

**HTW** Chur

Hochschule für Technik und Wirtschaft  
University of Applied Sciences



Forschungsstudie

# Breitband und Digitale Transformation: Breitbanderschliessung im Kanton Graubünden

Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Chur

# Breitband und Digitale Transformation: Breitbanderschliessung im Kanton Graubünden

**Studie im Auftrag des Departements für Volkswirtschaft und Soziales Graubünden**

November 2017

**Ulrich Hauser, Lukas Toggenburger, Beat Bigger, Corsin Capol**  
Institut für Photonics und ICT (IPI)

## Zusammenfassung

### Breitbandversorgung der Schweiz im Vergleich zu den Nachbarländern und Europa

#### *Festnetz*

Die Schweiz liegt im Vergleich zu den Nachbarstaaten Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien in allen betrachteten Berichten durchgängig an der Spitze. Im gesamteuropäischen Vergleich befindet sich die Schweiz je nach Datenquelle immer unter den vier besten Staaten. Das schweizerische Breitbandnetzwerk gehört folglich bezüglich Geschwindigkeit und Bevölkerungsabdeckung europaweit zu den Besten. Auch ländliche Gebiete sind im europäischen Vergleich sehr gut erschlossen.

#### *Mobilnetz*

Beim Vergleich mit den direkten Nachbarländern Österreich, Italien, Frankreich und Deutschland ergibt sich für die Schweiz in der Abdeckung mit 4G der Spitzenplatz, bei der Downloadrate abhängig von der betrachteten Studie eine Zweitplatzierung hinter Österreich beziehungsweise Deutschland.

Die Schweiz rangiert im Mobilfunk im gesamteuropäischen Vergleich sowohl bei der Abdeckung mit 4G als auch bei den Datenraten über dem Durchschnitt, gehört jedoch nicht zur Spitzengruppe. Länder wie die Niederlande, Schweden und Norwegen, aber auch die baltischen Staaten, liegen vor der Schweiz. Im Vergleich zu den Nachbarländern ist der Ausbau des Mobilfunks in der Schweiz führend. Danach nimmt die Schweiz in Europa bei der Abdeckung mit 4G einen Platz am Ende des ersten Drittels ein, je nach Quelle leicht unterschiedlich. Bei den durchschnittlich gemessenen Downloadgeschwindigkeiten ergibt sich je nach Quelle ein uneinheitliches Bild: Bei Akamai landet die Schweiz auf Platz 4 von 31, bei OpenSignal auf Platz 11 von 25.

Vergleicht man die Schweiz mit den direkt angrenzenden Ländern Deutschland und Österreich, so hat die Schweiz nach Messungen vom Oktober 2017 (Rügheimer, 2018) generell den besten Service zur Verfügung. Dies auch bei Indikatoren, die speziell repräsentativ für ländliche Gegenden sind.

### Breitbandversorgung von Graubünden im Vergleich zur Schweiz

#### *Festnetz*

Die Abdeckung mit Festnetzservices ist in Graubünden und in der Schweiz mit fast 100 % der Haushalte sehr gut. Bei den sehr schnellen Services ab 100 Mbps weist der Kanton Graubünden mit 72,7 % gegenüber der Gesamtschweiz (93,1 %) einen Rückstand auf. Trotzdem können knapp 96 % der Bündner Haushalte dank mehr als 10 Mbit/s Full-HD-Videos mit 24 Frames/s flüssig streamen.

#### *Mobilnetz*

Die Mobilfunkabdeckung des Kantons Graubünden liegt leicht hinter der Abdeckung der Schweiz zurück. Im 3G-Bereich bestehen keine Differenzen: Mehr als 99 % der Bevölkerung in Graubünden und in der Schweiz haben Zugang zu 3G-Leistungen. Demgegenüber erfolgte der Ausbau im 4G-Bereich bis 150 Mbit/s in Graubünden langsamer als in der Gesamtschweiz. So hatten 2015 rund 5,6 % der Bevölkerung in Graubünden noch keinen Zugang zu 4G/LTE-Service, während gesamtschweizerisch der Wert bei 2 % lag. Jedoch wird dieser Service kontinuierlich ausgebaut und die Abdeckungsraten in Graubünden nehmen deutlich zu (von 61,8 % im Jahr 2014 zu 94,4 % im Jahr

2015). Deshalb ist davon auszugehen, dass heute auch in Graubünden die Abdeckung durch 4G bei annähernd 100 % liegen dürfte und sich der Rückstand somit aufgelöst hat. Es ist jedoch zu beachten, dass dies technische Angaben sind. Bei gleichzeitiger Auslastung der Infrastruktur durch viele Nutzerinnen und Nutzer kommt es zu signifikanten Reduktionen der realen Datenraten.

## **Breitbandversorgung von Graubünden im Vergleich zu Regionen des benachbarten Auslandes**

### *Festnetz*

Der Vergleich Graubündens mit den benachbarten Regionen Baden-Württemberg, Tirol und Südtirol beruht auf unterschiedlichen Datenquellen. Das erlaubt keinen direkten Vergleich, sondern ermöglicht lediglich eine Orientierung. Die Ergebnisse zeigen, dass Graubünden den Spitzenplatz in der Versorgung einnimmt. Der Vorsprung wird mit der Geschwindigkeit des jeweiligen Service grösser. Je moderner der Service, desto stärker setzt sich Graubünden von den verglichenen Regionen ab. Bei den Services um 20 Mbit/s, was dem flüssigen Streamen zweier HD-Videos mit 24 Frames/s entspricht, herrscht eine nahezu vollständige Abdeckung. Gut 70 % der Haushalte können mindestens die fünffache Datenrate als Maximum beanspruchen.

### *Mobilnetz*

Da aus Südtirol keine Daten vorliegen, kann nur ein Vergleich von Graubünden mit Baden-Württemberg und Tirol erfolgen. Betrachtet wurde nur die Abdeckung mit LTE als der momentan wichtigsten Technologie. Graubünden nimmt den Mittelplatz ein. Tirol hat eine fast vollständige Abdeckung mit über 99 % der Population. Graubünden hat mit 98 % der Bevölkerung eine sehr gute Abdeckung, während Baden-Württemberg mit 94 % eine tiefere Abdeckung erreicht.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
1 Einleitung.....	6
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung.....	6
1.2 Vorgehen.....	6
2 Breitbandversorgung.....	7
2.1 Breitbandversorgung der Schweiz im Vergleich zu den Nachbarländern und Europa...7	
2.1.1 Festnetz.....	8
2.1.2 Mobilfunk.....	13
2.2 Breitbandversorgung von Graubünden im Vergleich zur Schweiz.....	20
2.2.1 Festnetz.....	20
2.2.2 Mobilfunk.....	21
2.3 Breitbandversorgung von Graubünden im Vergleich zu Regionen des benachbarten Auslandes.....	22
2.3.1 Festnetz.....	22
2.3.2 Mobilfunk.....	23
2.4 Ausblick.....	24
2.4.1 Festnetz.....	24
2.4.2 Mobilnetz.....	25
3 Anhang.....	27
3.1 Methodik.....	27
3.1.1 Datenquellen.....	27
3.1.2 Datenraten.....	27
3.1.3 Haushaltsdichten.....	28
3.1.4 Festnetz.....	28
3.1.5 Mobilfunk.....	29
4 Literaturverzeichnis.....	31

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Durchschnittliche Verbindungsgeschwindigkeit in Mbps (Belson, 2017) .....	8
Abbildung 2: Prozentuale Verbindungen mit >15 Mbps (Belson, 2017).....	9
Abbildung 3: NGA-Verfügbarkeit in % der Haushalte (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)..	10
Abbildung 4: NGA-Verfügbarkeit in ländlichen Gebieten in % der Haushalte (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016) .....	11
Abbildung 5: % der Haushalte mit Breitbandanschluss (OECD, 2016).....	12
Abbildung 6: Abdeckung mit LTE, europaweit (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016).....	14
Abbildung 7: Abdeckung mit LTE, europaweit, ländliche Gebiete (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016).....	15
Abbildung 8: Abdeckung mit Datenraten $\geq 30$ Mbit/s (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016) .	17
Abbildung 9: Vergleich des Angebots in der Schweiz, Deutschland und Österreich (Rügheimer, 2018).....	17
Abbildung 10: Länderranking Schweiz, Deutschland und Österreich (Rügheimer, 2018) .....	18
Abbildung 11: Datenraten in Kleinstädten, ermittelt durch WWW-Zugriffe während Drivetests (Rügheimer, 2018).....	18
Abbildung 12: Datenraten in Kleinstädten, ermittelt durch Downloads während Drivetests (Rügheimer, 2018).....	19
Abbildung 13: Datenraten auf Verbindungsstrassen, ermittelt durch WWW-Zugriffe während Drivetests (Rügheimer, 2018) .....	19
Abbildung 14: Datenraten auf Verbindungsstrassen, ermittelt durch Downloads während Drivetests (Rügheimer, 2018).....	20
Abbildung 15: Vergleich der Abdeckung mit Festnetz-Services zwischen Graubünden und der Gesamtschweiz (Quelle: BAKOM, 31.05.2017).....	21
Abbildung 16: Entwicklung der Mobilfunkservices der Swisscom in Graubünden (Heinz Herren, 2016).....	22
Abbildung 17: Vergleich der Abdeckung mit Mobilservices zwischen Graubünden und der Schweiz insgesamt (Swisscom, 2017-10).....	22
Abbildung 18: Abdeckung der Haushalte (%) mit Downloadraten nach Geschwindigkeiten für Regionen um Graubünden.....	23
Abbildung 19: Abdeckung mit LTE, bezogen auf Haushalte bzw. Population .....	24
Abbildung 20: Datenraten im Multimediabereich (Google, 2017) .....	27

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einordnung der Länder bezüglich Datenraten (Belson, 2017).....	9
Tabelle 2: Einordnung der Länder anhand der Versorgung mit Datenraten >15 MBit/s (Belson, 2017) .....	9
Tabelle 3: Rang der Länder bezüglich NGA-Verfügbarkeit (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016) .....	11
Tabelle 4: Einordnung der Länder bezüglich der NGA-Verfügbarkeit in ländlichen Regionen (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016).....	12
Tabelle 5: Einordnung der Länder bezogen auf Festnetzverträge $\geq$ 256 kBit/s (OECD, 2016) .....	13
Tabelle 6: Einordnung der Länder anhand prozentualer Verbindungszeiten mit 4G, europaweit (OpenSignal, 2017).....	14
Tabelle 7: Einordnung der Länder anhand durchschnittlicher Downloadraten mit 4G, europaweit (OpenSignal, 2017).....	15
Tabelle 8: Einordnung der Länder anhand durchschnittlicher Downloadraten mit 4G, europaweit (Belson, 2017).....	16

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Im Auftrag des Departements für Volkswirtschaft und Soziales Graubünden ist im vorliegenden Bericht die Frage bearbeitet, wie die Erschliessung Graubündens mittels Festnetz und Mobilfunk heute und in der Zukunft im Vergleich zu anderen Regionen der Schweiz und des benachbarten Auslands zu beurteilen ist.

