]	15.5% [12.7-18.7]	9.3% [7.1-12]	5.8% [4.2-8.1]	3.6% [2.4-5.6]	1.6% [0.9-3.1]

6.1.3 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 6.8 und Abbildung 6.9 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.

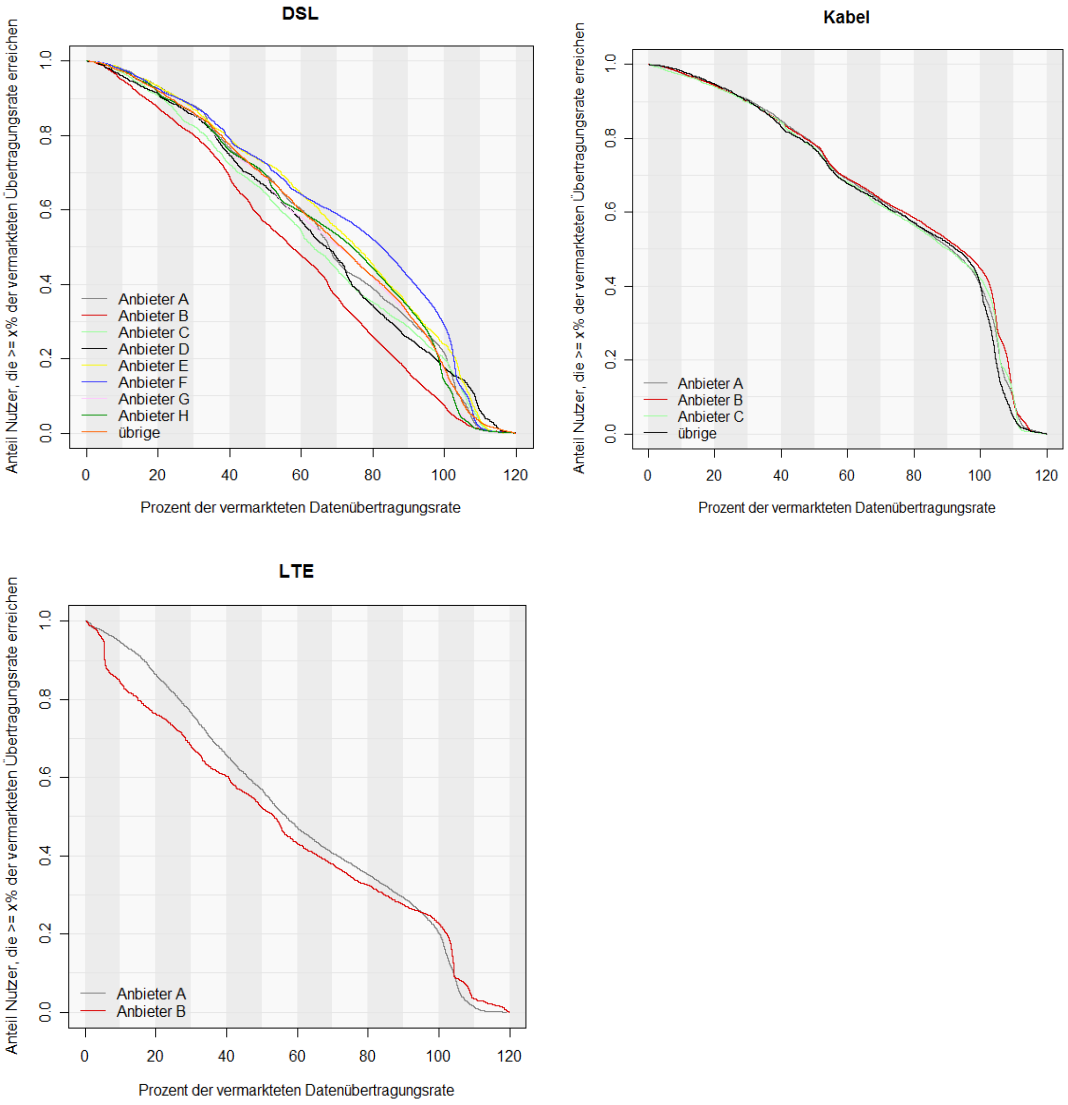

Abbildung 6.8: Empirische Verteilungsfunktionen der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Anbieter und Technologie.

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 11 ersichtlich, befinden sich die gemessenen Kabelanschlüsse überwiegend in halbstädtischen und städtischen Bereichen, wohingegen DSL-Anschlüsse in allen Regionen vorlagen.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Aufteilung nach Bandbreiteklassen (Abbildung 6.9)

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

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

In den Bandbreiteklassen 4 und 5 ist zu beachten, dass dort auch Anbieter mit einem hohen Anteil von stationären LTE-Anschlüssen enthalten sind.

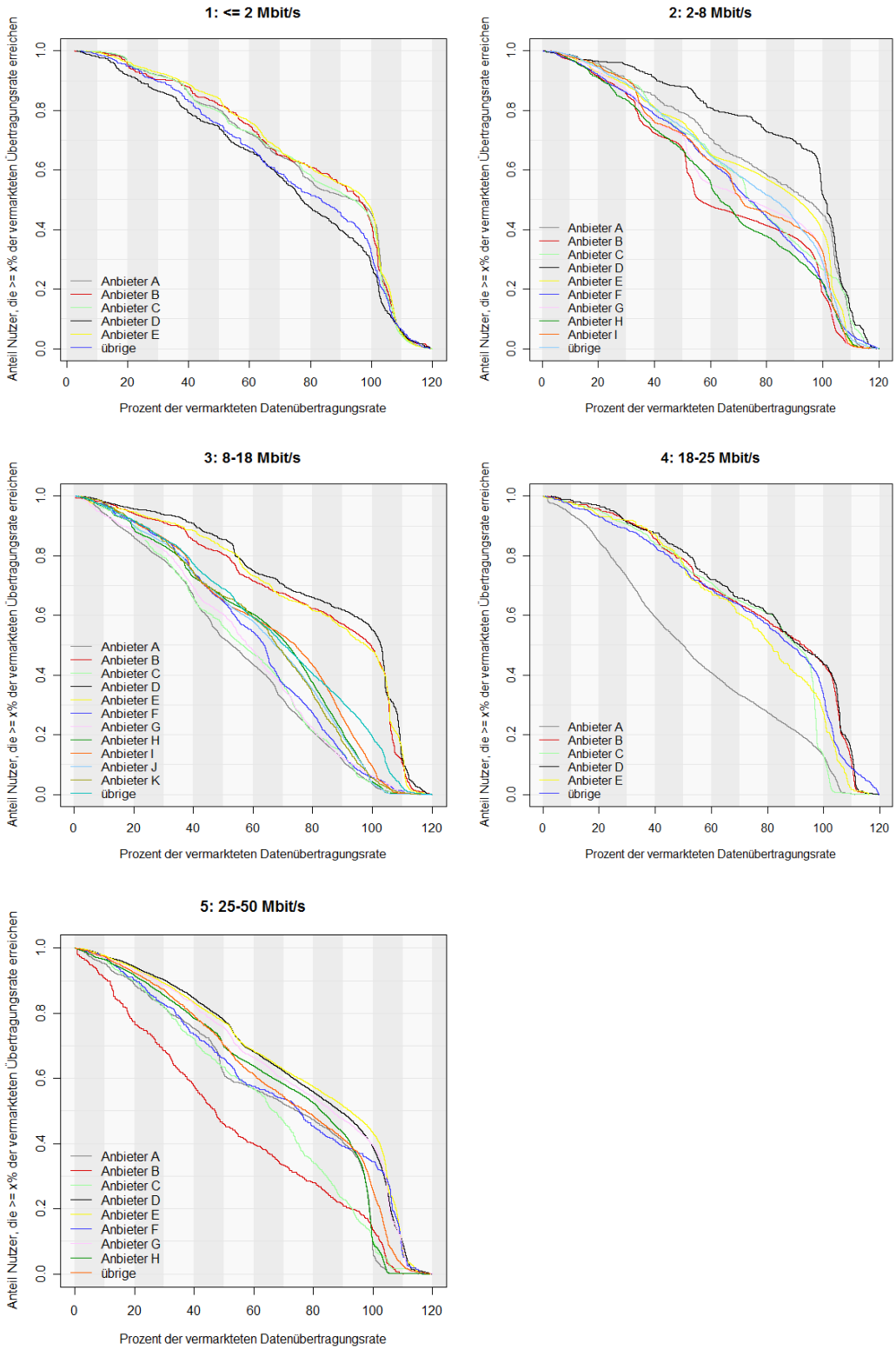

Abbildung 6.9: Verteilung der prozentual erreichten Übertragungsrate nach Anbieter und Bandbreiteklasse

6.1.4 Geographischer Bereich

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

Über alle Technologien, Bandbreitenklassen und Anbieter verteilt konnten keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich der prozentual erreichten Datenübertragungsraten festgestellt werden (vgl. Abbildung 6.10 und Abbildung 6.11).

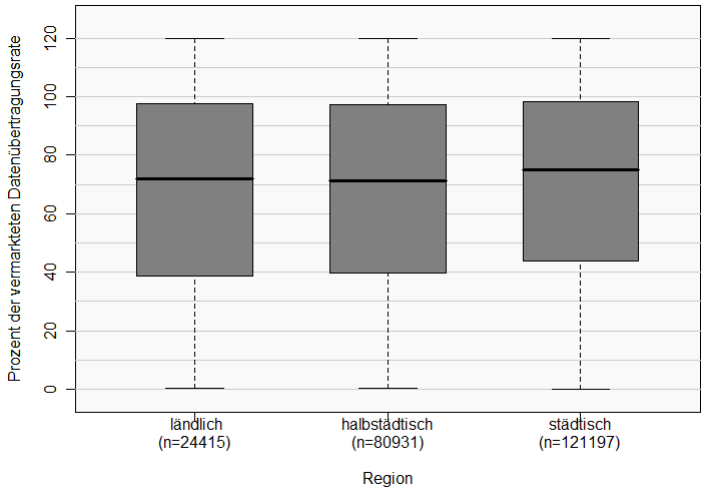

Abbildung 6.10: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geographischen Bereichen

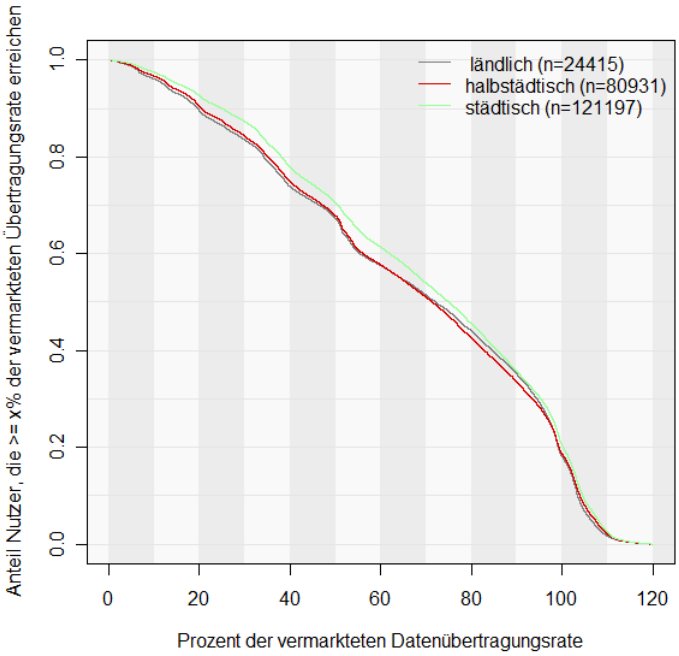

Abbildung 6.11: Empirische Verteilungsfunktion der prozentual erreichten Übertragungsrate nach geographischen Bereichen.

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 11 und Tabelle 12).

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 Bandbreiteklassen den Effekt einer im Allgemeinen längeren Anschlussleitung teilweise aufheben.

Tabelle 11: Häufigkeiten der Technologien nach geographischen Bereichen

Technologien nach Regionen						
Region	DSL		Kabel		LTE	
	N	%	N	%	N	%
ländlich	20889	85,6%	1011	4,1%	2515	10,3%
halbstädtisch	68482	84,6%	9080	11,2%	3369	4,2%
städtisch	99100	81,8%	21268	17,6%	829	0,7%

Tabelle 12: Häufigkeiten der Bandbreiteklassen nach geographischen Bereichen

Bandbreiteklassen nach Regionen												
Region	1: ≤ 2 Mbit/s		2: 2-8 Mbit/s		3: 8-18 Mbit/s		4: 18-25 Mbit/s		5: 25-50 Mbit/s		6: 50-100 Mbit/s	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
ländlich	3801	15,6%	7644	31,3%	8930	6,5%	1589	6,5%	2448	10,0%	3	0,0%
halbstädtisch	9549	11,8%	24941	30,8%	31428	5,0%	4027	4,9%	10743	13,3%	243	0,3%
städtisch	5782	4,8%	31924	26,3%	50257	4,5%	5393	4,2%	26882	22,2%	959	0,8%

Abbildung 6.12 stellt eine regionale Betrachtung der prozentual erreichten Datenübertragungsrate unterschiedlicher Bandbreiteklasse an. Eine tabellarische Darstellung der Nutzeranteile, die dabei mindestens x% der vermarkteten Datenübertragungsrate erhalten haben, sowie die dazugehörigen 95%-Konfidenzintervalle findet sich in Tabelle 13.

Bei dieser Betrachtung zeigt sich, dass 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 3 wiesen die ländlichen Anschlüsse geringere Abweichungen von der vermarkteten Datenübertragungsrate auf als die halbstädtischen und städtischen Anschlüsse. Gründe hierfür sind bisher nicht ersichtlich.