Es soll die Versorgung des Kantons Graubünden mit Internet, sowohl im Festnetz- als auch im Mobilfunkbereich, aufgezeigt werden. Zudem ist die zu erwartende Entwicklung im Festnetzbereich und in der Mobilfunktechnologie zu beschreiben. Des Weiteren soll die Entwicklung über die Zeit aufgezeigt werden.

## 1.2 Vorgehen

Zur Ist-Analyse werden Berichte, GIS-Daten – Daten aus Geoinformationssystemen – aus öffentlichen Quellen sowie Daten und Berichte, die von den dienstleistenden Unternehmen erhoben werden, verwendet. Es sind sowohl Daten der angebotenen Services als auch reell gemessene Daten eingeschlossen. Details zum Vorgehen sind in Abschnitt 3.1, Seite 27, beschrieben.

Verschiedene Regionen werden bezüglich ihres Standes im Bereich Breitbandinternetangebot gemessen und miteinander verglichen:

- Die Schweiz im Vergleich zu den angrenzenden Ländern Deutschland, Österreich, Italien und Frankreich. Zusätzlich erfolgt eine Einordnung in das europaweite Ranking.
- Graubünden im Vergleich zur Gesamtschweiz.
- Graubünden im Vergleich mit den Regionen Baden-Württemberg, Tirol und Südtirol. Bewusst nicht berücksichtigt sind Bayern, Vorarlberg und die Lombardei.

## 2 Breitbandversorgung

In diesem Teil wird die Versorgung von Graubünden mit breitbandigem Internet über Festnetze und Mobilfunk aufgezeigt. Um die Ergebnisse einzuordnen, wird ein dreistufiges Vorgehen angewendet. Abschnitt 2.1 vergleicht die Situation in der Schweiz mit derjenigen in den Nachbarländern. Abschnitt 2.2 stellt die Situation Graubündens jener in der Schweiz gegenüber und in Abschnitt 2.3 wird die Versorgung in Graubünden im Vergleich zu benachbarten Regionen im Ausland diskutiert.

Die Vergleiche beruhen auf zur Verfügung gestellten Datenraten. Der Begriff «Datenrate» muss hierfür differenziert betrachtet werden. Während im Festnetzbereich die realen Datenraten gewöhnlich recht gut mit den vom Service definierten Datenraten übereinstimmen, muss im Mobilbereich zwischen angebotenen und gemessenen Datenraten unterschieden werden. Dies liegt hauptsächlich daran, dass Ressourcen (z.B. die Funkbandbreite) zwischen unterschiedlichen Nutzerinnen und Nutzern geteilt werden müssen und der Service den maximalen Datentransfer nur dann zur Verfügung stellen kann, wenn nur eine Person den Service über eine Ressource in Anspruch nimmt.

Multimedienetze und das Herunterladen grosser Dateien stellen im Vergleich zu anderen Diensten wie dem Surfen im Internet oder E-Mail vergleichsweise hohe Ansprüche an die Datenraten. Zur Illustration einige Vergleichswerte: Netflix (Netflix, 2017) gibt als nötige Datenraten für das Video-streaming zwischen 0,7 Mbit/s und 16 Mbit/s (für die höchste Qualität, Ultra-HD) an. Das Herunterladen einer CD mit 720 MB dauert bei 29 Mbit/s ca. 5 Minuten, jenes einer DVD mit 4,7 GB bei 10 Mbit/s eine gute Stunde. Weitere Datenraten (für Youtube) werden im Anhang in Abbildung 20 ausgewiesen (Google, 2017). Weitere Beispiele sind unter Abschnitt 3.1.2 zu finden.

Die Auswirkungen auf nicht-private Einrichtungen sind sehr unterschiedlich. Eine Schule, in der eine Lehrperson eine Klasse anregt, sich ein bestimmtes Video anzusehen, läuft eventuell sehr schnell an das Limit der angebotenen Bandbreite, weil erstens kurzzeitig hohe Datenraten erforderlich sind und diese zweitens nahezu in Echtzeit zur Verfügung stehen müssen, weil ansonsten das ruckelfreie Anzeigen nicht gewährleistet ist. Andererseits bedeutet es für eine Firma nicht notwendigerweise eine substantielle Einschränkung, wenn ein grosses Datenmodell – möglicherweise im GByte-Bereich – etwas länger für die Übertragung braucht. Die in diesem Fall intermittierende Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Bandbreite ist oft tolerierbar. Das Arbeiten in Cloud-Anwendungen kann jedoch – je nach Ausführung – durch geringe Bandbreiten beeinträchtigt sein, da eine stetige Verbindung zwischen Anwendenden und Cloud-Applikation bestehen muss.

Die zeitliche Entwicklung der Versorgung in Graubünden kann wegen nicht vorhandenen oder nicht öffentlich ausgewiesenen Daten nur an einigen Stellen aufgezeigt werden (z.B. Abbildung 16).

Eine periodische Berichterstattung könnte für den Kanton Graubünden im Sinne eines Monitorings die zeitliche Komponente ausweisen und für politische Entscheidungen richtungsweisend sein.

### 2.1 Breitbandversorgung der Schweiz im Vergleich zu den Nachbarländern und Europa

Um die Breitbandversorgung der Schweiz mit den Nachbarländern zu vergleichen, wurden die folgenden drei Studien als Vergleichsbasis herangezogen:

- Akamai's State of the Internet / Connectivity Report Q1 2017 (Belson, 2017)
- Broadband Coverage in Europe 2015 (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)
- Historical fixed broadband penetration rates (OECD, 2016)

Die Berichte verwenden unterschiedliche Daten und Methoden, um die Breitbandversorgung zu erheben. Die Resultate sind dadurch nicht untereinander vergleichbar, sondern heben unterschiedliche Aspekte der Breitbandversorgung hervor. Aus diesem Grund werden die Resultate der Berichte unabhängig voneinander betrachtet.

## 2.1.1 Festnetz

### 2.1.1.1 Vergleichsbasis 1: Akamai State of the Internet Connectivity Report Q1 2017

Akamai ist ein grosser internationaler Anbieter von Internetdienstleistungen, ein sogenanntes Content Delivery Network. Aufgrund des grossen eigenen Netzwerks kann Akamai aussagekräftige Daten über den Zugriff von Benutzerinnen und Benutzern auf die angebotenen Internetinhalte erheben. Dabei erhebt Akamai das Land, aus welchem die Internetanfragen stammen, und misst die Downloadgeschwindigkeit der Inhalte. Daraus ergibt sich die durchschnittliche Internetverbindungsgeschwindigkeit nach Ländern, welche dort zur Verfügung steht und auch tatsächlich genutzt wird.

Aufgrund der Messmethode machen die Resultate keine Aussage darüber, welche Verbindungsgeschwindigkeiten angeboten werden. Regionale Unterschiede innerhalb der Länder können ebenfalls nicht erkannt werden. Die Daten werden von Akamai seit 2008 erhoben. Die hier verwendeten Daten wurden im ersten Quartal 2017 erhoben und im Mai 2017 in Belson, akamai's [state of the internet] Q1 2017 report (2017) veröffentlicht.

Zur Vereinfachung der Übersicht werden hier nur die Schweiz, ihre Nachbarstaaten sowie jene europäischen Länder dargestellt, welche im Ranking vor der Schweiz liegen.

#### 2.1.1.1.1 Durchschnittliche Verbindungsgeschwindigkeit der Zugriffe in Mbps

Die Schweiz liegt mit 21,7 Mbps an dritter Stelle in Europa und an fünfter Stelle weltweit (Abbildung 1, Tabelle 1). Die skandinavischen Länder Norwegen und Schweden führen das europäische Ranking an. Die Nachbarstaaten liegen mit 9,2 bis 15,3 Mbps deutlich zurück.

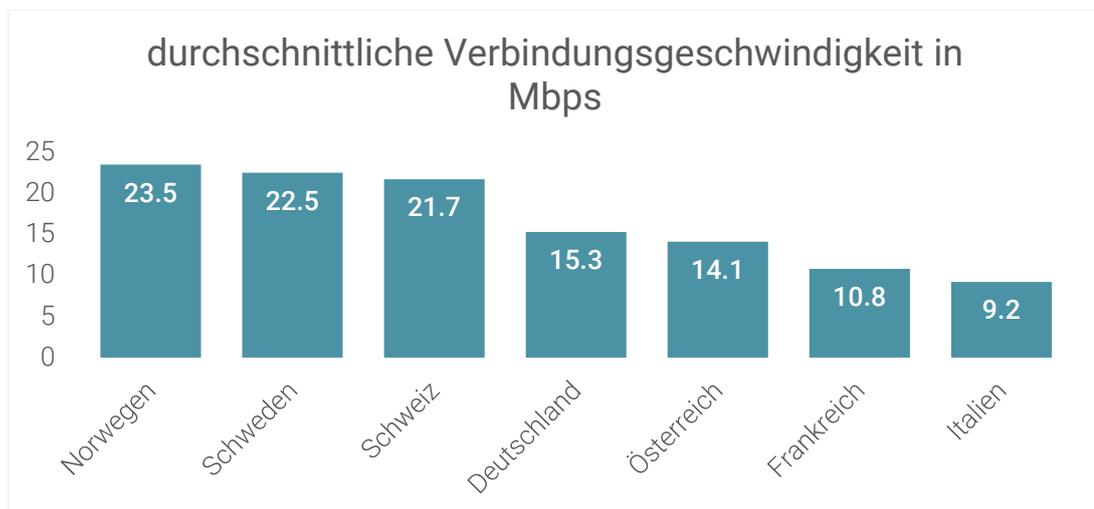


Abbildung 1: Durchschnittliche Verbindungsgeschwindigkeit in Mbps (Belson, 2017)

Rang Europa	Rang Welt	Land	Mbps
1	2	Norwegen	23,5
2	3	Schweden	22,5
3	5	Schweiz	21,7
15	25	Deutschland	15,3
18	29	Österreich	14,1
27	51	Frankreich	10,8
28	61	Italien	9,2

Tabelle 1: Einordnung der Länder bezüglich Datenraten (Belson, 2017)

### 2.1.1.1.2 Prozent der Verbindungen mit >15 Mbps Verbindungsgeschwindigkeit

Der Akamai-Bericht zeigt auf, dass die verfügbare und auch tatsächlich genutzte Internetverbindungsgeschwindigkeit der Schweiz insgesamt zu den höchsten weltweit gehört. Bei der Nutzung von Breitbandverbindungen >15 Mbps, wie in Abbildung 2 gezeigt, liegt die Schweiz europaweit sogar auf Rang 1 mit deutlichem Abstand zu den Nachbarländern.

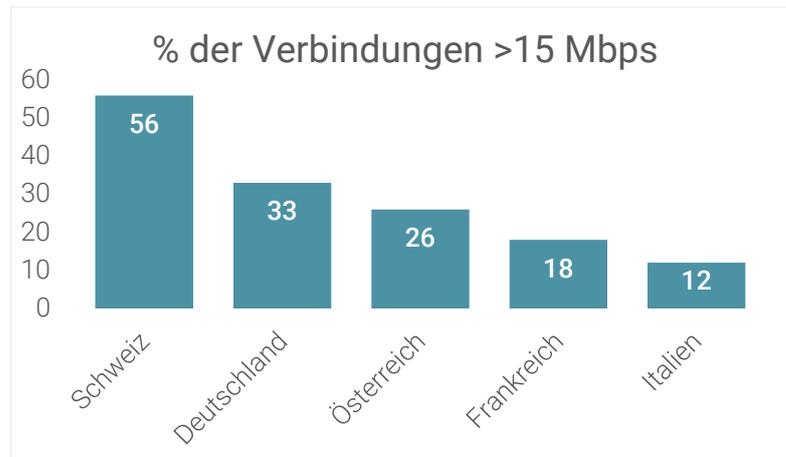


Abbildung 2: Prozentuale Verbindungen mit >15 Mbps (Belson, 2017)

Rang Europa	Rang Welt	Land	%
1	2	Schweiz	56
16	25	Deutschland	33
19	35	Österreich	26
27	49	Frankreich	18
28	55	Italien	12

Tabelle 2: Einordnung der Länder anhand der Versorgung mit Datenraten >15 MBit/s (Belson, 2017)

Die Rangierung innerhalb Europas sowie im weltweiten Vergleich ist aus Tabelle 2 ersichtlich.

Der Bericht «Broadband Coverage in Europe 2015» (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016) zeigt die Entwicklung der Digitalen Agenda 2020 der EU im Bereich Breitband auf. Die Daten werden mit Umfragen erhoben, welche die nationalen Regulierungsbehörden und die Unternehmen, die Breitband anbieten, miteinbeziehen. Der Bericht umfasst die Daten von 31 Ländern, nämlich den 28 EU-Ländern und Norwegen, Island und der Schweiz. So entsteht eine aussagekräftige Datenbasis für den innereuropäischen Vergleich verfügbarer Breitbandangebote.

Die hier verwendeten Informationen wurden Mitte 2015 erhoben und 2016 veröffentlicht.

Der Fokus des EU-Berichts liegt auf den verschiedenen Technologien für Breitbandangebote sowie auf der Verfügbarkeit von Hochbreitbandtechnologien (im Bericht Next Generation Access [NGA] genannt). NGA umfassen Technologien, welche Verbindungsgeschwindigkeiten >30 Mbps ermöglichen. Diese Verbindungsgeschwindigkeit ist Ziel der Europäischen Digitalen Agenda, welche per 2020 die flächendeckende Verfügbarkeit von mindestens 30 Mbps in Europa anvisiert. Als NGA wird der Internetanschluss über die folgenden Technologien bezeichnet:

- VDSL (Very highspeed Digital Subscriber Line): VDSL wird über die Kupferleitung des Telefonanschlusses angeboten und ist die Nachfolgetechnologie von ADSL. Die Verbindungsgeschwindigkeit ist bei VDSL stark von der Länge der Kupferleitung abhängig und kann bei Leitungen <200 m bis zu 500 Mbps betragen.
- DOCSIS (Data Over Cable Interface Specification): DOCSIS ist der Übertragungsstandard über den TV-Kabelanschluss. Die Anschlussgeschwindigkeit von DOCSIS ist in geringerem Mass abhängig von der Leitungslänge. Es werden Verbindungsgeschwindigkeiten bis 500 Mbps angeboten.
- FTTP (Fibre to the property): FTTP bezeichnet einen Glasfaseranschluss bis ins Gebäude. Glasfaseranschlüsse gelten als die zukunftssichere Internetanschlusstechnologie, da sehr grosse Verbindungsgeschwindigkeiten über grosse Distanzen angeboten werden können. Zurzeit werden Internetanschlüsse bis 1 Gbps angeboten, die Glasfaser erlaubt aber in Zukunft auch wesentlich höhere Bandbreiten.

#### NGA-Verfügbarkeit total

Zur Vereinfachung der Übersicht werden in Abbildung 3 nur die Schweiz, ihre Nachbarstaaten sowie jene europäischen Länder dargestellt, welche im Ranking vor der Schweiz liegen.

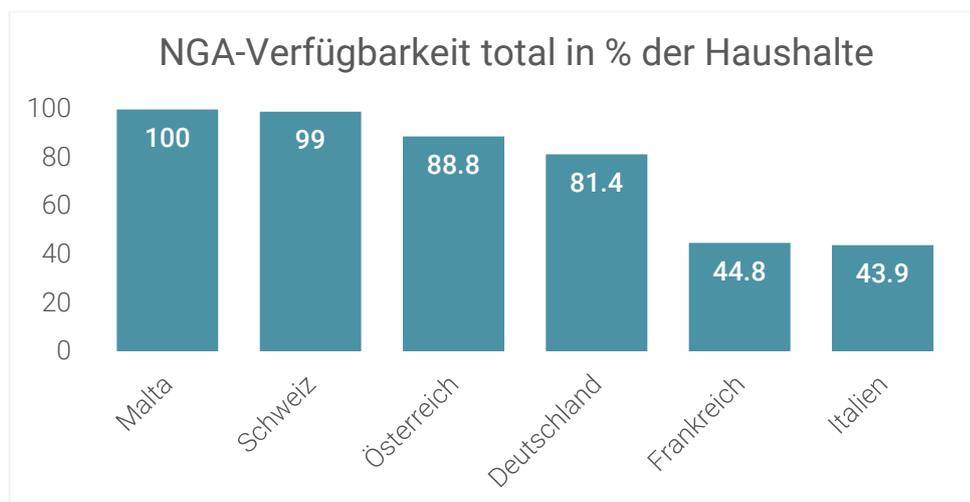


Abbildung 3: NGA-Verfügbarkeit in % der Haushalte (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)

Malta ist gemäss Bericht das einzige Land, welches bereits über vollständige Verfügbarkeit von NGA-Internetanschlüssen verfügt. Mit 99 % der Haushalte liegt die Schweiz europaweit auf dem zweiten Platz. Die Nachbarstaaten folgen mit zum Teil beachtlichem Abstand; so liegt Italien vor Griechenland auf dem 30. Rang. Tabelle 3 fasst die Rangordnung der europäischen Länderliste zusammen.

Rang Europa	Land	% der NGA Haushalte total
1	Malta	100
2	Schweiz	99
12	Österreich	88,8
15	Deutschland	81,4
29	Frankreich	44,8
30	Italien	43,9

Tabelle 3: Rang der Länder bezüglich NGA-Verfügbarkeit (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)

*NGA Verfügbarkeit in ländlichen Gebieten*

Der IHS-Bericht legt ebenfalls Wert auf den Vergleich der Erschliessung von städtischen und ländlichen Gebieten, was aus Sicht des Kantons Graubünden interessant ist. Die ländlichen Haushalte sind im IHS-Bericht definiert als Haushalte in Gebieten mit weniger als 100 Einwohnern/km<sup>2</sup>.