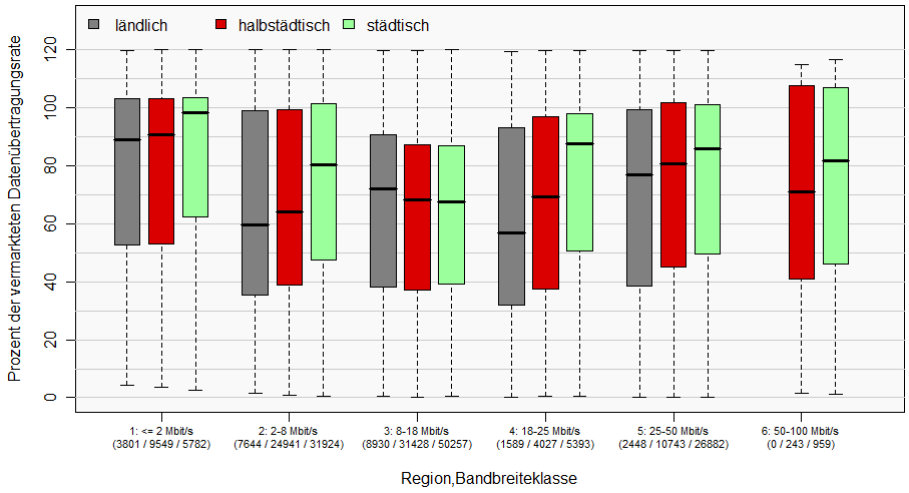

Abbildung 6.12: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geographischen Bereichen und Bandbreiteklassen

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

Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate							
Bandbreite	**Region**	**50%**	**60%**	**70%**	**80%**	**90%**	**100%**
1: ≤ 2 Mbit/s	**ländlich**	79.1% [77.7-80.3]	70.3% [68.8-71.7]	63.9% [62.4-65.4]	55.9% [54.3-57.5]	49.4% [47.8-51]	41% [39.5-42.6]
	halbstädtisch	78.8% [78-79.6]	71.4% [70.5-72.3]	64.6% [63.6-65.6]	56.4% [55.4-57.3]	50.4% [49.4-51.4]	41% [40.1-42]
	städtisch	82.7% [81.7-83.6]	76.4% [75.3-77.5]	68.2% [67-69.4]	61.5% [60.3-62.8]	56.4% [55.1-57.7]	46% [44.8-47.3]
2: 2-8 Mbit/s	**ländlich**	65.9% [64.9-67]	49.8% [48.7-51]	45.6% [44.5-46.7]	42.1% [41-43.2]	37.7% [36.6-38.8]	21.1% [20.2-22]
	halbstädtisch	68.5% [67.9-69.1]	51.8% [51.1-52.4]	47.3% [46.7-47.9]	42.8% [42.2-43.4]	37.9% [37.3-38.5]	22.5% [22-23]
	städtisch	73.5% [73-74]	59.3% [58.8-59.9]	54.7% [54.2-55.3]	50.1% [49.5-50.6]	44.6% [44-45.1]	29.4% [28.9-29.9]
3: 8-18 Mbit/s	**ländlich**	66% [65-67]	60.2% [59.2-61.2]	52.2% [51.1-53.2]	40.9% [39.9-42]	26.4% [25.5-27.3]	5.6% [5.2-6.1]
	halbstädtisch	63.6% [63.1-64.2]	56.9% [56.4-57.5]	48.2% [47.7-48.8]	35.4% [34.9-36]	21% [20.6-21.5]	5.6% [5.4-5.9]
	städtisch	64.6% [64.2-65]	57.2% [56.8-57.6]	47.2% [46.8-47.7]	34.4% [34-34.8]	20.4% [20-20.7]	8% [7.7-8.2]
4: 18-25 Mbit/s	**ländlich**	56.1% [53.6-58.5]	48% [45.5-50.4]	41.2% [38.8-43.7]	35.3% [33-37.7]	27.4% [25.2-29.6]	12.9% [11.3-14.6]
	halbstädtisch	64.6% [63.1-66]	56.4% [54.9-57.9]	49.5% [47.9-51]	44.1% [42.6-45.6]	37% [35.5-38.5]	18.3% [17.1-19.5]
	städtisch	75.6% [74.4-76.7]	68.4% [67.1-69.6]	62.6% [61.3-63.9]	57.7% [56.4-59]	47.7% [46.4-49.1]	21.6% [20.5-22.7]
5: 25-50 Mbit/s	**ländlich**	65.8% [63.9-67.6]	58.8% [56.8-60.7]	53.8% [51.8-55.8]	48.4% [46.4-50.3]	42.1% [40.2-44.1]	21.4% [19.8-23]
	halbstädtisch	70.3% [69.5-71.2]	62.1% [61.1-63]	56.2% [55.3-57.1]	50.4% [49.5-51.4]	43.6% [42.7-44.5]	27.3% [26.5-28.2]
	städtisch	74.4% [73.9-74.9]	66.6% [66.1-67.2]	60.7% [60.1-61.3]	54.7% [54.1-55.2]	46.7% [46.1-47.3]	26.7% [26.1-27.2]
6: 50-100 Mbit/s	**städtisch**	71.7% [68.8-74.5]	61.5% [58.4-64.5]	55.7% [52.5-58.8]	50.5% [47.3-53.6]	44.4% [41.3-47.6]	37.1% [34.1-40.2]

Weniger auffällig sind hingegen Unterschiede der geographischen Bereiche, wenn unterschiedliche Technologien betrachtet werden (Abbildung 6.13, Tabelle 14). Lediglich für LTE-Anschlüsse gibt es hier größere Unterschiede zwischen den städtischen Regionen einerseits und halbstädtischen bzw. ländlichen Gebieten andererseits, denn in Ballungszentren wurden deutlich niedrigere prozentual erreichte Datenübertragungsraten erreicht.

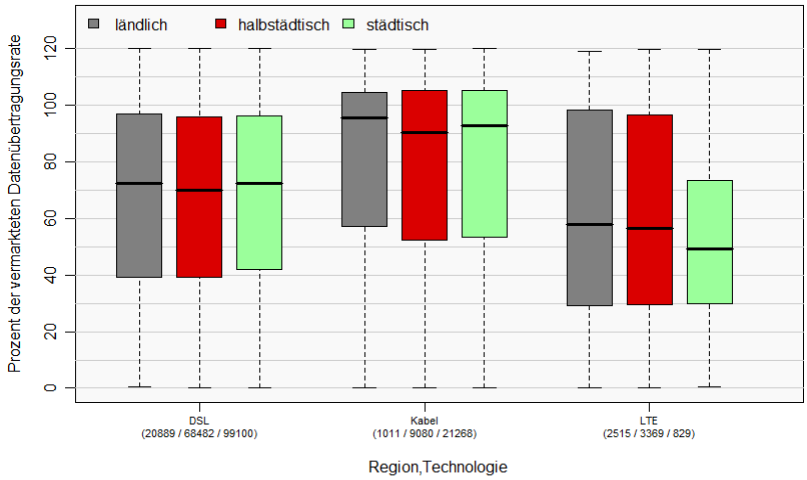

Abbildung 6.13: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach geographischen Bereichen und Technologie

Tabelle 14: 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**	67.9% [67.2-68.5]	58% [57.3-58.6]	51.6% [50.9-52.3]	43.9% [43.2-44.6]	34.7% [34-35.3]	16.2% [15.7-16.7]
	halbstädtisch	67.2% [66.8-67.5]	56.9% [56.5-57.2]	50% [49.7-50.4]	41.2% [40.8-41.5]	31.5% [31.2-31.9]	15.6% [15.3-15.9]
	städtisch	69% [68.7-69.3]	59.9% [59.6-60.2]	52.2% [51.8-52.5]	43.1% [42.7-43.4]	32.4% [32.1-32.7]	15.7% [15.5-16]
Kabel	**ländlich**	80.7% [78.2-83]	73.4% [70.6-76]	68.5% [65.6-71.3]	62.6% [59.6-65.5]	54.8% [51.7-57.8]	43.8% [40.8-46.9]
	halbstädtisch	77.3% [76.4-78.2]	67.7% [66.7-68.6]	62% [61-63]	56.3% [55.3-57.3]	50.2% [49.2-51.2]	39.9% [38.9-40.9]
	städtisch	78.4% [77.8-78.9]	69% [68.4-69.6]	63.3% [62.7-64]	57.7% [57.1-58.4]	51.8% [51.1-52.4]	42.6% [41.9-43.2]
LTE	**ländlich**	57.3% [55.4-59.2]	48.1% [46.1-50]	42.6% [40.7-44.6]	37.5% [35.6-39.4]	31.5% [29.7-33.3]	22.5% [21-24.2]
	halbstädtisch	55.9% [54.2-57.6]	47.3% [45.6-49]	41% [39.4-42.7]	35.3% [33.7-37]	29.7% [28.2-31.3]	21.8% [20.4-23.2]
	städtisch	49.5% [46.1-52.9]	35.2% [32-38.5]	27.4% [24.5-30.5]	22.3% [19.6-25.3]	17.1% [14.7-19.8]	12.1% [10-14.5]

6.1.5 Kundenzufriedenheit

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

In Abbildung 6.14 sind die prozentual erreichten Datenübertragungsraten nach Kundenzufriedenheit im Boxplot dargestellt.

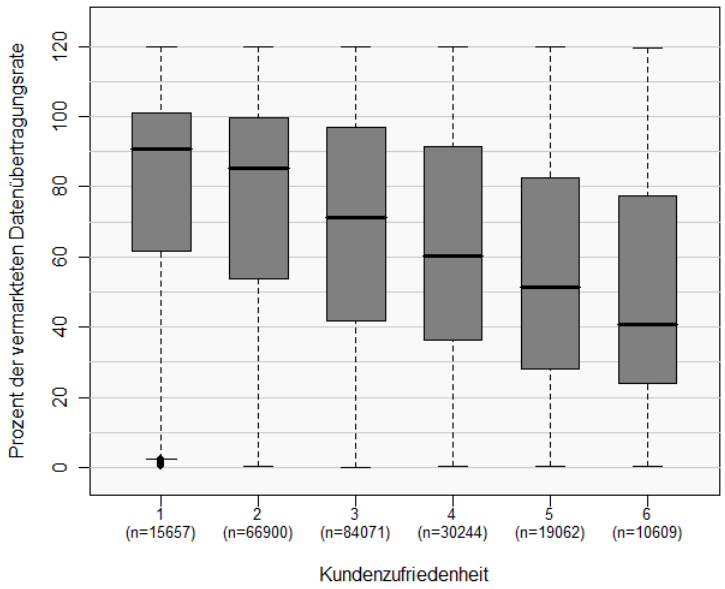

Abbildung 6.14: Prozentual erreichte Datenübertragungsraten nach Kundenzufriedenheit (Noten 1="sehr gut" bis 6="ungenügend")

Tabelle 15: 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	81.9% [81.3-82.5]	75.9% [75.2-76.5]	70.5% [69.7-71.2]	62.7% [61.9-63.5]	51.2% [50.5-52]	27.8% [27.1-28.5]
2	78.7% [78.4-79]	70.5% [70.2-70.9]	64.3% [63.9-64.6]	55.7% [55.3-56.1]	44.4% [44-44.8]	24.6% [24.2-24.9]
3	69.1% [68.8-69.4]	58.7% [58.3-59]	51% [50.6-51.3]	42% [41.7-42.4]	32.6% [32.2-32.9]	17.9% [17.7-18.2]
4	61.8% [61.3-62.4]	50.3% [49.7-50.8]	42.4% [41.9-43]	34.2% [33.6-34.7]	26.3% [25.8-26.8]	15.4% [15-15.8]
5	52.4% [51.7-53.1]	40.9% [40.2-41.6]	33.7% [33-34.4]	26.8% [26.2-27.4]	20.8% [20.2-21.4]	12.8% [12.4-13.3]
6	43.3% [42.3-44.2]	34.8% [33.9-35.7]	29.2% [28.4-30.1]	23.6% [22.8-24.4]	19% [18.3-19.8]	11.8% [11.2-12.4]

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 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.

Außerdem scheinen Kunden mit höherer vermarkteter Datenübertragungsrate tendenziell zufriedener mit ihrem Anbieter zu sein als solche mit geringen vermarkteten Übertragungsraten. Während in der Bandbreiteklasse 5 (25-50 Mbit/s) fast die Hälfte der Nutzer die Noten 1 und 2 vergeben haben, hat dies in der untersten Bandbreiteklasse (< 2 Mbit/s) weniger als jeder fünfte Nutzer getan. In dieser Klasse haben knapp 28% der Kunden die Noten 5 und 6 vergeben im Vergleich zu etwa 7% in der Bandbreiteklasse 25-50 Mbit/s (vgl. Abbildung 6.16).

Die Korrelation zwischen Kundenzufriedenheit und gemessenen prozentual erreichten Übertragungsraten bleibt bei einer Differenzierung nach Technologie und nach Bandbreiteklassen erhalten (Abbildung 6.15 und

Abbildung 6.16). 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.

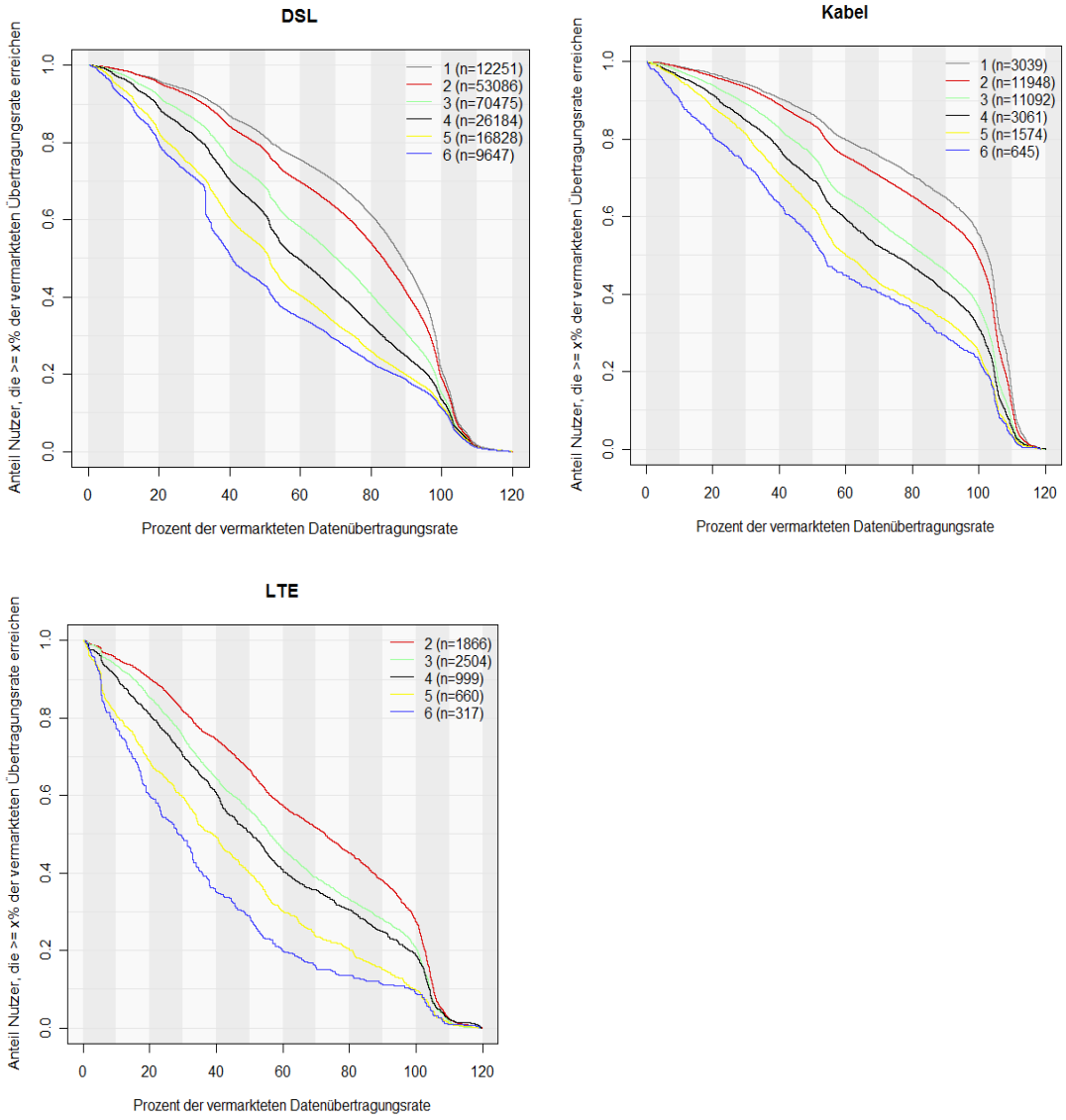

Abbildung 6.15: Verteilung der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Technologie und Kundenzufriedenheit.

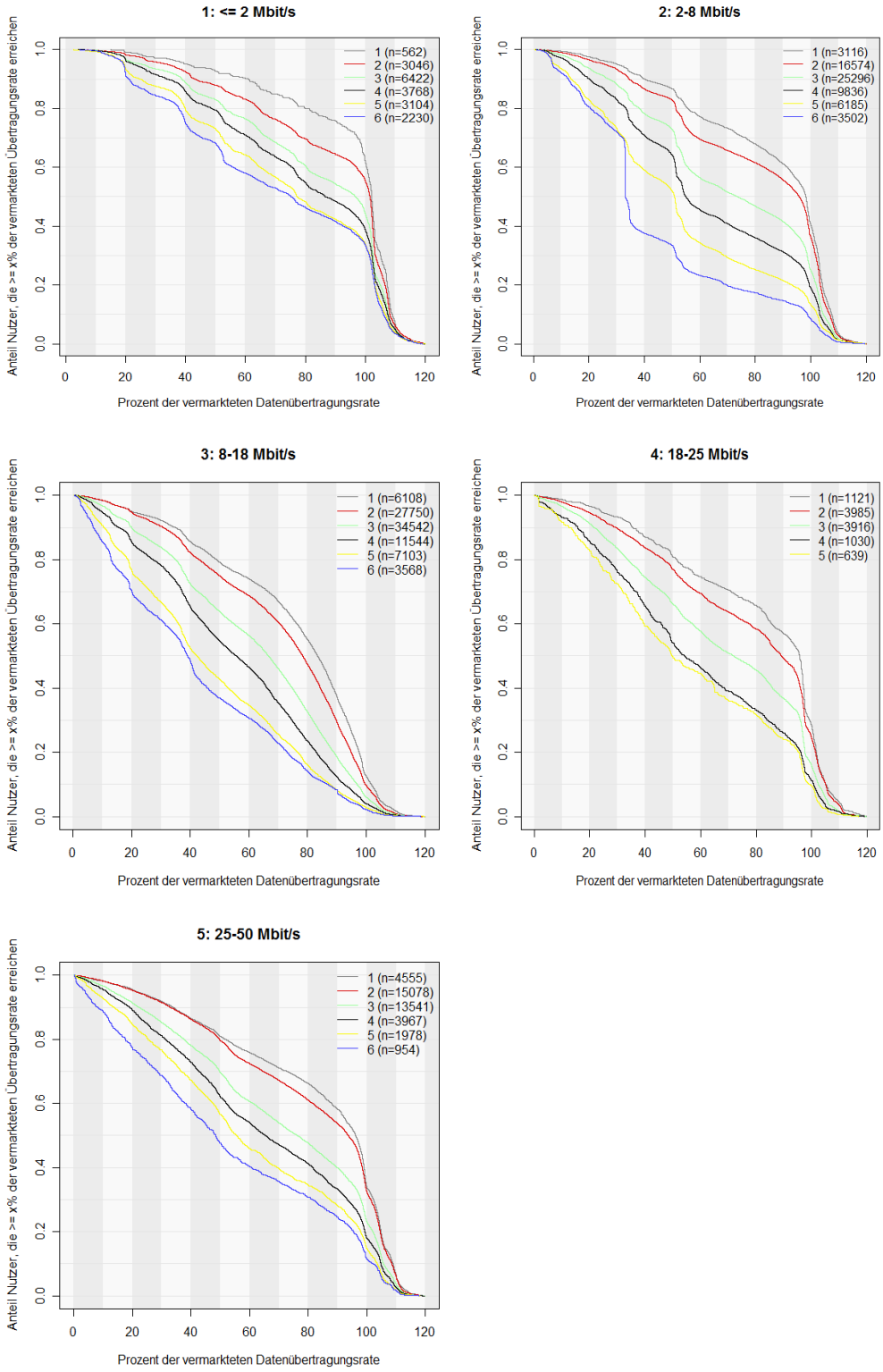

Abbildung 6.16: Verteilung der prozentual erreichten Datenübertragungsrate nach Bandbreiteklasse und Kundenzufriedenheit.

6.1.6 Synchronisierte Datenrate der Leitung

Für 47.431 Nutzer (20,9%) 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 des Herstellers AVM einsetzen.

Hierzu sind in Abbildung 6.17 die Häufigkeiten der synchronisierten Datenraten der Leitung für die am häufigsten vorkommenden vermarkteten Datenübertragungsraten im Histogramm dargestellt.

Übergreifend zeigt sich, 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 99,5%.

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 57,1% der Kunden tatsächlich eine synchronisierte Datenrate der Leitung von 6 Mbit/s oder mehr, bei den 18 Mbit/s-Anschlüssen liegt der Anteil bei 23,2%.

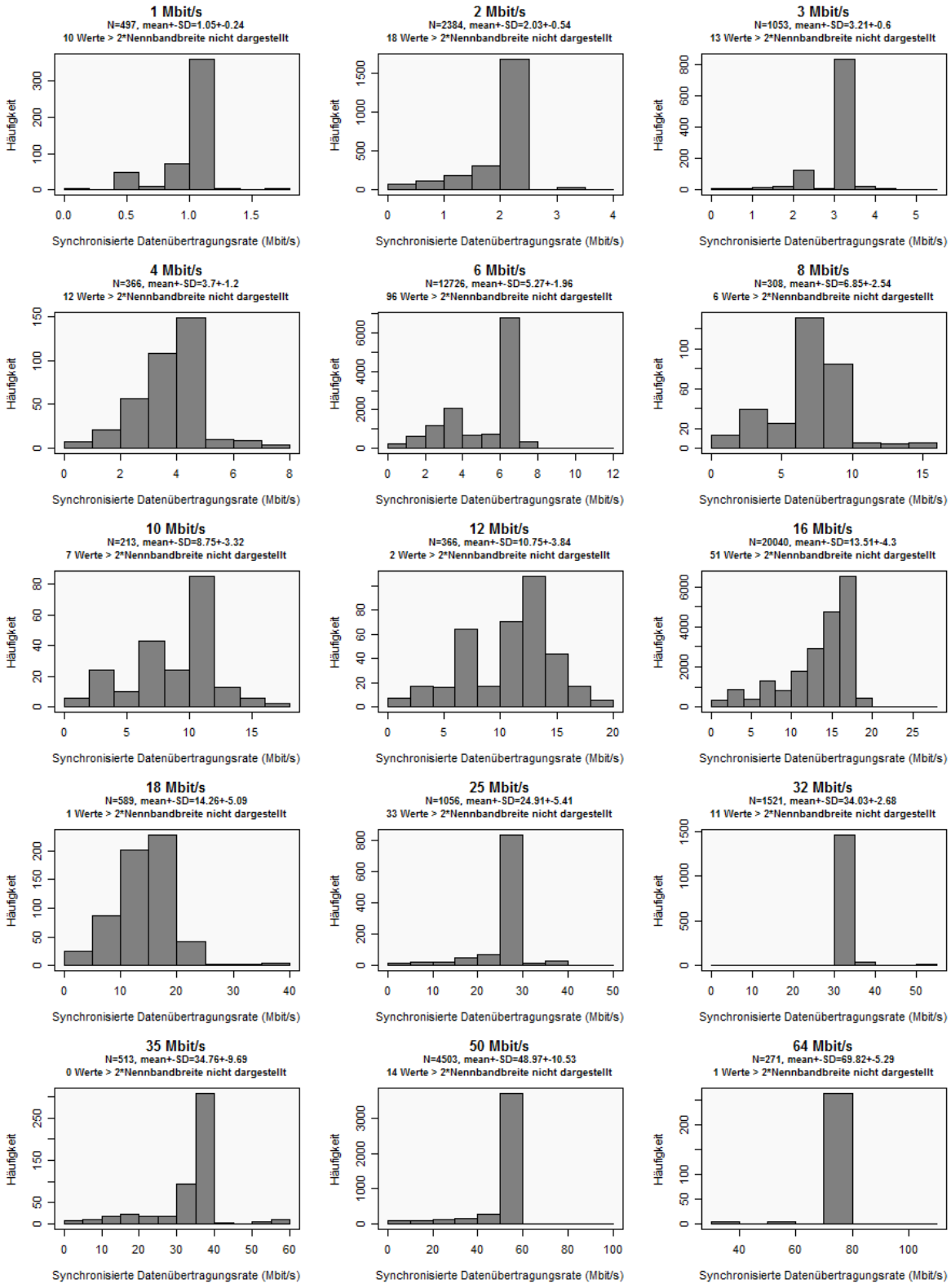

Abbildung 6.17: Häufigkeiten der synchronisierten Datenraten für die 15 häufigsten vermarkteten Datenübertragungsraten

6.1.7 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 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 0,7% mindestens 15% der vermarkteten *Download*-Datenübertragungsrate (siehe Tabelle 16).

Demgegenüber wurden bei DSL-Anschlüssen im Upload mindestens 5% der vermarkteten *Download*-Datenübertragungsrate bei 79,6% der Nutzer gemessen und 15% bei 11,8% der Nutzer.

Bei stationären LTE-Anschlüssen wurde dieser 5% Wert von 80,9% und der 15% Wert von 50,1% der Nutzer erreicht.

Tabelle 16: 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	79.6% [79.4-79.8]	22.4% [22.2-22.6]	11.8% [11.6-11.9]	1.2% [1.2-1.3]	0.6% [0.6-0.7]	0.4% [0.4-0.4]
Kabel	56.5% [56-57.1]	2.7% [2.5-2.9]	0.7% [0.6-0.8]	0.2% [0.2-0.3]	0.2% [0.1-0.2]	0.1% [0-0.1]
LTE	80.9% [80-81.9]	66.5% [65.4-67.6]	50.1% [48.9-51.3]	14.8% [13.9-15.6]	5% [4.5-5.5]	1.5% [1.3-1.9]

6.2 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 großteils unmittelbare Nähe der Plattformstandorte zum Hauptverteiler, Outdoor-DSLAM oder CMTS der Anbieter.

Die Messungen erfolgten im Messzeitraum 7 Tage pro Woche an 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 keine Abhängigkeit der Datenübertragungsrate im Download von der Tageszeit festgestellt (vgl. Abbildung 6.18).

Im Gegensatz dazu zeigen Kabelanschlüsse eine leichte Verringerung der Download Datenübertragungsrate in den Abendstunden, in denen mehr Endbenutzer auf das Internet zugreifen. Abends sinkt die gemessene Datenübertragungsrate um bis zu 10% ab. Als Ursache kommt die Nutzung von Ressourcen durch mehrere Endkunden (Shared Medium) in Betracht. Ein ähnlicher Effekt zeigt sich bei den stationären LTE-Anschlüssen.

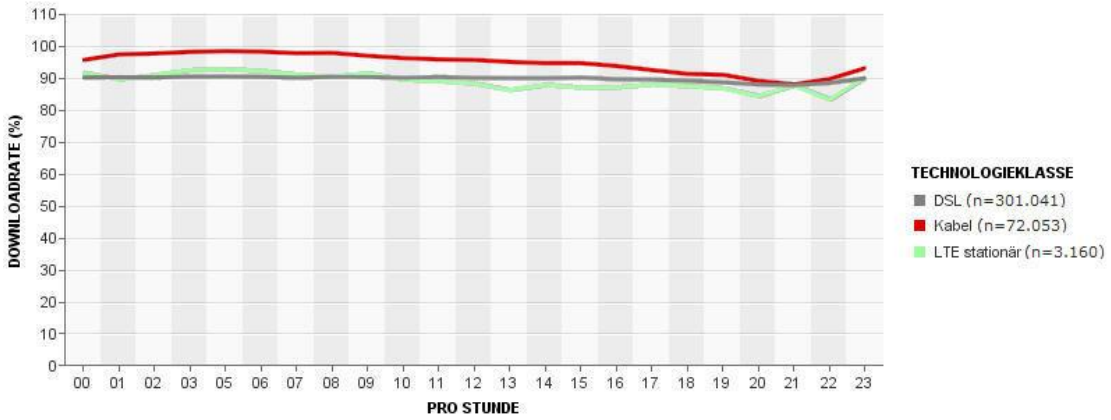

Abbildung 6.18: Zeitliche Verteilung der Download Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Download Datenübertragungsrate nach Technologie

Die Untersuchung nach Bandbreiteklassen (Abbildung 6.19) ergibt, dass Anschlüsse der niedrigen Klasse 2-8 Mbit/s eine tageszeitunabhängige Verteilung aufweisen. Die Verringerung der Download Daten-übertragungsrate in den Abendstunden in den höheren Bandbreiteklassen ist durch den dort vorhandenen Anteil an Kabelanschlüssen bzw. in der Klasse 18-25 Mbit/s an LTE-Anschlüssen zu erklären.