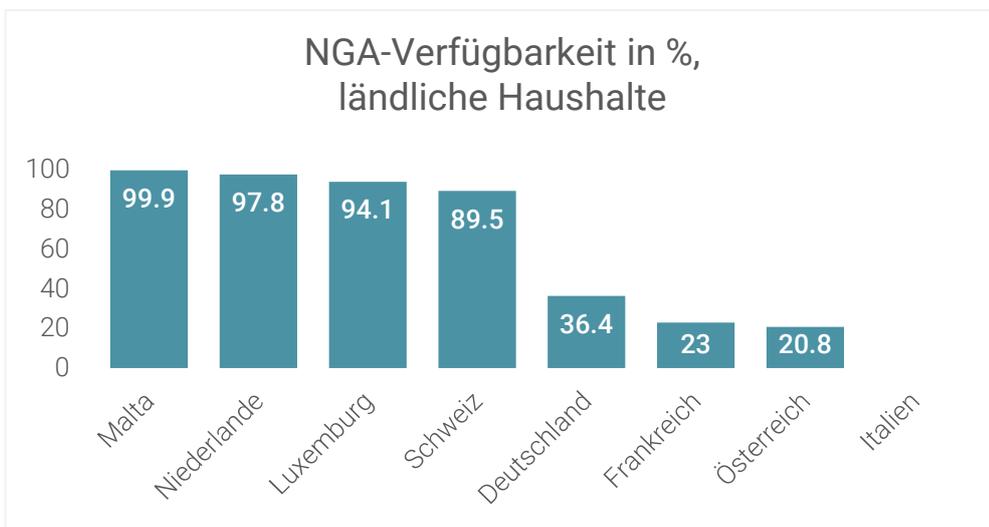


Abbildung 4: NGA-Verfügbarkeit in ländlichen Gebieten in % der Haushalte (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)

Die Verfügbarkeit von NGA-Internetanschlüssen in ländlichen Gebieten (Abbildung 4) unterscheidet sich zum Teil erheblich von der jeweiligen Gesamtverfügbarkeit der Länder. Die Schweiz liegt mit 89,5 % der ländlichen Haushalte europaweit auf dem vierten Rang hinter Malta, den Niederlanden und Luxemburg. Interessant ist, dass die ländliche Erschliessung der Schweiz weiter vorangeschritten ist als die Gesamterschliessung der Nachbarstaaten. Bei Deutschland und Österreich, die bei der landesweiten NGA-Erschliessung über 80 % erreichten, zeigt sich, dass die ländlichen Gebiete mit 36,4 % bzw. 20,8 % markant schlechter versorgt sind. Der Rang innerhalb Europas ist in Tabelle 4 gezeigt.

Rang Europa	Land	% der NGA-Haushalte ländlich
1	Malta	99,9
2	Niederlande	97,8
3	Luxemburg	94,1
4	Schweiz	89,5
15	Deutschland	36,4
21	Frankreich	23
22	Österreich	20,8
31	Italien	0

Tabelle 4: Einordnung der Länder bezüglich der NGA-Verfügbarkeit in ländlichen Regionen (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)

### 2.1.1.2 Vergleichsbasis 3: OECD Broadband Statistics, historical fixed broadband penetration rates

Die OECD erhebt die Breitbandstatistik seit 2003. Sie gibt die Rate der Haushalte mit festnetzgebundenem Breitbandanschluss in Prozent an, also die Haushalte, welche nicht nur die Möglichkeit einer Anbindung, sondern tatsächlich einen Vertrag mit Breitbandanbindung haben. Die Daten werden von den nationalen Regulierungsbehörden geliefert. Die in der Statistik verwendete Definition der Internetanschlussgeschwindigkeit von >256 kbps für den Begriff Breitband liegt relativ tief. Diese Definition erlaubt den Vergleich der Daten von 2003 bis heute, gibt jedoch keinen Aufschluss darüber, wie gut die heutigen Breitbandnetze ausgebaut sind. Es lässt sich jedoch erkennen, wie stark festnetzgebundene Breitbandanschlüsse verbreitet sind.

Die verwendeten Daten wurden im Dezember 2016 veröffentlicht (OECD, 2016).

Zur Vereinfachung der Übersicht werden in Abbildung 5 nur die Schweiz, ihre Nachbarstaaten und jene europäischen Länder dargestellt, welche im Ranking vor der Schweiz liegen.

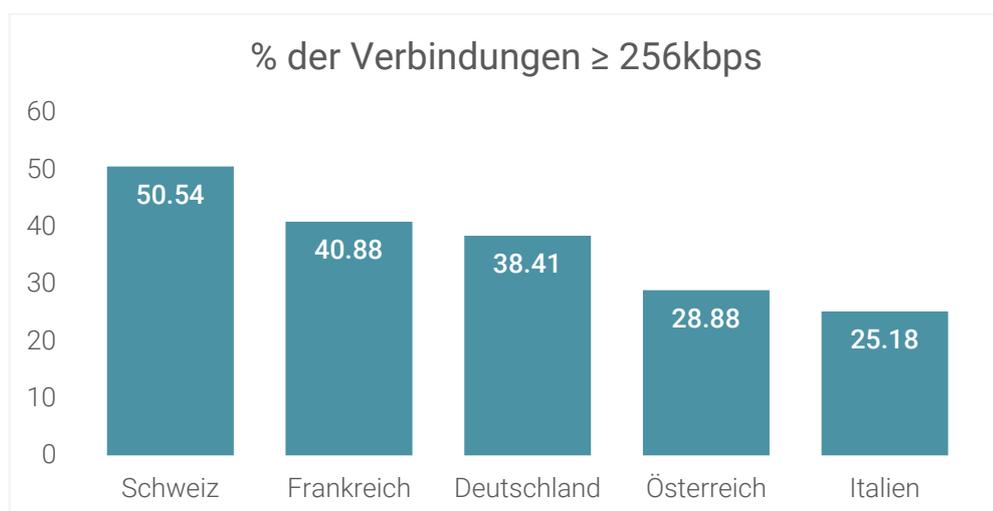


Abbildung 5: % der Haushalte mit Breitbandanschluss (OECD, 2016)

Die OECD-Statistik zeigt, dass 50,5 % der Schweizer Haushalte effektiv einen Breitbandzugang von mindestens 256 kbps im 2016 gewählt haben. Dieser Anteil ist europaweit am höchsten. Die Rangordnung in der europaweiten Liste ist in Tabelle 5 dargestellt.

Die anderen 49,5 % der Schweizer Haushalte wählen einen langsameren Zugang: Entweder, weil eine tiefere Geschwindigkeit für ihre Bedürfnisse ausreicht, oder weil kein schnellerer Zugang verfügbar ist.

Rang Europa	Land	% der Breitband-Haushalte
1	Schweiz	50,54
4	Frankreich	40,88
6	Deutschland	38,41
18	Österreich	28,88
23	Italien	25,18

Tabelle 5: Einordnung der Länder bezogen auf Festnetzverträge  $\geq 256$  kBit/s (OECD, 2016)

### 2.1.2 Mobilfunk

Im Folgenden wird die Einordnung der Schweiz für den Mobilfunkbereich aufgezeigt, zuerst europaweit, dann im Vergleich zu den direkten Nachbarländern Deutschland und Österreich.

Der Vergleich bezüglich der Abdeckung mit den europäischen Nachbarländern basiert auf den Daten von OpenSignal (OpenSignal, 2017), und Akamai (Belson, 2017). Die Daten beider Quellen gründen auf realen Messungen an Mobilgeräten (OpenSignal) und in der Infrastruktur (Akamai). Zusätzlich wurde die Studie der europäischen Kommission genutzt (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016). Sie basiert auf den Datenraten, die durch einen Survey, durchgeführt mit den NRAs (National Regulatory Agencies), gewonnen wurden.

Der Vergleich mit Deutschland und Österreich basiert auf den Messdaten der Zeitschrift «connect» für 2018 (Rügheimer, 2018). Die Messungen fanden im Oktober 2017 statt. connect testet intensiv durch das Aufrufen mehrerer standardisierter Web-Pages, dem Hoch- und Herunterladen unterschiedlich grosser Dateien, der Messung der Geschwindigkeit über gewisse Zeitintervalle beim Hoch- und Herunterladen grosser Dateien, sowie dem Streaming bestimmter Youtube-Videos. Dies wird mit mehreren Geräten gleichzeitig durchgeführt. Die Messungen erfolgen mit dem Auto, zu Fuss, in Gebäuden und in der Bahn. Die Messungen können also als repräsentativ für die normale Nutzung von Mobilgeräten im täglichen Betrieb betrachtet werden.

#### 2.1.2.1 Vergleich mit europäischen Ländern

Vergleicht man die Daten von OpenSignal (Tabelle 6) mit jenen der Studie der europäischen Kommission aus dem Jahr 2015 (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016), (Abbildung 6), so zeigt sich tendenziell eine gute Übereinstimmung beim Ranking, obwohl unterschiedliche Methoden angewendet werden. Da OpenSignal konkrete Messungen von Mobilfunknutzerinnen und -nutzern auswertet, kommen andere Werte zustande als durch die Modellrechnungen der anbietenden Unternehmen. Ausserdem entstehen in Ballungsgebieten und entlang von Hauptverkehrsadern kontextbedingt mehr Messwerte als an Orten, an denen wenige Nutzerinnen und Nutzer mit Mobilfunkgeräten unterwegs sind. Auch die Zeitpunkte der Modellrechnungen und der Messungen sind unterschiedlich, was in einer Sparte, in welcher der Ausbau schnell vorangeht, zu unterschiedlichen Resultaten führt.

Bei beiden Studien rangiert die Schweiz am Ende des ersten Drittels. Im direkten Vergleich mit den umgebenden Ländern – Deutschland, Österreich, Italien und Frankreich – belegt die Schweiz bei den Messungen von OpenSignal (OpenSignal, 2017) den Spitzenplatz, bei den Erhebungen der europäischen Kommission liegt sie jeweils hinter Deutschland auf Platz 2.