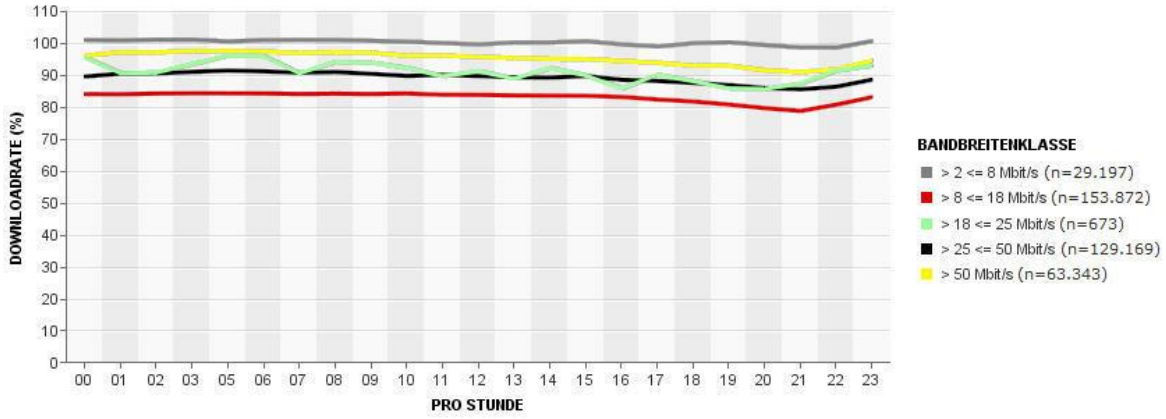

Abbildung 6.19: Zeitliche Verteilung der Download-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Download-Datenübertragungsrate nach Bandbreitenklasse

Upload

Im Falle des Upload treten die oben beschriebenen Effekte nur in wesentlich geringerem Maße auf. Die Verringerung der Datenübertragungsraten bei Kabelanschlüssen in den Abendstunden beträgt hier nur bis zu 1% (vgl. Abbildung 6.24).

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

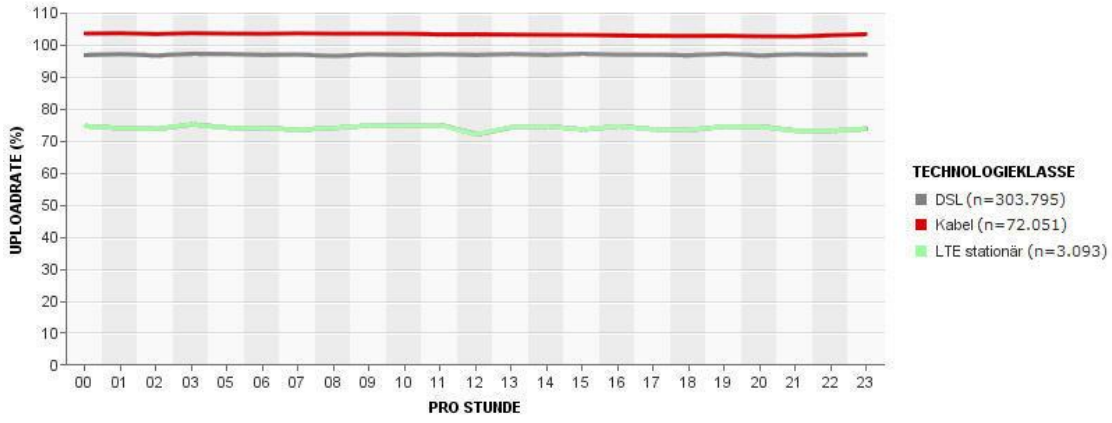

Abbildung 6.20: Zeitliche Verteilung der Upload-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Upload-Datenübertragungsrate nach Technologie

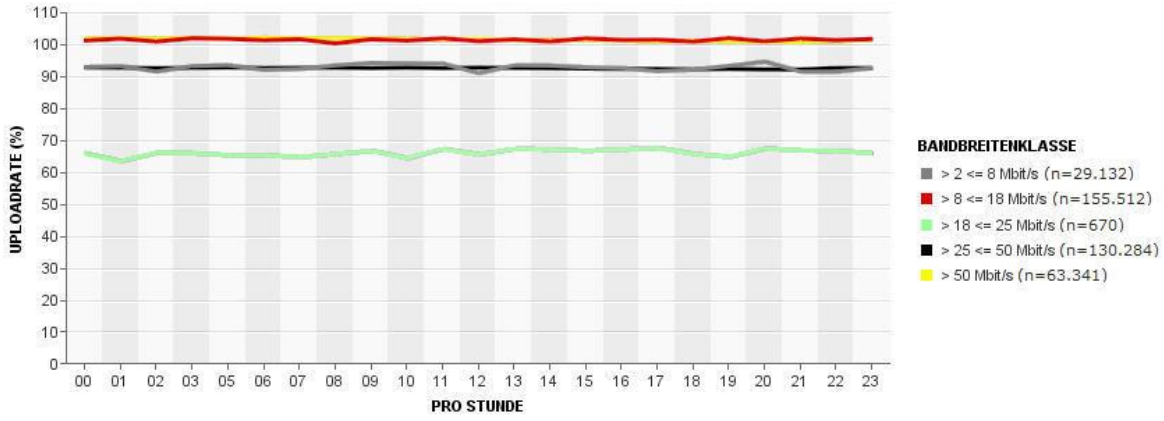

Abbildung 6.21: Zeitliche Verteilung der Upload-Datenübertragungsraten in Prozent der vermarkteten Upload-Datenübertragungsrate nach Bandbreiteklasse

6.3 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 ergibt sich für DSL-Anschlüsse ein Wert von 23,68 Millisekunden. Kabelanschlüsse schneiden mit 15,17 Millisekunden besser ab (s. Tabelle 17). Die Laufzeiten stationärer LTE-Anschlüsse liegen mit 44,80 Millisekunden deutlich darüber.

Tabelle 17: Laufzeiten nach Technologie

Laufzeit		
Technologie	**N**	**Mittelwert**
DSL	304.088	23,68 ms
Kabel	72.144	15,17 ms
LTE stationär	3.624	44,80 ms

Über den Tagesverlauf betrachtet (Abbildung 6.22) waren die gemessenen Laufzeiten von DSL-Anschlüssen nahezu konstant. In den Abendstunden wurde eine Zunahme um ca. bis zu 3% beobachtet. Die Laufzeiten von Kabelanschlüssen lagen über den gesamten Tagesverlauf unter denen von DSL-Anschlüssen und wiesen in den Abendstunden eine etwas erhöhte Laufzeit auf (bis zu ca. 10%).

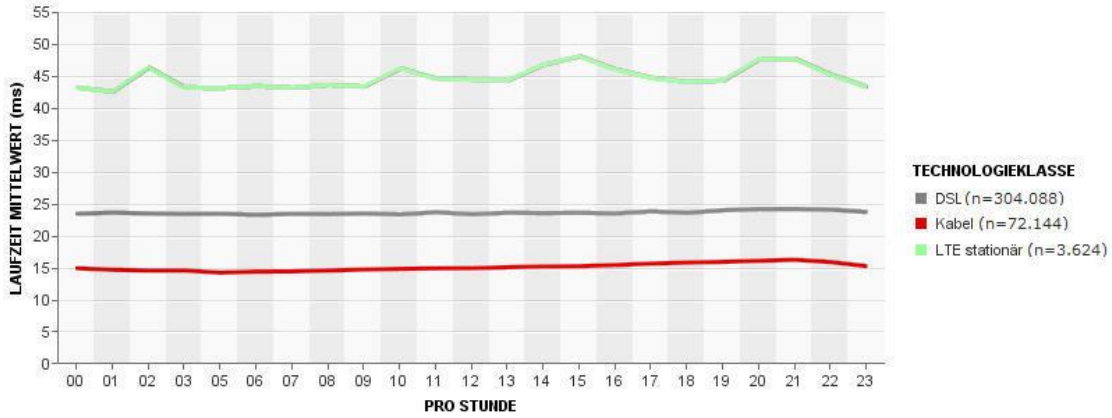

Abbildung 6.22: Zeitliche Verteilung der Laufzeit über Stunden nach Technologie

In der Analyse nach Bandbreiteklassen (Tabelle 18) fallen bei DSL und Kabelanschlüssen die leicht erhöhten Laufzeiten in der Klasse 8-18 Mbit/s auf. Die höchste Bandbreiteklasse (>50 Mbit/s) weist aufgrund des hohen Anteils von Kabelanschlüssen den besten Wert auf.

Bei stationären LTE-Anschlüssen nimmt hingegen die Laufzeit zu höheren Bandbreiteklassen hin zu. Gründe hierfür sind bisher nicht ersichtlich.

Tabelle 18: Laufzeit nach Bandbreiteklassen

Laufzeit			
Technologie	**Bandbreite**	**N**	**Mittelwert**
DSL & Kabel	**2: 2-8 Mbit/s**	27.522	21,22 ms
	3: 8-18 Mbit/s	155.208	26,02 ms
	5: 25-50 Mbit/s	130.068	21,16 ms
	6: > 50 Mbit/s	63.434	14,54 ms
LTE	**2: 2-8 Mbit/s**	1.944	37,10 ms
	3: 8-18 Mbit/s	297	41,32 ms
	4: 18-25 Mbit/s	834	51,17 ms
	5: 25-50 Mbit/s	549	63,55 ms

6.4 Web Browsing (Messplattform)

Auf der deutschlandweiten Messplattform wurde das Szenario Web Browsing untersucht. Darin werden die ersten 10 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. Kabelanschlüsse lieferten dabei in allen Bereichen geringfügig bessere Werte als DSL-Anschlüsse. Stationäre LTE-Anschlüsse schnitten am schlechtesten ab.

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	3.124.980	42,54 ms	62,79 ms	4,22 s
Kabel	757.210	35,55 ms	53,12 ms	3,72 s
LTE stationär	30.215	103,56 ms	62,64 ms	5,65 s

Betrachtet man die Zeiten nach Bandbreiteklassen (Tabelle 20) so lässt sich feststellen, dass bei den untersuchten Anschlüssen die Webseiten-Downloadzeit nur in sehr geringem Maße von der Datenübertragungsrate der Anschlüsse abhängt. Die gemessenen Werte für den vollständigen Download der Alexa Top 10 fielen bei DSL- und Kabelanschlüssen von 4,34

Sekunden in Bandbreiteklasse 2-8 Mbit/s bis hin zu 3,69 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.

Bei den stationären LTE-Anschlüssen fällt wie bei den Laufzeitmessungen auf, dass die geringste Webseiten-Downloadzeit bei der kleinsten Bandbreiteklasse und die höchste bei der größten Bandbreiteklasse gemessen wurden.

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 & Kabel	**2: 2-8 Mbit/s**	288.293	39,23 ms	65,41 ms	4,34 s
	3: 8-18 Mbit/s	1.672.990	43,17 ms	64,66 ms	4,35 s
	5: 25-50 Mbit/s	1.253.164	41,72 ms	59,11 ms	3,99 s
	6: > 50 Mbit/s	667.743	36,00 ms	52,90 ms	3,69 s
LTE stationär	**2: 2-8 Mbit/s**	15.988	98,89 ms	38,60 ms	5,21 s
	3: 8-18 Mbit/s	6.996	101,94 ms	97,29 ms	6,11 s
	4: 18-25 Mbit/s	4.520	122,77 ms	110,08 ms	5,69 s
	5: 25-50 Mbit/s	2.711	101,41 ms	36,96 ms	7,03 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.

Abbildung 6.23: Zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit über Stunden nach Technologie für eine Webseite mit komplexen Inhalten

Die zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit weist eine Verschlechterung der Werte um ca. bis zu 15% in den Abendstunden auf. Dieser Effekt tritt sowohl für DSL- als auch für Kabel- und LTE-Anschlüsse auf (vgl. Abbildung 6.23) und ist für alle Bandbreiteklassen sichtbar (vgl. Abbildung 6.24).

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 6.2 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.

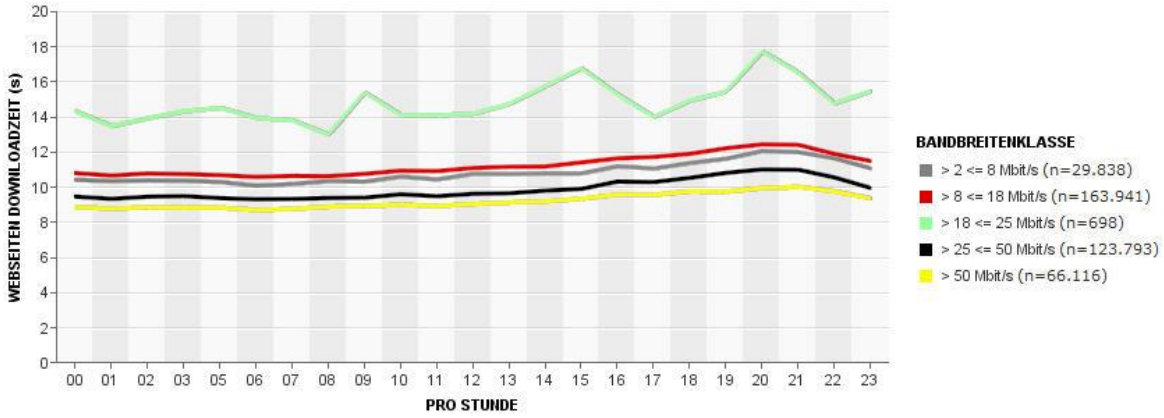

Abbildung 6.24: Zeitliche Verteilung der Webseiten-Downloadzeit über Stunden nach Bandbreiteklasse für eine Webseite mit komplexen Inhalten

7 Mobile Breitbandanschlüsse

Die Qualitätsparameter mobiler Breitbandanschlüsse wurden mit Hilfe der mobilen Messeinheiten der deutschlandweiten Messplattform gemessen. Die stichpunktartigen Messungen erfolgten in Bereichen hohen Publikumsverkehrs in den Orten, an denen sich Standorte der Messplattform befinden (vgl. Abbildung 2.1).

7.1 Datenübertragungsrate (Messplattform)

Die prozentual erreichten Datenübertragungsraten sind für Up- und Download auf die vermarkteten Datenübertragungsraten bezogen.

Die gemessenen prozentual erreichten Datenübertragungsraten sind sowohl im Upload als auch im Download regional und auch innerhalb der Bandbreiteklassen sehr unterschiedlich (vgl. Abbildung 7.1 und Abbildung 7.2).

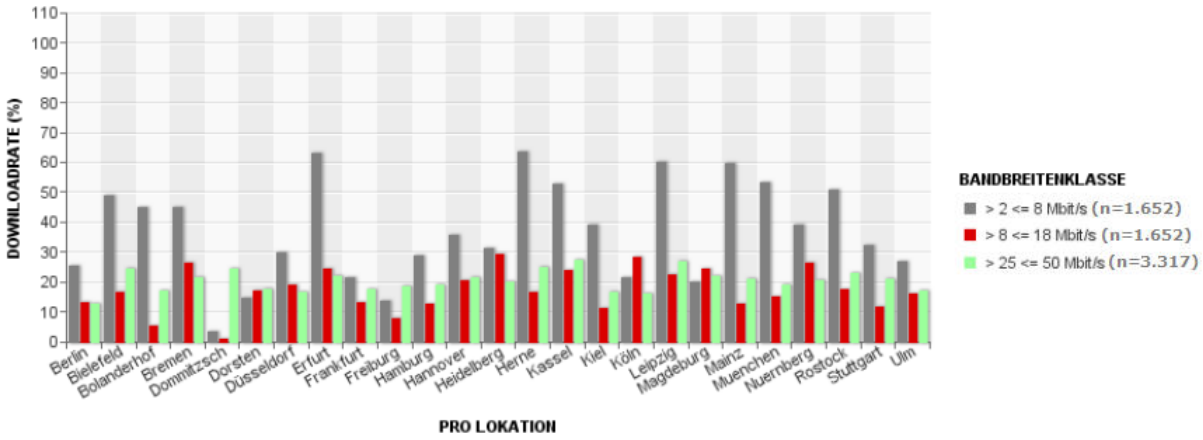

Abbildung 7.1: Mittelwert der prozentualen Download-Datenübertragungsrate mobiler Breitbandanschlüsse nach Lokation

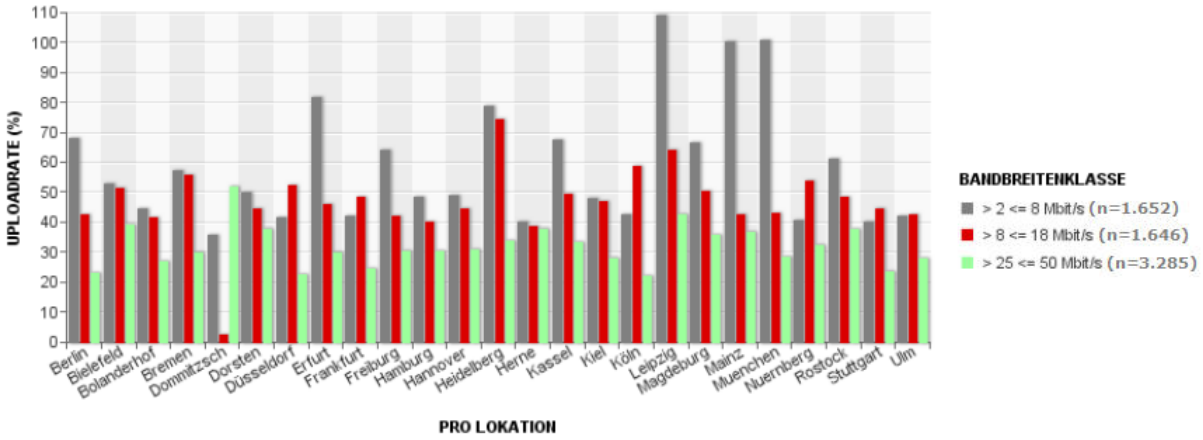

Abbildung 7.2: Mittelwert der prozentualen Upload-Datenübertragungsrate mobiler Breitbandanschlüsse nach Lokation

7.2 Laufzeiten (Messplattform)

Technologiebedingt wurden für mobile UMTS-Anschlüsse bedeutend höhere Laufzeiten gemessen als bei stationären Anschlüssen.

Die beste gemessene Laufzeit ergibt sich in der Bandbreiteklasse 8-18 Mbit/s. Die Unterschiede zu den höheren Klassen hin sind jedoch gering.

Ursachen für die in der Darstellung der Laufzeit nach Lokationen (Abbildung 7.3) festgestellten Ausreißer könnten Arbeiten oder Störungen in den Netzen der Anbieter sein.

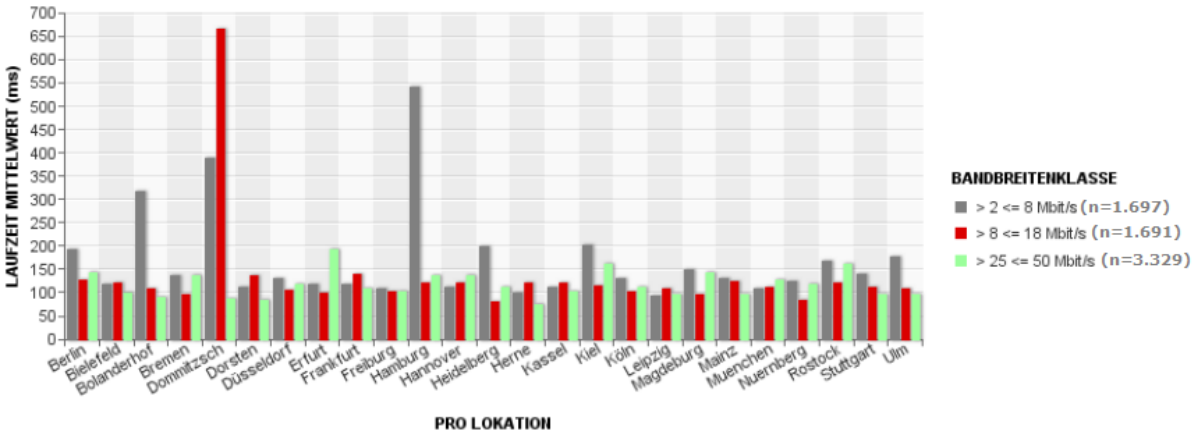

Abbildung 7.3: Mittelwert der Laufzeit mobiler Breitbandanschlüsse nach Lokation

7.3 Web Browsing (Messplattform)

Auch für mobile Anschlüsse wurde das Szenario Web Browsing (vgl. 2.3) auf der deutschlandweiten Messplattform im Rahmen des Bewegungstests mit mobilen Messeinheiten untersucht.

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.

Auch hier wiesen die gemessenen Antwort- und Downloadzeiten je nach Messort große Unterschiede auf. (vgl. Abbildung 7.4).

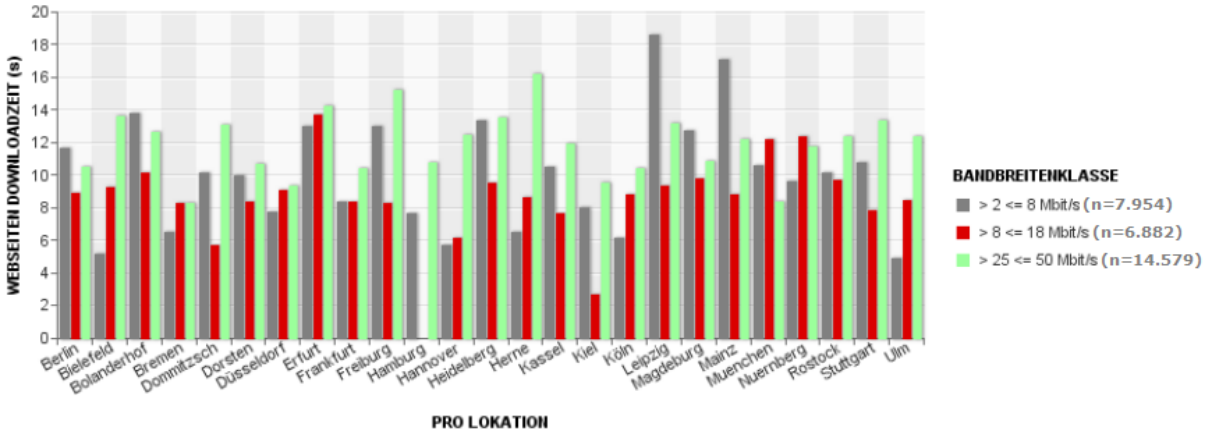

Abbildung 7.4: Mittelwert der Webseiten-Downloadzeit mobiler Breitbandanschlüsse nach Lokation

7.4 Schlussfolgerung für Messungen mobiler Breitbandanschlüsse

Die im Rahmen der stichpunktartigen Untersuchungen mobiler UMTS-Anschlüsse ermittelten Messwerte wiesen regional sehr hohe Schwankungen auf.

Der durchgeführte Test legt den Schluss nahe, dass ein Bewegungs-/Drivetest zwar insbesondere für die exakte räumliche Analyse der Ende-zu-Ende Qualität einzelner Dienste zu einem gegeben Zeitpunkt angewendet werden kann, aber keinen von Ort und Zeit unabhängigen Rückschluss auf die Qualität der mobilen Internetzugänge zulässt.

8 Interdependenzen (Messplattform)

Auf der bundesweiten Messplattform wurden die Einflüsse einer parallelen Nutzung von Bündeldiensten wie VoIP oder IPTV sowie von Up- und Download auf die Datenübertragungsrate untersucht.

Angegeben ist der Mittelwert der gemessenen Datenübertragungsrate als Prozentsatz der vermarkteten Datenübertragungsrate jeweils mit und ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten.

Um den Effekt zu verdeutlichen, der durch die Nutzung der Bündeldienste hervorgerufen wird, wird zusätzlich die prozentuale Abweichung der gemessenen Werte mit/ohne Bündeldienst dargestellt. Als Bezugswert (100%) wurde dabei der ohne Bündeldienst festgestellte Wert angenommen.

Die Ergebnisse sind für Up- und Download separat angegeben.

8.1 Download

Zunächst wird die prozentual erreichte Datenübertragungsrate im Download nach Technologien betrachtet. In Tabelle 21 sind die erreichten prozentualen Download-Datenübertragungsraten ohne und mit paralleler Nutzung von Upload und VoIP[27] nach Technologie[28] dargestellt.

Für alle betrachteten Technologien ist eine Verringerung der Datenübertragungsrate durch die parallele Nutzung von Upload und VoIP feststellbar. DSL-Anschlüsse wurden allerdings mit einer Verringerung um 6,18% stärker beeinflusst als Kabelanschlüsse (Verringerung um 2,69%). Bei den gemessenen stationären LTE-Anschlüssen sank die Datenübertragungsrate um 5,17%.

[27] VoLTE technisch noch nicht möglich, deshalb kein paralleler Voice Call bei LTE Anschlüssen
[28] Die Darstellung erfolgt für alle auf der Messplattform zugeführten Technologien stationärer Anschlüsse.

Tabelle 21: Mittelwert der prozentual erreichten Datenübertragungsrate im Download mit und ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten (VoIP) und Upload nach Technologien[29]

HTTP Download ohne/mit Inanspruchnahme von Bündeldiensten Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate				
Technologie	**N**	**Mittelwert (ohne)**	**Mittelwert (mit)**	**Abweichung**
DSL	301.041	89,89 %	84,34 %	-6,18 %
Kabel	72.053	94,84 %	92,29 %	-2,69 %
LTE stationär	3.160	89,00 %	84,39 %	-5,17 %

Untersucht man diesen Aspekt nach Bandbreiteklassen (vgl. Tabelle 22), so lässt sich feststellen, dass die verfügbare Datenübertragungsrate im Download umso stärker verringert wird, je kleiner die Bandbreiteklasse ist. Bei Inanspruchnahme von Bündeldiensten wurde eine Abweichung der Datenübertragungsraten von max. -8,08% festgestellt.

Tabelle 22: Mittelwert der prozentual erreichten Datenübertragungsrate im Download mit und ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten (VoIP) und Upload nach Bandbreiteklassen[30]

HTTP Download ohne/mit Inanspruchnahme von Bündeldiensten Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate					
Technologie	**Bandbreite**	**N**	**Mittelwert (ohne)**	**Mittelwert (mit)**	**Abweichung**
DSL & Kabel	**2: 2-8 Mbit/s**	27.472	103,06 %	95,22 %	-7,61 %
	3: 8-18 Mbit/s	153.637	83,18 %	78,85 %	-5,20 %
	5: 25-50 Mbit/s	128.642	89,34 %	84,65 %	-5,25 %
	6: > 50 Mbit/s	63.343	95,34 %	92,65 %	-2,83 %
LTE stationär	**2: 2-8 Mbit/s**	1.725	95,05 %	87,70 %	-7,73 %
	3: 8-18 Mbit/s	235	91,69 %	84,28 %	-8,08 %
	5: 25-50 Mbit/s	673	91,06 %	91,20 %	0,16 %
	6: > 50 Mbit/s	527	78,20 %	74,39 %	-4,86 %

[29] Bezugswert (100%) für Abweichung ist der ohne Bündeldienst festgestellte Wert
[30] Bezugswert (100%) für Abweichung ist der ohne Bündeldienst festgestellte Wert

Parallele Nutzung von IPTV

Am einem Standort wurde stichpunktartig die Interdependenz mit IPTV untersucht. Für die Untersuchung der Auswirkung von Interdependenzen mit IPTV bedarf es nicht einer breiten empirischen Basis in Form von Endkundenmessungen. Vielmehr ist eine Messung an den gewählten Standorten der Messplattform geeignet, Aussagen über die Effekte von Interdependenzen zu treffen, weil diese durch allgemeine Diensteprofile verursacht sein dürften.

Gemessen wurde die prozentuale Download-Datenübertragungsrate unter paralleler Nutzung von VoIP, IPTV und Upload. Dabei fiel der Mittelwert der Download-Datenübertagungsrate um 13,11%.

Tabelle 23: Mittelwert der prozentual erreichten Datenübertragungsrate im Download mit und ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten (VoIP und IPTV) und Upload[31]

HTTP Download ohne/mit paralleler Nutzung von FTP Upload, VoIP und IPTV Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate					
Technologie	Bandbreite	N	Mittelwert (ohne)	Mittelwert (mit)	Abweichung
DSL	5: 25-50 Mbit/s	9.132	93,35 %	81,11 %	-13,11 %

8.2 Upload

Im Falle der Upload-Interdependenztests ist die festgestellte Verringerung der Datenübertragungsrate bei DSL-, Kabel- und LTE- Anschlüssen durch die parallele Nutzung von Upload und VoIP[32] noch ausgeprägter als beim Download. Die Verringerung ist im Falle von DSL hier mit 42,23% stärker als bei Kabelanschlüssen mit 14,32% (vgl. Tabelle 24). Die gemessenen stationären LTE-Anschlüsse wiesen eine Reduzierung der Upload-Datenübertragungsrate um 35,83% auf.

[31] Bezugswert (100%) für Abweichung ist der ohne Bündeldienst festgestellte Wert
[32] VoLTE technisch noch nicht möglich, deshalb kein paralleler Voice Call bei LTE-Anschlüssen

Tabelle 24: Mittelwert der prozentual erreichten Datenübertragungsrate im Upload mit und ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten (VoIP) und Upload nach Technologien[33]

FTP Upload ohne/mit Inanspruchnahme von Bündeldiensten Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate				
Technologie	**N**	**Mittelwert (ohne)**	**Mittelwert (mit)**	**Abweichung**
DSL	303.795	97,07 %	56,08 %	-42,23 %
Kabel	72.051	103,37 %	88,56 %	-14,32 %
LTE stationär	3.093	74,16 %	47,59 %	-35,83 %

Die Betrachtung nach Bandbreiteklassen zeigt eine signifikante Beeinflussung insbesondere bei niedrigen Bandbreiten (vgl. Tabelle 25). Es wurden Abweichungen der Datenübertragungsraten von max. 53,75% festgestellt.