Land	prozentuale Verbindungszeiten mit 4G europaweit [%]	Land	prozentuale Verbindungszeiten mit 4G europaweit [%]
Norwegen	88,7	Österreich	74,2
Ungarn	86,4	Slowakei	73,9
Niederlande	84,9	Portugal	71,4
Schweden	83,9	Vereinigtes Königreich	71,3
Tschechien	82,7	Griechenland	71,2
Estland	82,7	Bulgarien	70,1
<b>Schweiz</b>	<b>80,4</b>	Polen	66,2
Spanien	80,1	Rumänien	65,4
Lettland	79,9	Italien	63,3
Finnland	79,5	Frankreich	62,5
Belgien	78,5	Deutschland	57,5
Dänemark	77,6	Russische Föderation	55,9
Slowenien	76,9		

Tabelle 6: Einordnung der Länder anhand prozentualer Verbindungszeiten mit 4G, europaweit (OpenSignal, 2017)

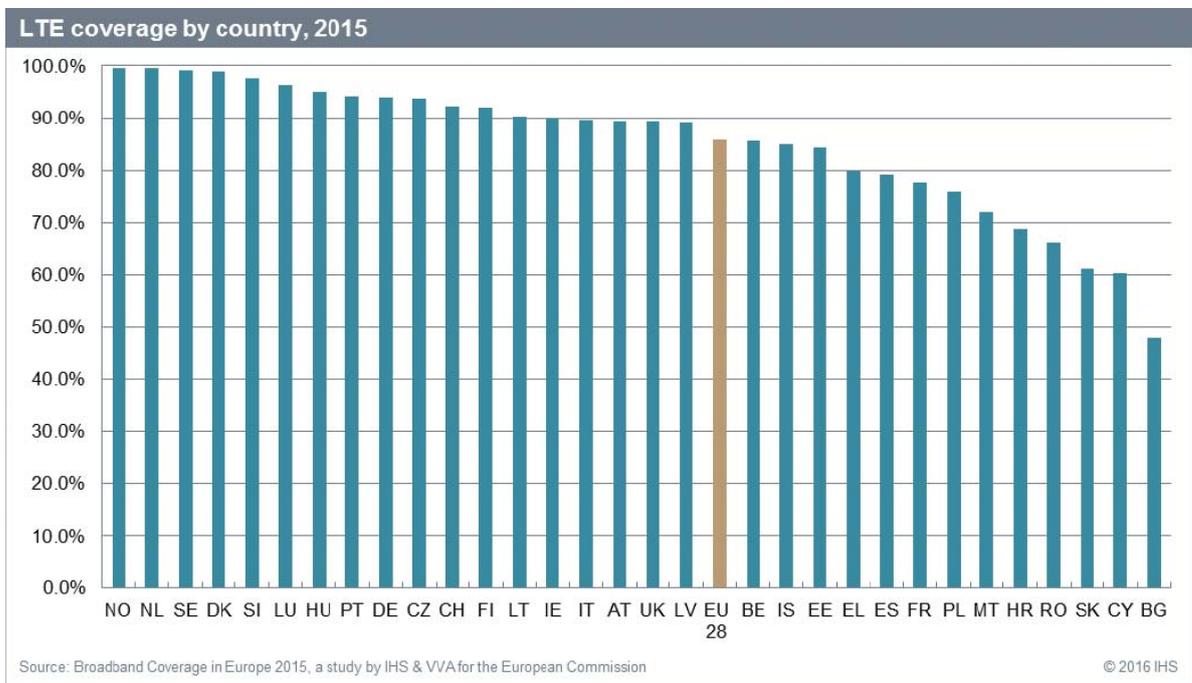


Abbildung 6: Abdeckung mit LTE, europaweit (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)

Die Erhebung der ländlichen Gebiete (Abbildung 7) ergibt ein ähnliches Bild hinsichtlich der Platzierung der Schweiz. Im Vergleich zu Abbildung 6 fällt auf, dass die ländlichen Gebiete, basierend auf

den Daten der europäischen Kommission, deutlich schlechter versorgt werden als die Ballungsräume. Das trifft auch auf die Schweiz zu. Insbesondere ist hier der Rückstand der Schweiz gegenüber grossen skandinavischen Ländern wie Norwegen und Schweden beträchtlich.

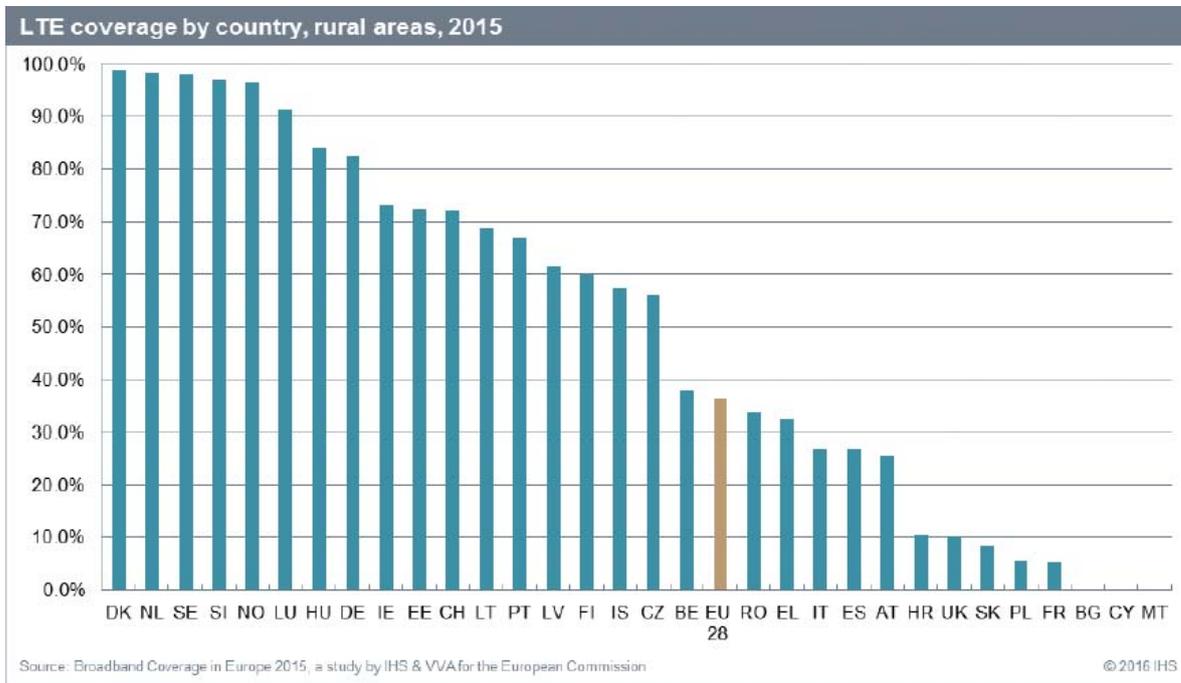


Abbildung 7: Abdeckung mit LTE, europaweit, ländliche Gebiete (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)

Vergleicht man die Platzierungen bei den Downloadraten, so ergibt sich zwischen den beigezogenen Untersuchungen im Ranking lediglich eine mässige Übereinstimmung. Einzelne Werte differieren stark zwischen den Messungen von OpenSignal (Tabelle 7) und dem Bericht von Akamai (Tabelle 8), obwohl die Daten aus dem gleichen Jahr stammen und sowohl Akamai als auch OpenSignal mit gemessenen Werten operieren.

Land	Durchschnittliche Downloadraten, europaweit 4G [Mbps]	Land	Durchschnittliche Downloadraten, europaweit 4G [Mbps]
Norwegen	42.0	Italien	25.5
Ungarn	42.0	Rumänien	25.4
Niederlande	38.9	Finnland	24.8
Dänemark	33.9	Schweden	24.6
Bulgarien	33.6	Frankreich	22.7
Belgien	32.4	Estland	22.4
Spanien	29.8	Vereinigtes Königreich	22.0
<b>Schweiz</b>	<b>29.6</b>	Slovenien	21.7
Griechenland	28.0	Polen	19.6
Lettland	27.5	Deutschland	19.3
Tschechien	26.9	Portugal	19.1
Slovakei	25.9	Russische Föderation	16.6
Österreich	25.8		

Tabelle 7: Einordnung der Länder anhand durchschnittlicher Downloadraten mit 4G, europaweit (OpenSignal, 2017)

Eine detaillierte Ermittlung der Ursachen dieser Differenzen ist aufgrund fehlender Informationen bezüglich der detaillierten Vorgehensweise bei der Datenerhebung nicht möglich. Diese Differenz weist jedoch darauf hin, dass die Aussagekraft der Daten eingeschränkt ist und die Resultate mit Vorsicht zu interpretieren sind.

Land	Durchschnittliche Downloadrate 4G, europaweit [Mbps] (Akamai)	Land	Durchschnittliche Downloadrate 4G, europaweit [Mbps] (Akamai)
Vereinigtes Königreich	26	Irland	13.2
Zypern	24.2	Italien	12.4
Deutschland	24.1	Ungarn	12
<b>Schweiz</b>	<b>22.4</b>	Griechenland	11.4
Finnland	21.6	Slowenien	11.3
Frankreich	17.4	Estland	11.1
Norwegen	17.3	Luxemburg	10.4
Dänemark	16.6	Russische Föderation	9.9
Belgien	16.2	Litauen	9.8
Rumänien	15.9	Polen	9.5
Niederlande	15	Bulgarien	9.5
Lettland	14.8	Kroatien	9.4
Slowakei	14	Malta	8.5
Spanien	13.8	Tschechien	7.4
Österreich	13.5	Portugal	6.9
Schweden	13.2		

Tabelle 8: Einordnung der Länder anhand durchschnittlicher Downloadraten mit 4G, europaweit (Belson, 2017)

Um eine weitere Einordnung der Schweiz im internationalen Vergleich durchzuführen, wird zusätzlich der Bericht der europäischen Kommission beigezogen (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016). Dieser arbeitet mit anderen Kennzahlen, erlaubt aber eine relative Einordnung. Er zeigt das Ranking in Bezug auf die Abdeckung mit mobilem Netz mit mindestens 30 Mbit/s (Abbildung 8). Auch hier rangiert die Schweiz im Vergleich zu den direkten Nachbarländern auf Platz 1 mit nahezu hundertprozentiger Abdeckung. Österreich folgt auf Platz 2 mit gut 75 %, gefolgt von Deutschland, Frankreich und Italien.