Tabelle 25: Mittelwert der prozentual erreichten Datenübertragungsrate im Download mit und ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten (VoIP) und Upload nach Bandbreiteklassen[34]

FTP Upload ohne/mit Inanspruchnahme von Bündeldiensten Prozent der vermarkteten Datenübertragungsrate					
Technologie	**Bandbreite**	**N**	**Mittelwert (ohne)**	**Mittelwert (mit)**	**Abweichung**
DSL & Kabel	**2: 2-8 Mbit/s**	27.476	106,56 %	60,03 %	-43,66 %
	3: 8-18 Mbit/s	155.276	102,27 %	47,30 %	-53,75 %
	5: 25-50 Mbit/s	129.753	92,68 %	72,20 %	-22,09 %
	6: > 50 Mbit/s	63.341	101,62 %	92,42 %	-9,06 %
LTE stationär	**2: 2-8 Mbit/s**	1.656	79,31 %	40,69 %	-48,70 %
	3: 8-18 Mbit/s	236	98,51 %	56,24 %	-42,90 %
	5: 25-50 Mbit/s	670	66,16 %	36,02 %	-45,56 %
	6: > 50 Mbit/s	531	60,92 %	45,39 %	-25,50 %

[33] Bezugswert (100%) für Abweichung ist der ohne Bündeldienst festgestellte Wert
[34] Bezugswert (100%) für Abweichung ist der ohne Bündeldienst festgestellte Wert

Endnutzermesskonzept

9 Dauerhafte Endnutzer Messungen

Ein weiteres Ziel der Studie sind erste allgemeine Aussagen über Anforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten für ein Messkonzept, das dauerhaft für Endkunden nutzbar ist.

Für die nachfolgenden Betrachtungen wurde angenommen, dass ein Messkonzept einheitlich im Markt angewendet wird. Dabei soll keine Aussage darüber getroffen werden, ob ein solches einheitliches Messkonzept privatwirtschaftlich umgesetzt wird, oder ob dies vor einem regulatorischen Hintergrund erfolgt.

In einem ersten Schritt werden mögliche Anforderungen entwickelt, die an ein endnutzerfreundliches Messkonzept gestellt werden können.

In einem zweiten Schritt werden ausgewählte technische Ansätze für Endnutzermessungen den entwickelten Anforderungen gegenüber gestellt und miteinander verglichen.

In einem dritten Schritt werden praktische Erfahrungen aus dem Studienbetrieb dargestellt, die bei der Entwicklung eines Konzepts für Endnutzermessungen darüber hinaus berücksichtigt werden können.

9.1 Anforderungen

Ein Messkonzept sollte Endkunden in die Lage versetzen, durch belastbare Messergebnisse mehr Transparenz hinsichtlich der Dienstequalität zu erhalten.

Vor diesem Hintergrund wurden die folgenden Anforderungen an ein Messkonzept für Endkunden identifiziert:

- Möglichst technologieunabhängige Eignung der Tools sowohl für stationäre als auch mobile Breitbandanschlüsse
- Benutzerfreundlichkeit, damit Messungen auch für Endkunden ohne ausgeprägte technische Kenntnisse durchführbar sind.
  Dazu dürften insbesondere zählen
  - ein möglichst geringer Eingriff in die Endkundeninfrastruktur

    - Einsatz von möglichst weit verbreiteten Technologie-plattformen.

- Möglichst vergleichbare Ergebnisse zwischen Anbietern und Produkten
- Minimierung bzw. Identifikation unterschiedlicher Einflussfaktoren auf das Messergebnis
- Qualitätsgesicherte Messgenauigkeit
- Möglichst verallgemeinerungsfähige Messergebnisse

9.2 Vergleich technischer Ansätze

Zur Messung der Qualität eines individuellen Internetzugangs durch Endkunden kommen unterschiedliche technische Ansätze in Betracht. Im Folgenden werden verschiedene Messansätze mit den Anforderungen verglichen, die für ein Endkundenkonzept anzusetzen sind:

- Hardware Box zwischen Modem/Router und Endkundeninfrastruktur
- Messsoftware in im Modem/Router
- Software Applikation

9.2.1 Hardware Box zwischen Modem/Router und Endkundeneinrichtung

Die Endkunden erhalten zur Messung eine Box, die zwischen Modem/Router und Endkundeninfrastruktur angeschlossen wird. Eine auf dieser Box implementierte Software führt zu bestimmten Zeiten Messungen durch. Messungen sollten nur durchgeführt werden, sofern keine anderen Zugriffe auf den Internetzugang aus der Endkundeninfrastruktur erfolgen.

- Technologieunabhängigkeit

  Hardware Boxen sind primär für stationäre Breitbandanschlüsse konzipiert, eine technologieübergreifende Implementierung erscheint nur schwer vorstellbar.

- Benutzerfreundlichkeit

  Gegenwärtig werden Hardware Boxen nur im Rahmen von Messstudien eingesetzt, eine Verbreitung im Massenmarkt ist hingegen nicht zu beobachten.

  Zudem setzt der Einsatz von Hardware Boxen die Bereitschaft des Endkunden voraus, seinen Hardware-Aufbau zu verändern.

  Nach ordnungsgemäßer Installation der Hardware werden Messwerte automatisch generiert und verlangen keine weitere Aktion durch den Endnutzer. Ein benutzerfreundlicher Zugriff auf die Messwerte kann im Rahmen von Softwareabfragen vom PC des Endkunden eingerichtet werden.

  Hardware Boxen lesen mitunter den gesamten Endkunden-Netzwerkverkehr mit. Vor diesem Hintergrund sind Fragen des Datenschutzes zu berücksichtigen.

- Vergleichbarkeit

  Es werden ausschließlich die Messwerte eines spezifischen Anschlusses erfasst. Aufgrund der geringen Verbreitung von Hardware Boxen ist gegenwärtig eine Darstellung von anderen Messwerten vergleichbarer Anbieter, Produkte und Standorte nur eingeschränkt möglich.

- Unabhängigkeit von Einflussfaktoren

  Bei diesem Ansatz können Messungen weitgehend unabhängig von der Konfiguration der Endkundeninfrastruktur erfolgen. Durch Überwachung des Netzwerkverkehrs zwischen Modem/Router und Endkundeninfrastruktur könnten Zugriffe anderer Applikationen festgestellt werden und der Messzeitpunkt so angepasst werden, dass dadurch keine Einschränkung der verfügbaren Bandbreite besteht. Zugriffe weiterer Endgeräte - z.B. Smartphones, Tablet-PCs und/oder weitere PCs über WLAN – können dabei jedoch unter Umständen nicht erkannt werden.

- Qualitätssicherung

  Um sicherzustellen, dass die Messgeräte valide Messwerte generieren, müssen eine korrekte Installation und ein fehlerfreier

Betrieb gewährleistet sein. Dies ist grundsätzlich im Rahmen einer Remote-Kontrolle der eingesetzten Geräte möglich, erfordert aber die regelmäßige Kontrolle jedes einzelnen Gerätes.

- Verallgemeinerungsfähigkeit

  Diese Lösung ist wegen der spezifischen Hardware durch einen relativ hohen logistischen Aufwand und relativ hohe Kosten gekennzeichnet. Dadurch ist in der Praxis die Anzahl der Testteilnehmer beschränkt. Im Allgemeinen wird deshalb beim Einsatz im Rahmen von Studien ein Panel-Ansatz verfolgt. Insofern ist in gewissen Intervallen ein Überblick über die Gesamtsituation möglich.

  Dieser Ansatz verlangt ein sorgfältiges statistisches Konzept. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass der Einsatz im Rahmen von Messpanels zu einer relativ geringen Anzahl getesteter Anschlüsse führt. Dies wirkt sich auf den Umfang der unabhängigen Stichproben aus.

9.2.2 Messsoftware im Modem/Router

Ein weiterer Ansatz ist die Implementierung einer Software zur Durchführung von Messungen direkt auf dem Modem/Router der Anbieter. Dies könnte Einflüsse durch die Endkundeninfrastruktur und deren Konfiguration wesentlich verringern und erfordert keine zusätzliche Hardware.

Die generelle Machbarkeit dieses Ansatzes wurde bereits in ersten Kontakten mit Hardwareherstellern insoweit in Frage gestellt, als dass in den derzeit auf dem Markt befindlichen Geräten keine Kapazitäten für eine derartige Implementation vorhanden sind.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass am Markt eine Vielzahl von Anbietern und Technologien präsent sind. Die Komplexität der Erarbeitung und Abstimmung einer übergreifenden Lösung und die Implementation auf den verschiedenen Plattformen, die einer ständigen Weiterentwicklung unterliegen und unterschiedliche Releasezyklen aufweisen, ist als extrem hoch anzusehen.

9.2.3 Software Applikation

Der Einsatz einer Software Applikation bietet den Vorteil, dass eine Durchführung des Tests für den Endkunden ohne Hardware-Logistik einfach möglich ist.

- Technologieunabhängigkeit

  Anders als bei hardwarebasierten Lösungsansätze ist es möglich, eine Softwareanwendung auch auf mobilen Endgeräten zu installieren. Sie kann damit technologieunabhängiger eingesetzt werden.

- Benutzerfreundlichkeit

  Anders als Messhardware stehen Software Applikationen zu geringeren Kosten und geringerem Aufwand einer Vielzahl von Endkunden zur Verfügung.

  Sie können entweder direkt auf den Endgeräten des Endkunden installiert oder (wie im Rahmen der Initiative Netzqualität eingesetzt) im Browser aufgerufen werden. Dies hat zur Folge, dass die Ende-zu-Ende-Übertragungsrate zwischen Browser und Daten-Referenz-System gemessen wird und damit weitere Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind. Allerdings ist die Benutzerfreundlichkeit von browserbasierten Applikationen höher, weil hier keine spezifische Installation auf Endgeräten erforderlich ist. Diese Implementierung setzt allerdings voraus, dass eine weit verbreitete, relativ robuste Technologie zum Einsatz kommt (z. B. Java oder Flash).

  Software Applikationen lesen den generellen Datenverkehr der Nutzer nicht mit. Daher sind datenschutzrechtliche Fragen nur insofern zu berücksichtigen, als eine Software Applikation unmittelbar personenbezogene Daten erfasst.

- Vergleichbarkeit

  Im Rahmen von Software-Applikationen könnten den Endkunden ggf. neben den eigenen auch die Ergebnisse einer Vielzahl anderer Endkunden dargestellt werden.

  Bei dieser Entscheidung werden zum einen datenschutzrechtliche Aspekte und die statistische Belastbarkeit solcher Aussagen zu betrachten sein.

- Unabhängigkeit vom Endgerät

  Es kann vorkommen, dass auf dem Endgerät im Hintergrund laufende Anwendungen in den Datenaustausch zwischen Browser/Applikation und Daten-Referenz-System eingebunden sind (z.B. Virenscanner oder Firewalls). Dabei ist nicht auszuschließen, dass diese das Messergebnis beeinflussen.

  Bei dieser Implementierung ist es möglich, das Vorhandensein derartiger Applikationen und auch ggf. den Einfluss einer Anbindung anderer Endgeräte über WLAN zu erfassen. Hierfür sind im Moment allerdings Angaben der Endbenutzer notwendig, wie sie zum Beispiel als Abfrage in den Bedienfluss der Initiative Netzqualität integriert wurde.

  Sofern möglich, sollten in Zukunft weitere Informationen darüber, unter welchen Umständen die Messung durchgeführt wurde, aus der Endkundeninfrastruktur und dem Modem/Router ausgelesen werden. Hilfreich wäre hier z.B. die synchronisierte Datenrate zwischen Modem/Router und Endkunden-PC, Parameter bzgl. der Signal- und Linkqualität bei funkbasierten Technologien oder ob eine Kommunikation über WLAN erfolgt.

- Qualitätssicherung

  Eine Sicherung der Messgenauigkeit von Software-Applikationen kann durch vergleichende Messungen an Anschlüssen erreicht werden, deren Eigenschaften bekannt sind. Dies wurde im Falle der eingesetzten Software Applikation durch Vergleich mit den Ergebnissen einer deutschlandweiten Messplattform (siehe 5.3) erreicht.

  Bei der Analyse von Abweichungen zwischen vermarkteter und gemessener Datenübertragungsrate sowie zu Validierungszwecken hat sich die Möglichkeit, zusätzlich auf die synchronisierte Datenrate der Leitung zurückgreifen zu können, als sehr hilfreich erwiesen. Derzeit ist diese Funktionalität nur für Geräte des Herstellers AVM implementiert. Es sollte in Zusammenarbeit mit den Anbietern untersucht werden, ob in Zukunft auch ein Auslesen dieses Wertes für andere Gerätehersteller implementiert werden kann.

- Verallgemeinerungsfähigkeit

  Auch eine Software-Applikation misst zunächst nur die Qualitätsparameter eines spezifischen Anschlusses. Um aus der Summe der Einzelmessungen verallgemeinerungsfähige Aussagen herleiten zu können, ist daher eine hohe Teilnehmeranzahl erforderlich, um einen möglichst großen Anteil der Grundgesamtheit zu erreichen.

  Die Hemmschwelle, einen Teilnehmer zu gewinnen, ist beim Einsatz einer Software-Applikation schon allein aufgrund des geringeren zeitlichen Aufwandes niedriger. Die Hemmschwelle zur Teilnahme sinkt weiter, je unkomplizierter eine Teilnahme erfolgen kann. Dabei spielt zum einen die Erfassung eines möglichst minimalen Sets von Benutzereingaben als auch einfache Benutzerführung und Zugriff eine Rolle.

  Zeitgleich erfordert die Verallgemeinerungsfähigkeit aber zugleich ein stabil implementiertes statistisches und technisches Monitoring, das einerseits kritische Messwerte sowie Mehrfachmessungen verwirft und das andererseits regelmäßig die Verteilung der Benutzergruppen vergleicht.

9.2.4 Schlussfolgerung

Insgesamt überwiegen grundsätzlich die Vorteile von qualitätsgesicherten Softwarelösungen, wobei darauf hinzuweisen ist, dass die konkrete Ausgestaltung und damit die wesentlichen Vorteile essenziell von den privatwirtschaftlichen bzw. regulatorischen Rahmenbedingungen abhängig sind.

10 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.

Bündeldienst
Weitere zusammen mit dem Internetzugang gebündelt angebotene Dienste wie z.B. Telefonie, Video und IPTV.

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, in 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 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 kommt LTE-Zugangstechnologie als Ersatz von Festnetzanschlüssen zum Einsatz. 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 Diensteanbieter bereitgestellt wird (z.B. eine Router-Modem-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 - 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.

Stationärer Breitbandanschluss
Breitbandanschluss zur Nutzung an einem festen Ort. Der 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.

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

Anhang

11 Technische Darstellung der Messverfahren

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

11.1 Messaufbau der Messplattform

Die bundesweite Messplattform setzt sich aus Messeinheiten an 26 Standorten (vgl. Abbildung 11.1) 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 11.1: 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[35] ausgewählt (vgl. Tabelle 26). Ebenfalls wurden UMTS-Anschlüsse der Anbieter Telekom Deutschland, Vodafone, Telefonica und E-Plus gemessen.

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.

[35] VATM TK-Marktanalyse Q3/2011

Tabelle 26: Untersuchte Anbieter und Produkte stationärer Breitbandanschlüsse auf der deutschlandweiten Messplattform (Quelle: VATM TK-Marktanalyse Q3/2011)

Stationäre Breitbandanschlüsse			
Anbieter	**Marktanteil**	**Klassifizierung**	**Produkte**
Telekom	44,9%	Überregional	16000/1024 kbit/s, 25064/5056kbit/s, 51300/10000 kbit/s
Vodafone	11,9%	Überregional	6144/640 kbit/s, 16128/800 kbit/s, 50000/10000 kbit/s
United Internet	11,9%	Überregional	16000/1024 kbit/s, 51300/10000 kbit/s
Telefónica	9,0%	Überregional	2000/512 kbit/s, 16000/1000 kbit/s, 16000/1024 kbit/s, 16000/1024 kbit/s
Unitymedia KabelBW	7,2%	Regional	32000/1000 kbit/s, 64000/5000 kbit/s, 100000/2500 kbit/s, 128000/5000 kbit/s
Kabel Deutschland	5,8%	Regional	32000/2000 kbit/s, 100000/6000 kbit/s
Versatel	2,5%	Regional	16000/800 kbit/s
EWE	2,5%	Regional	16000/1024 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

11.1.1 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.

11.1.2 Messeinheiten mobile Messungen

Auch für den Einsatzzweck der mobilen Messungen kommt leistungsfähige, speziell zugeschnittene Hardware und Software zum Einsatz.

Die Ausstattung der Messeinheiten ist fast identisch mit denen für die stationären Messungen, nur dass diese für den mobilen Einsatz konzipiert sind.

Für den Bewegungstest war pro Anbieter eine Messeinheit gemäß folgender Spezifikation vorhanden:

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

An den Messeinheiten wurden handelsübliche USB-Stick für UMTS inklusive SIM-Karte und Anwendungssoftware des Netzbetreibers angeschlossen und installiert.

Die genutzten Datenvolumina wurden so bemessen, dass keine Drosselung der Datenübertragungsrate bei Überschreiten des vertraglich vereinbarten Datenvolumens auftrat („Speed Step Down“).

11.2 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

Vor diesem Hintergrund wurde für diese Studie auf einer Flash-Applikation der Firma AVM aufgesetzt, die außerdem ein Auslesen der synchronisierten Datenrate der Leitung aus „AVM Fritz!Boxen" ermöglicht.[36] Durch die weite Verbreitung von Flash war es Endkunden regelmäßig möglich, die Software-Applikation ohne weiteren Installationsaufwand auf ihren Rechnern zu nutzen.

Die eingesetzte Software-Applikation 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.

Die Endkundenmessungen erfolgten zwischen der Software-Applikation, die als *Flash PlugIn* im Browser des Endgerätes ausgeführt wird, und Daten-Referenz-Systemen.

Ein Einfluss von fehlerhaften Flash-Versionen konnte ausgeschlossen werden, weil in einem solchen Fall keine Messwerte generiert werden konnten oder diese im Rahmen einer Validierung verworfen wurden.

Die Datenübertragungsrate kann aber durch im Hintergrund laufende Anwendungen beeinflusst werden, die in den Datenaustausch zwischen Browser und Daten-Referenz-Systemen eingebunden sind (z.B. Virenscanner oder Firewalls). Die gleichen Effekte treten auf, wenn andere Endgeräte (z.B. Smartphones, Tablets) über WLAN auf den zu messenden Breitbandanschluss zugreifen. Die verlässlichsten Ergebnisse lassen sich daher erzielen, wenn weder andere datenintensive Anwendungen noch

[36] Dieser zusätzliche Wert ist hilfreich zu Validierungszwecken und für Ursachenanalysen bei unzureichender Performance.

weitere Endgeräte auf den zu messenden Internetzugang bzw. auf den Breitbandanschluss zugreifen. Schließlich sollte die Messung kabelgebunden über LAN durchgeführt werden, um Qualitätseinbußen durch die WLAN-Verbindung zu vermeiden.

Vor diesem Hintergrund wurden die Endnutzer zunächst über diese Voraussetzungen informiert, und dann 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 Zugangs-Einheit anzuschließen. Schließlich wurde vor der Messung abgefragt, ob bei der Messung eine solche optimale Testumgebung vorgelegen hat. In die Auswertung der Studie sind nur die Datensätze eingegangen, die bei optimaler Testumgebung ermittelt worden sind.

Ferner wurden die Endnutzer darüber informiert, dass lokale LAN-Konfigurationen (z.B. Proxy-Einstellungen) die Datenübertragungsrate beschränken können, die dem einzelnen Client zur Verfügung steht.

11.3 Daten-Referenz-Systeme

Für die Datenmessungen standen 10 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

11.4 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 10 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.

11.4.1 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 11.2). Damit bezeichnet die HTTP-Download-Zeit den Zeitraum, während dessen alle parallelen HTTP-Streams zeitgleich Last erzeugen.

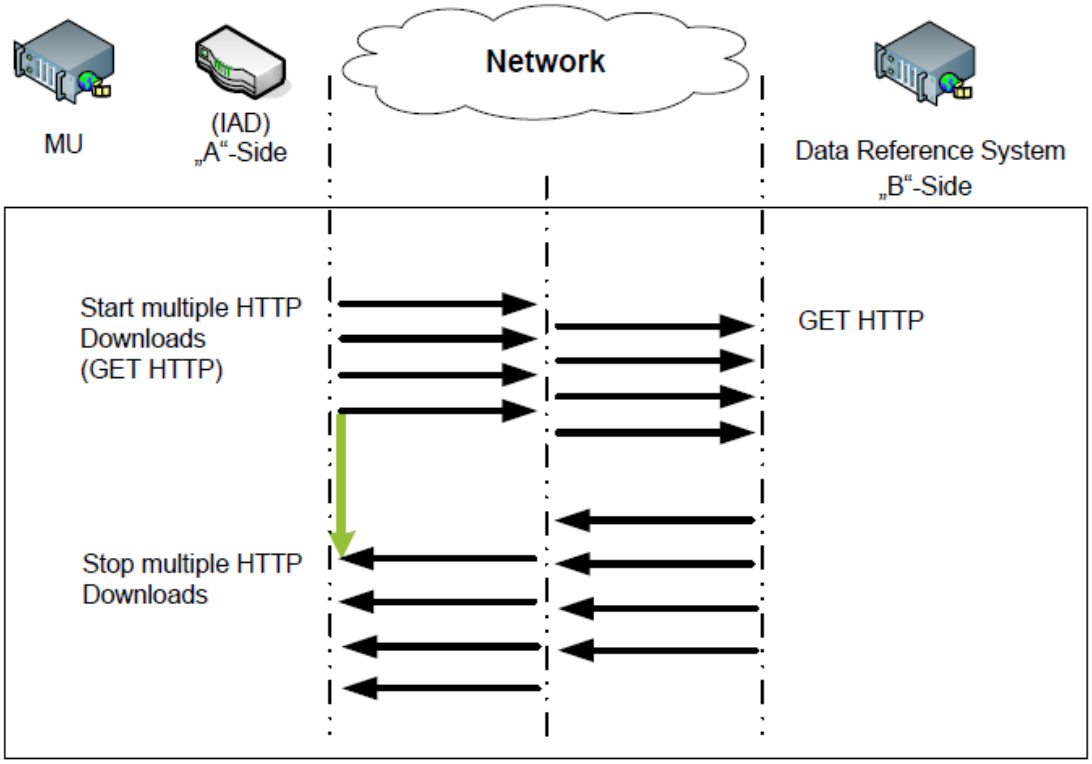

Abbildung 11.2: Messung der Datenübertragungsrate - Download

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[37].

[37] 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).

11.4.2 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[38] einer hinreichend großen[39] Datei im passive Mode[40] durchgeführt, der nach 20 Sekunden abgebrochen wurde.

Bei den Endkundenmessungen erfolgte die Erfassung der Upload-Datenübertragungsrate demgegenüber mit Hilfe eines standardisierten HTTP Uploads[41]. 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 11.3) 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.

[38] Gemäß ETSI EG 202 057 - Part 4.
[39] 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.
[40] 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.
[41] Gemäß ETSI EG 202 057 - Part 4

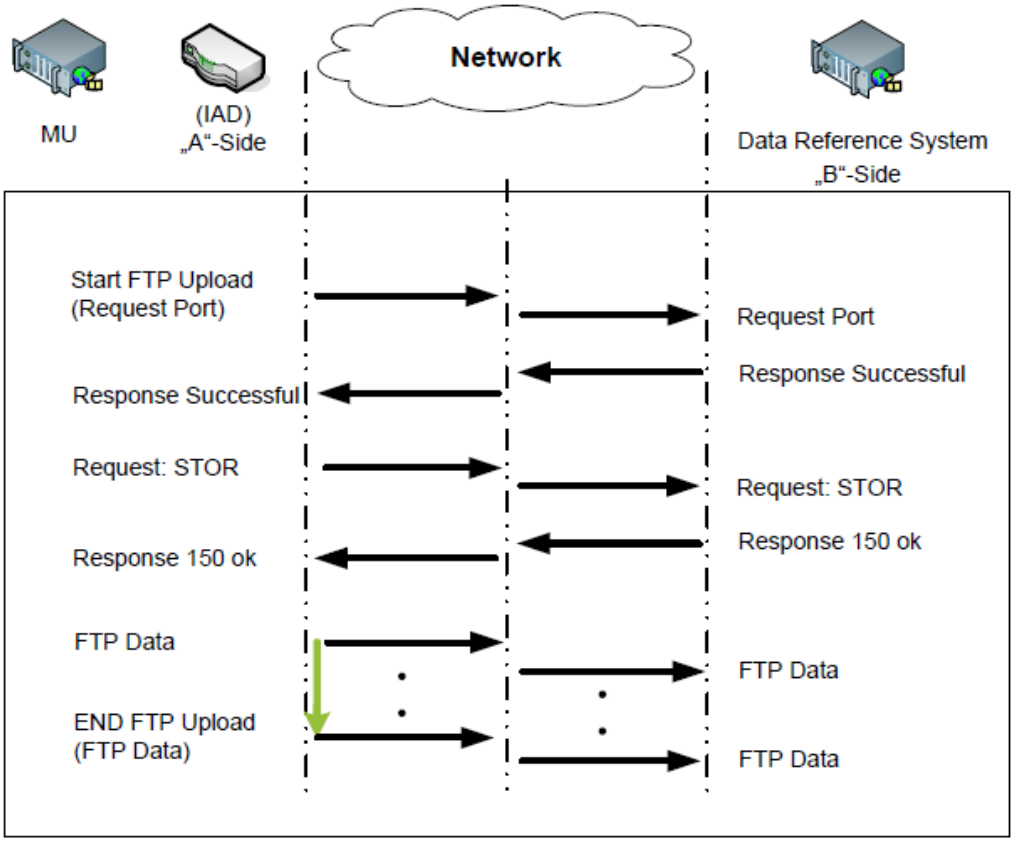

Abbildung 11.3: Messung der Datenübertragungsrate - Upload

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

11.4.3 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[42] 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 11.4).

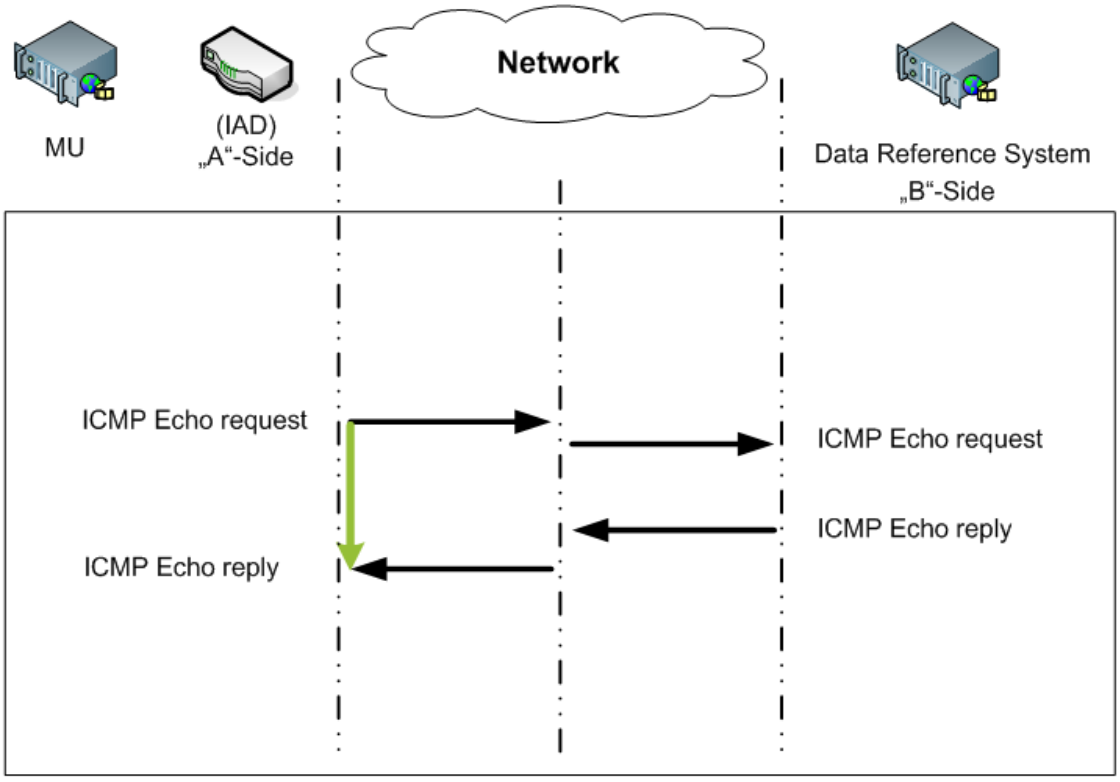

Abbildung 11.4: Messung der Laufzeit

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

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

11.4.4 Messung der Webseiten-Downloadzeit

Um ein typisches Nutzerverhalten nachzubilden, wurden die ersten 10 der laut Alexa Top Site Listing[43] der im April 2012 am häufigsten besuchten Webseiten aufgerufen (siehe Tabelle 27). Im Messzeitraum kam es nur zu Änderungen der Reihenfolge, während die Zusammensetzung der Liste unverändert geblieben ist. Vor diesem Hintergrund waren Anpassungen nicht erforderlich.