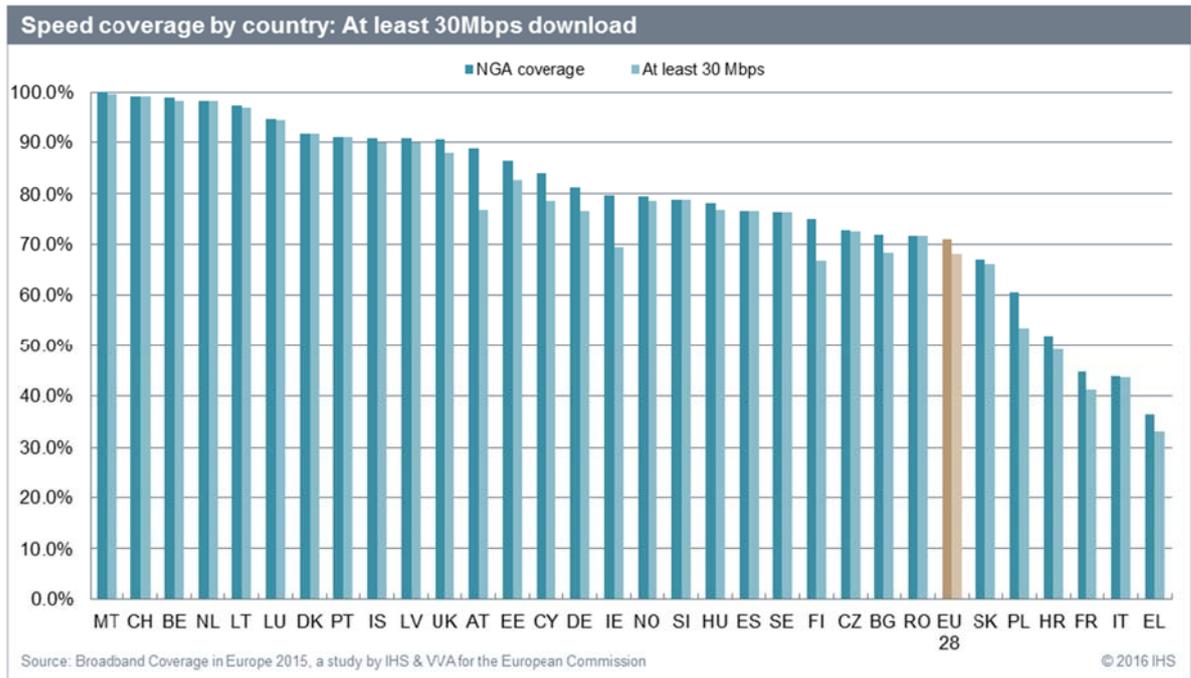


Abbildung 8: Abdeckung mit Datenraten ≥30 Mbit/s (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)

2.1.2.2 Vergleich mit Deutschland und Österreich

Zu Beginn sei der Vergleich des Angebots aller drei Länder gezeigt (Abbildung 9).

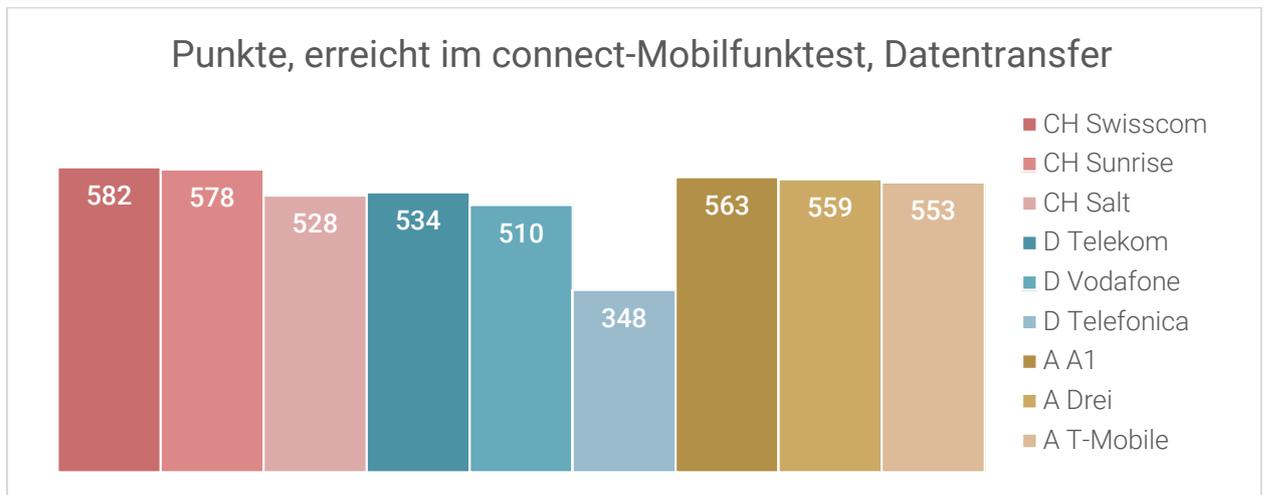


Abbildung 9: Vergleich des Angebots in der Schweiz, Deutschland und Österreich (Rügheimer, 2018)

Die besten Angebote im jeweiligen Land liegen dicht beieinander, mit der Schweiz als Punktesiegerin vor Österreich. Die Unterschiede zwischen den Zweitplatzierten sind etwas grösser, die Länderreihenfolge bleibt jedoch gleich. Der Trend wiederholt sich bei den Drittplatzierten, diesmal angeführt von Österreich, gefolgt von der Schweiz mit abermals Deutschland an dritter Stelle.

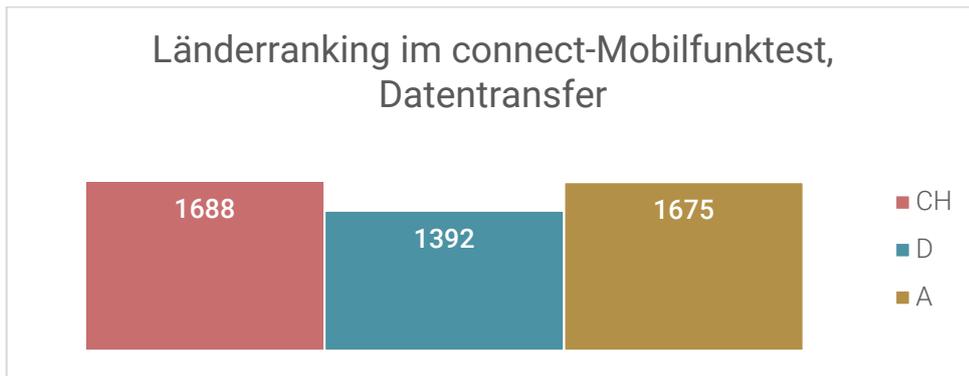


Abbildung 10: Länderranking Schweiz, Deutschland und Österreich (Rügheimer, 2018)

Berechnet man die Summen der erzielten Punkte in Abbildung 10, schliesst die Schweiz knapp vor Österreich und mit deutlichem Vorsprung vor Deutschland ab.

Graubünden als vorrangig ländlicher Kanton verfügt über keine Grossstädte. Als Detailansicht ist es deshalb interessant, die Daten für Kleinstädte und Verbindungsstrassen bzw. für die Nutzung der Bahn zu vergleichen. Bei den Bahntests wurde die RhB nicht genutzt, weshalb für Graubünden nur die Qualität auf der SBB-Strecke Chur-Sargans einbezogen worden wäre. Deshalb bleibt die Betrachtung der Bahn aussen vor. Bei den Verbindungsstrassen wurden die Strecke von Chur über den San Bernardino und die Strecke Chur-Landquart-Davos-Tiefencastel-Chur befahren. Diese Betrachtung wird als repräsentativ betrachtet, auch wenn das Engadin nicht befahren wurde. Insofern wird nun eine Betrachtung für Kleinstädte (Drivetest, kein Walktest) und Verbindungsstrassen durchgeführt.

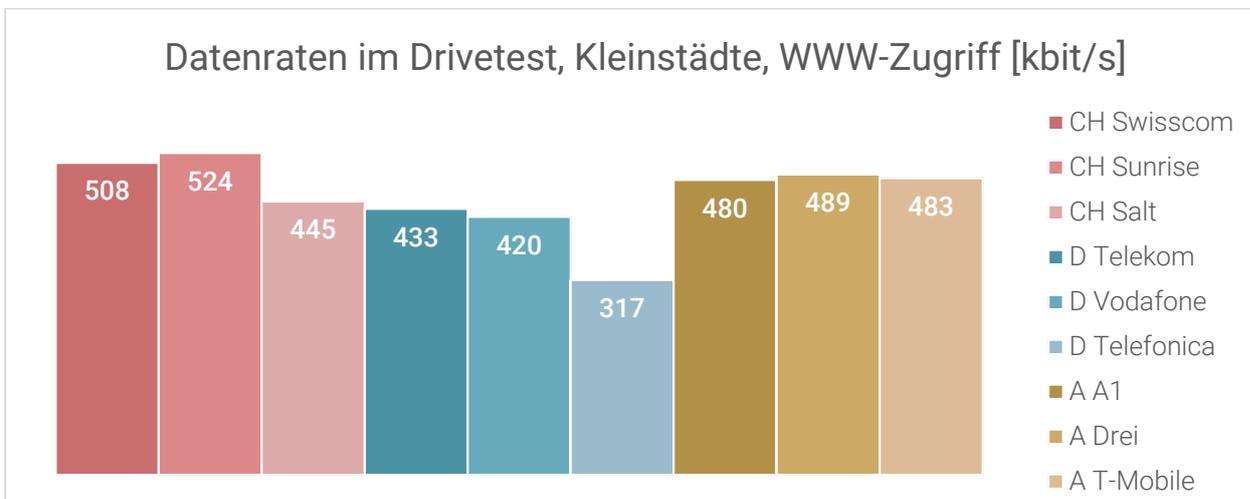


Abbildung 11: Datenraten in Kleinstädten, ermittelt durch WWW-Zugriffe während Drivetests (Rügheimer, 2018)

Zuerst werden die Zugriffe auf repräsentative WWW-Seiten analysiert (Abbildung 11). Die meisten Anbieter liegen recht dicht beieinander, mit einer Schweizer Siegerin, Sunrise. Merkwürdig fällt nur die deutsche Telefonica ab, wohl eine Folge des Zusammenschlusses aus O2 und EPlus 2014 (Rügheimer, 2018).