Tabelle 27: Alexa Top 10 Webseiten (Stand April 2012)

Alexa Top 10 Webseiten in Deutschland // April 2012	
Platz	**Webseite**
1.	http://www.google.de
2.	http://www.facebook.com
3.	http://www.google.com
4.	http://www.youtube.com
5.	http://www.ebay.de
6.	http://www.amazon.de
7.	http://www.wikipedia.org
8.	http://www.spiegel.de
9.	http://www.yahoo.com
10.	http://www.bild.de

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.

[43] 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 11.5).

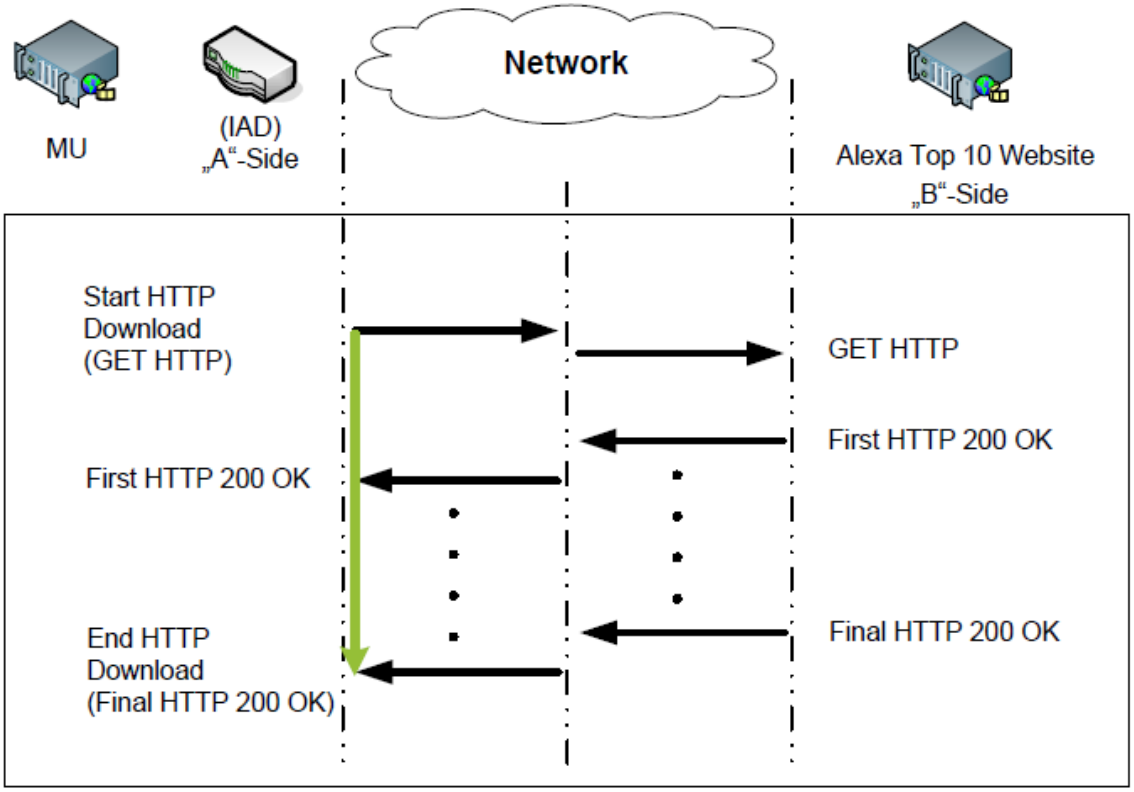

Abbildung 11.5: Messung der Webseiten-Downloadzeit

Zur Erfassung von DNS-Antwortzeit, HTTP-Antwortzeit und Webseiten-Downloadzeit wurde eine „WebKit-Browser-Engine“[44] 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.

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

11.4.5 Interdependenzmessung

Für die Interdependenzmessungen ist insbesondere die präzise und reproduzierbare Simulation der VoIP- und IPTV-Nutzung erforderlich. Dies setzt die kontrollierte Steuerung komplexer Abläufe und Einbindung von Endgeräten (z.B. Set-Top-Box) voraus.

Interdependenzen zwischen dem Internetzugangsdienst und einem parallel genutzten VoIP-Dienst wurden durch Messungen an den stationären Testanschlüssen der bundesweiten Messplattform untersucht. Die Interdependenzmessung mit IPTV erfolgte dabei stichpunktartig an einem Standort. Für die Untersuchung der Auswirkung von Interdependenzen bedarf es nicht einer breiten empirischen Basis in Form von Endkundenmessungen. Vielmehr ist eine Messung an den gewählten Standorten der Messplattform geeignet, Aussagen über die Effekte von Interdependenzen zu treffen, weil diese durch allgemeine Diensteprofile verursacht sein dürften.

Messverfahren

Um den Einfluss der parallelen Nutzung von Bündeldiensten zu untersuchen, werden die Datenübertragungsraten in folgenden Szenarien gemessen:

- HTTP-Download ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten
- FTP-Upload ohne Inanspruchnahme von Bündeldiensten
- HTTP-Download mit paralleler Nutzung von FTP-Upload und VoIP
- FTP-Upload mit paralleler Nutzung von HTTP-Download und VoIP
- HTTP-Download mit paralleler Nutzung von FTP-Upload, VoIP und IPTV

Zur Messung der Datenübertragungsraten kommen die unter 4.1 und 4.2 beschriebenen Verfahren zum Einsatz, wobei die Datenübertragung nicht bereits nach 20 Sekunden, sondern erst nach 90 Sekunden unterbrochen wird. Für die Lasttests mit paralleler Nutzung von Bündeldiensten wurden die Störgrößen (d.h. die Belastung durch Bündeldienste) im 5-Sekunden Abstand zueinander und 5 Sekunden vor dem Start der Messgröße (Upload/Download) initiiert und erst nach Beendigung der Messung wieder abgebaut. Ausschließlich die Messgröße fließt in die Ergebnisse ein.

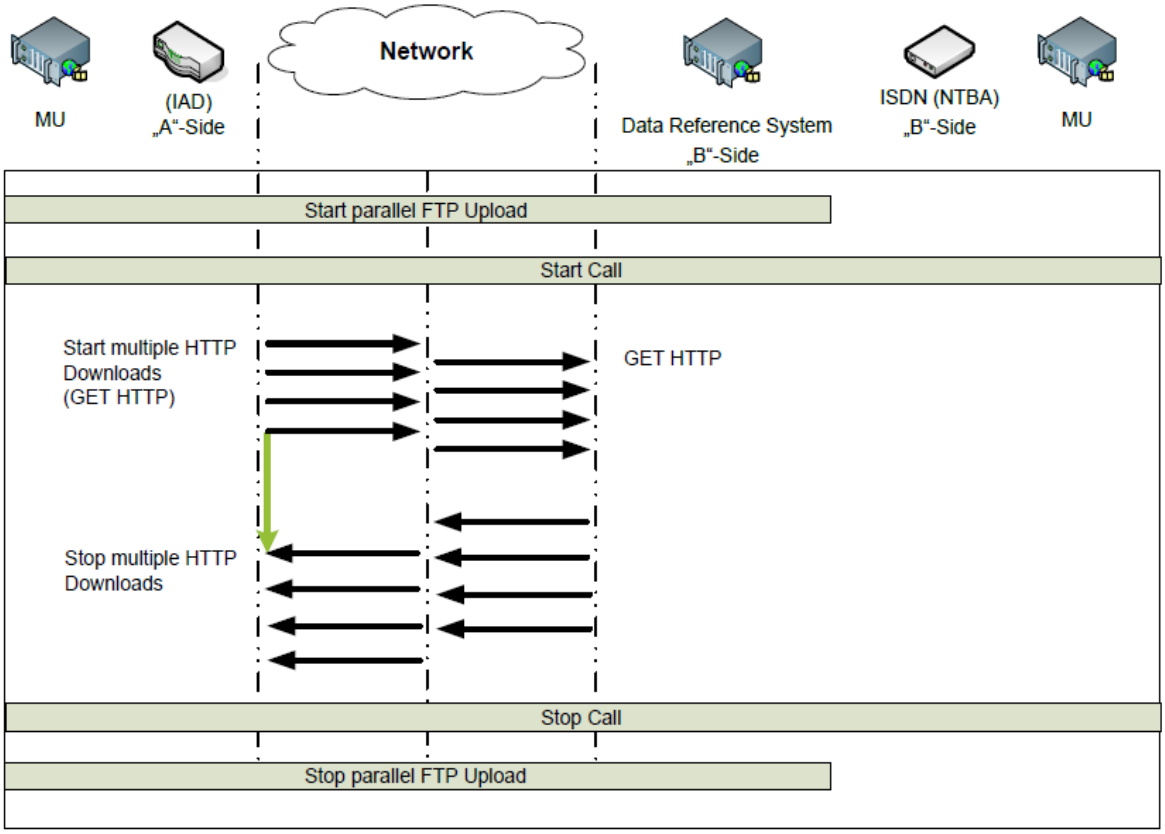

Abbildung 11.6: Interdependenzmessung

Zum Beispiel gilt für das Szenario „HTTP-Download mit paralleler Nutzung von FTP-Upload und VoIP", dass der FTP-Upload als erste Störgröße (Last) mindestens 10 Sekunden vor dem Start des standardisierten HTTP-Downloads als Messgröße initiiert wird und der Voice-Call als zweite Störgröße 5 Sekunden vor dem Start des standardisierten HTTP-Downloads initiiert wird (vgl. Abbildung 11.6). Ausschließlich die Qualitätskennwerte des HTTP-Downloads fließen als Messgröße in die Bewertung ein.

11.5 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

- Übersetzung von Freitexteingaben in Standardbezeichnungen mit Hilfe regelmäßig aktualisierter Umsetzungstabellen.
- 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)[45].

Postleitzahl mit Zuordnung geographischer Bereich und Bundesland

- Zuordnung von Bundesland und geographischem Bereich (städtisch, halbstädtisch, ländlich[46]) basierend auf der Bevölkerungsdichte[47] 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.

---

[45] 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.

[46] Klassifizierung gemäß Eurostat

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

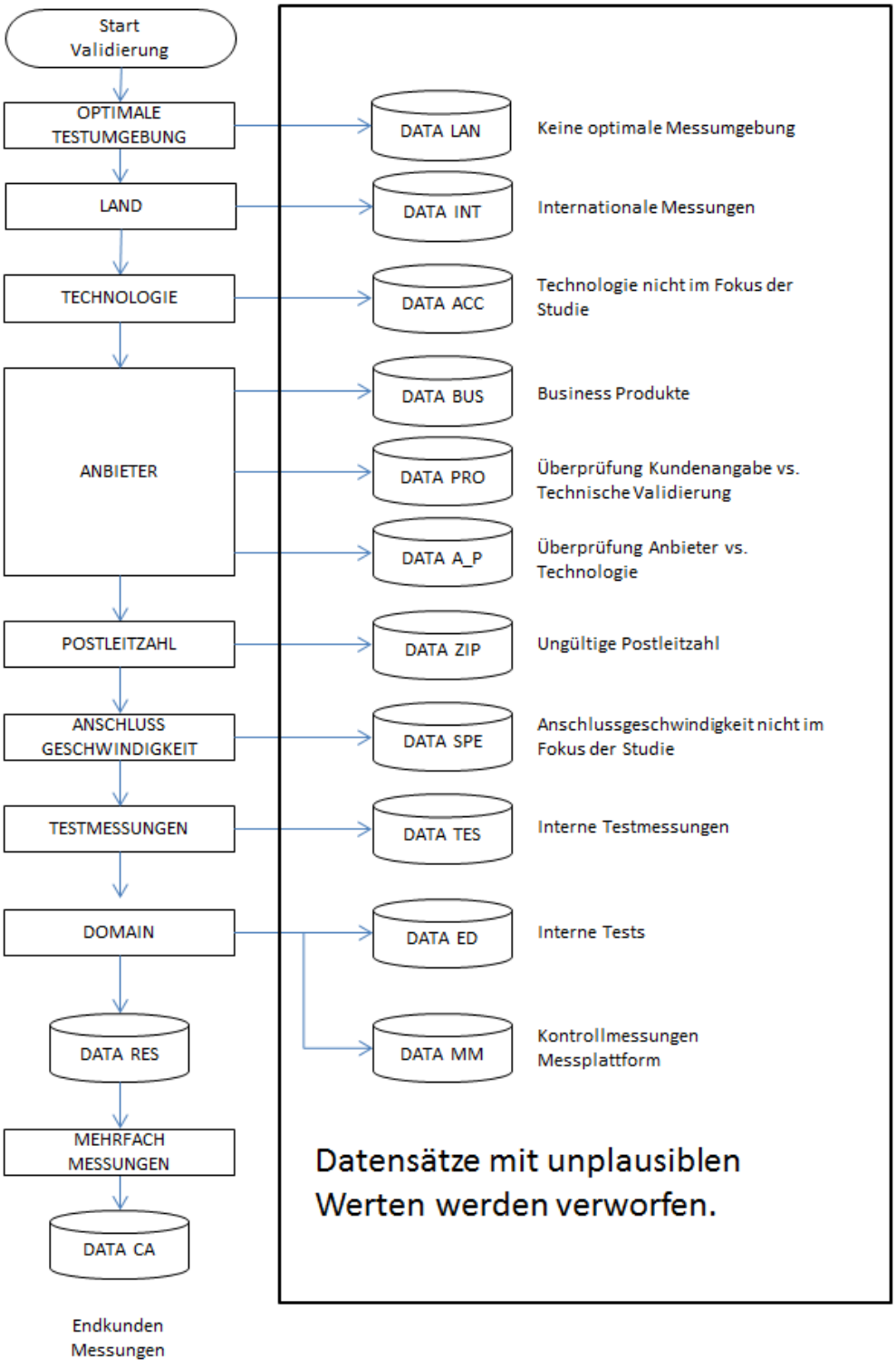

Abbildung 11.7: Überblick der Validierungsstufen, in denen jeweils Datensätze mit unplausiblen Werten verworfen werden

Synchronisierte Datenrate der Leitung

Mit der Software-Applikation war es zudem möglich, die synchronisierte Datenrate der Leitung für Geräte (Router-Modem-Kombination) des Herstellers AVM auszulesen. 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.