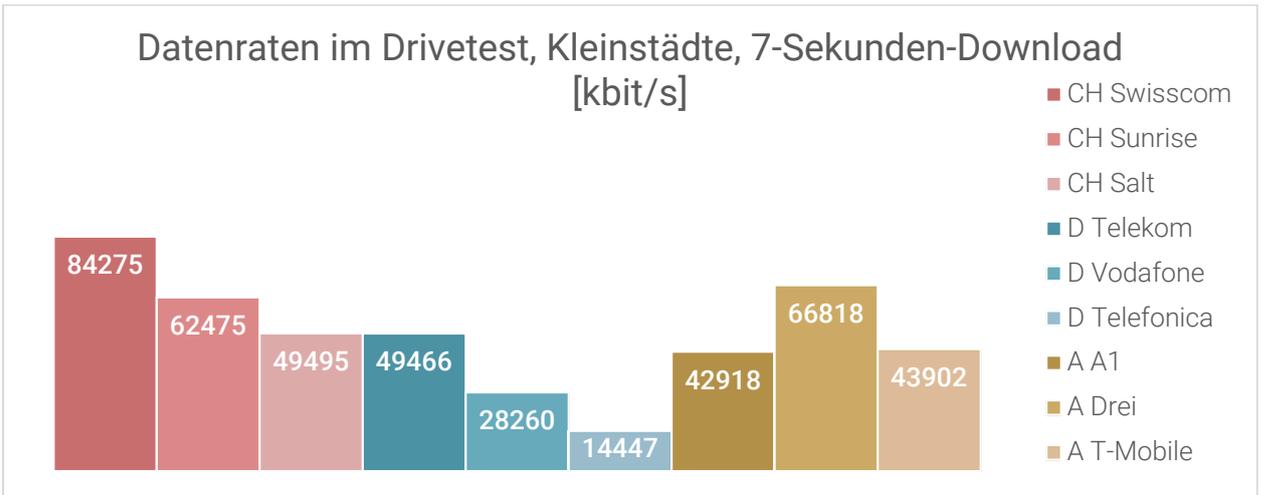


Abbildung 12: Datenraten in Kleinstädten, ermittelt durch Downloads während Drivetests (Rügheimer, 2018)

Bei den Downloadraten im 7-Sekunden-Durchschnitt für grosse Dateien sind die Unterschiede in Abbildung 12 deutlich zu sehen. Auch hier kommt mit der Swisscom die schnellste Anbieterin aus der Schweiz. Österreich und Deutschland fallen deutlich ab.

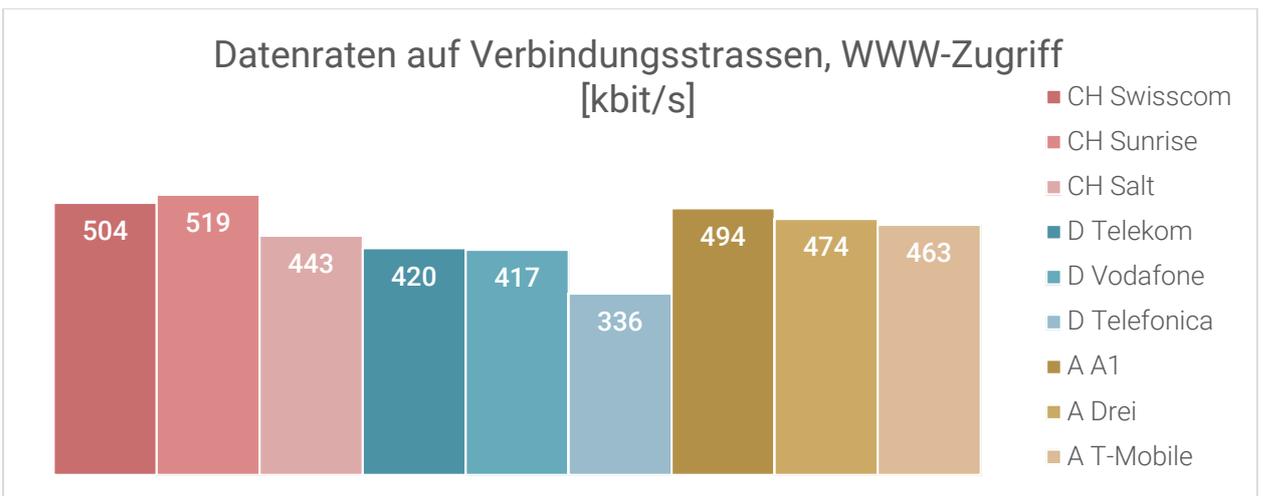


Abbildung 13: Datenraten auf Verbindungsstrassen, ermittelt durch WWW-Zugriffe während Drivetests (Rügheimer, 2018)

In Abbildung 13, dem Test auf den Verbindungsstrassen, ist die Lage sehr ähnlich zur Auswertung der Drivetests in den Kleinstädten. Sunrise liefert WWW-Seiten am schnellsten, aber ohne allzu deutliche Unterschiede zwischen den Ländern, wieder mit Ausnahme der Telefonica.

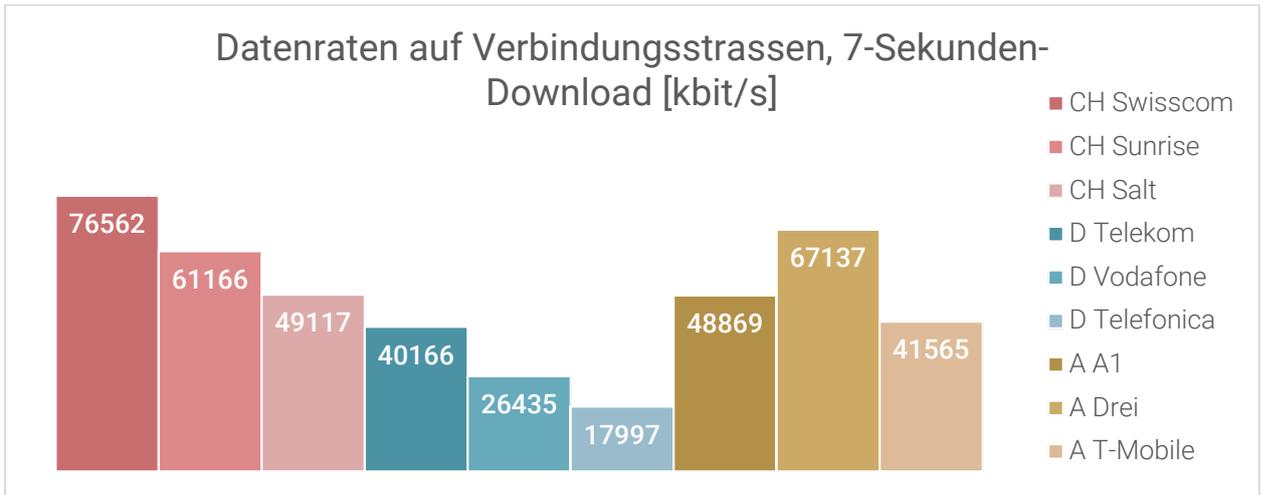


Abbildung 14: Datenraten auf Verbindungsstrassen, ermittelt durch Downloads während Drivetests (Rügheimer, 2018)

Beim 7-Sekunden-Durchschnitt im Downloadtest (Abbildung 14) ist die Lage wieder vergleichbar mit den Messungen in Kleinstädten. Die Unterschiede sind deutlicher als bei den WWW-Zugriffen und Swisscom bietet den besten Service.

Zusammengefasst lässt sich für die Vergleichssituation zwischen der Schweiz, Deutschland und Österreich festhalten, dass die Schweiz generell den besten Service bietet, je nach Messung mit grösserem oder auch sehr kleinem Abstand zu den Nachbarländern.

Die in diesem Abschnitt ermittelten Daten stimmen gut mit den meisten Betrachtungen der entsprechenden Länder aus Abschnitt 2.1.2.1 überein.

## 2.2 Breitbandversorgung von Graubünden im Vergleich zur Schweiz

In diesem Abschnitt wird die Breitbandversorgung für Festnetz und Mobilfunk des Kantons Graubündens im Vergleich zur Schweiz aufgezeigt.

### 2.2.1 Festnetz

Die Daten für den Vergleich des Festnetzes (Abbildung 15) stammen aus GIS-Daten des BAKOM vom 31.05.2017. Die detaillierte Vorgehensweise zur Berechnung ist in Anhang 3.1.3 aufgeführt. Hervorzuheben ist, dass sich die Berechnungen auf die prozentual abgedeckten Haushalte beziehen, wodurch das Ergebnis durch die hohe Haushaltsdichte der Ballungszentren beeinflusst wird.

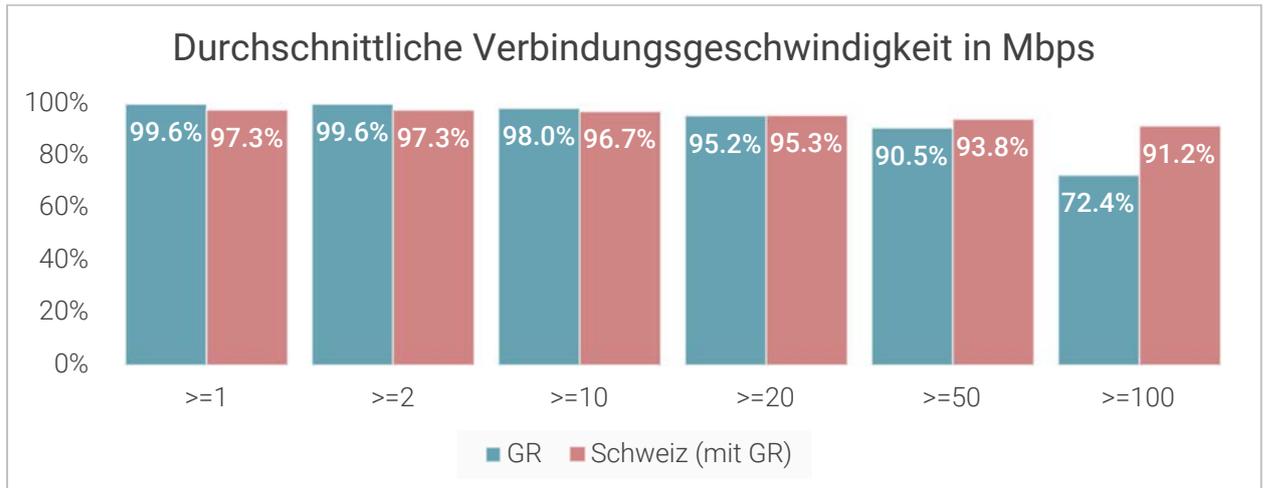


Abbildung 15: Vergleich der Abdeckung mit Festnetz-Services zwischen Graubünden und der Gesamtschweiz (Quelle: BAKOM, 31.05.2017)

Die meisten Haushalte in der Schweiz wie auch in Graubünden verfügen über einen Zugang mit tiefer Downloadrate. Bei der Breitbandversorgung über 20 Mbit/s zeigt sich jedoch ein Unterschied zwischen der Versorgung in Graubünden und jener in der Gesamtschweiz. Je höher die Datenrate, desto weiter fällt Graubünden hinter die Gesamtschweiz zurück. Bei der Abdeckung mit aktuellen Geschwindigkeiten über 100 Mbit/s ist der Unterschied deutlich. Während in der Gesamtschweiz nur ca. 9 % der Haushalte auf den Service verzichten müssen, ist es in Graubünden mehr als ein Viertel. Für Randregionen ist die Abdeckung mit Services ab 100 Mbit/s noch geringer: Beispielsweise beträgt der nach derselben Methode berechnete Wert für die politische Region Maloja 50,3 %, d.h. knapp die Hälfte aller Haushalte in der Region Maloja haben keinen Zugang von über 100 Mbit/s. Immerhin haben 91,7 % einen Zugang von 50 Mbit/s oder mehr.

Zum Vergleich: 100 Mbit/s entsprechen in etwa der gleichzeitigen Übertragung zweier 2K-Videos mit 50 Frames/s (Abbildung 20).

### 2.2.2 Mobilfunk

Bei einem Treffen der Swisscom mit dem Regierungsrat vom 07.07.2016 zeigte die Unternehmensvertretung eine Präsentation (Heinz Herren, 2016) zur Entwicklung der Mobilfunkservices der Swisscom im Graubünden von 2011 (3G) bzw. 2013 (4G) bis 2015 (Abbildung 16). Dabei ist jedoch unklar, auf welche Grösse diese Daten bezogen sind. Es ist jedoch anzunehmen, dass sie sich auf die Bevölkerung beziehen. Dies erscheint auch im Bezug zu aktuellen Daten (siehe nächster Absatz) plausibel. Zudem weisen, im Gegensatz zur Bemessungsgrundlage «Bevölkerung», die flächenbezogenen Daten deutlich tiefere Werte auf.

Aktuelle Daten (Stand 10.2017), die auf Anfrage durch die Swisscom erhoben wurden, zeigen, dass die Abdeckung von Graubünden mit 3G leicht hinter jener der Gesamtschweiz inklusive Liechtenstein liegt, der 4G-Service in Graubünden jedoch etwas besser ist als in der Gesamtschweiz, wiederum inklusive Liechtenstein (Abbildung 17). Dabei handelt es sich um Modellrechnungen, nicht um gemessene Verbindungsdaten.

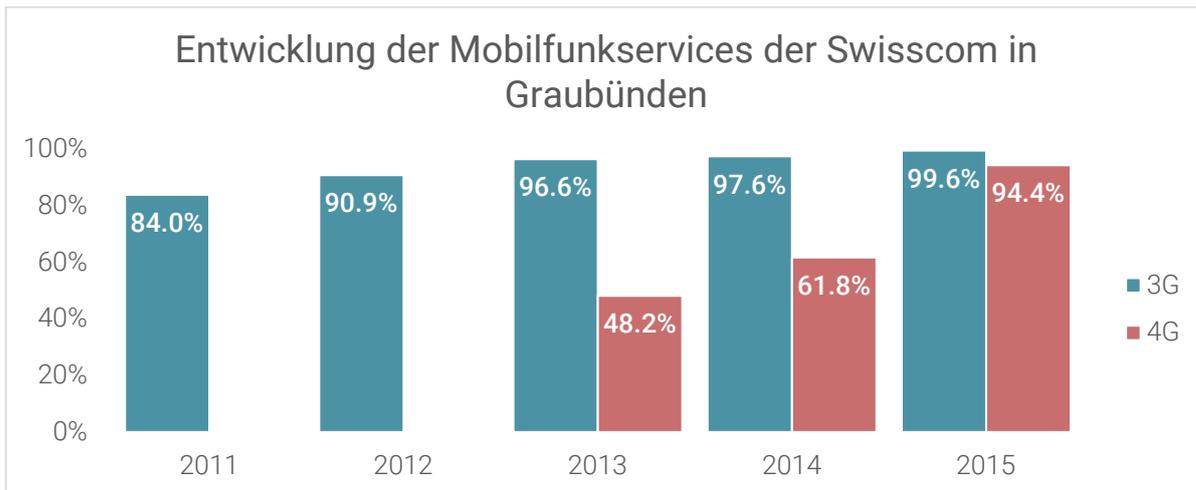


Abbildung 16: Entwicklung der Mobilfunkservices der Swisscom in Graubünden (Heinz Herren, 2016)

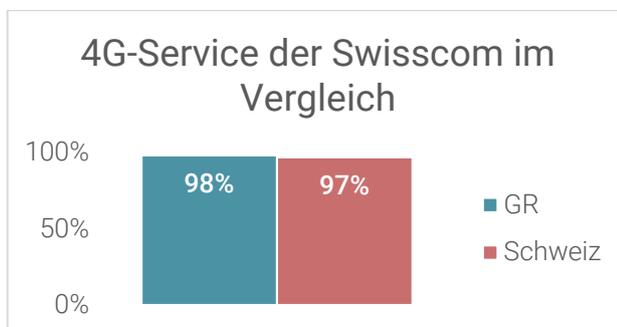


Abbildung 17: Vergleich der Abdeckung mit Mobilservices zwischen Graubünden und der Schweiz insgesamt (Swisscom, 2017-10)

Die Daten der Swisscom (Heinz Herren, 2016) (Abbildung 16) stimmen gut mit den Auswertungen der Technology Media Telecom (Fellenbaum, 2017) überein. Der Bericht der IHS Markt (Fellenbaum, 2017) zeigt für 2016 schweizweit eine Abdeckung mit 4G-Services von 98,3 % und in den ländlichen Gebieten von 93,8 %. Damit entspricht die Abdeckung in Graubünden in etwa jener in anderen ländlichen Kantonen der Schweiz, liegt aber leicht unter der Abdeckung in den städtischen Agglomerationen, wie die neuesten Daten der Swisscom ergeben.

Es sei bemerkt, dass es sich hier um das Serviceangebot handelt, nicht um gemessene Daten.

### 2.3 Breitbandversorgung von Graubünden im Vergleich zu Regionen des benachbarten Auslandes

In diesem Abschnitt wird die Breitbandversorgung Graubündens mit jener in Baden-Württemberg und Tirol verglichen. Beim Festnetz wird zusätzlich das Südtirol miteinbezogen. Da sich die Analyse auf unterschiedliche Datenquellen abstützt, werden diese im Folgenden kurz beschrieben.

#### 2.3.1 Festnetz

Da die Quellen für die Versorgung der jeweiligen Regionen mit unterschiedlichen Grenzen bei den Geschwindigkeiten operieren, ist ein direkter Vergleich schwierig. Für Graubünden handelt es sich um GIS-Daten der Swisscom vom 31.05.2017 (Swisscom, 2017), für das Tirol um Daten des bmvit vom 21.12.2016, die Daten zu den Haushalten stammen vom 31.10.2015 (bmvit Österreich, 2015 / 2016). Baden-Württemberg wurde anhand der Daten des deutschen Breitbandatlas mit Stand

05.09.2017 analysiert (bmvi Deutschland, 2017), die Südtiroler Angaben mit Daten aus Infratel Italia S.p.A vom März 2017 (Ministero dello Sviluppo Economico, 2017).

Um trotzdem einen Vergleich zu ermöglichen, werden die Daten nicht direkt gegenübergestellt, sondern anhand der Abdeckung der Haushalte nach unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Abbildung 18). Dabei wird ersichtlich, dass der Anteil der Haushalte in Graubünden mit einem Zugang zu hohen Downloadraten grösser ist als in den Vergleichsregionen. Der Vorsprung von Graubünden ist umso grösser, je schneller der jeweilige Service ist.

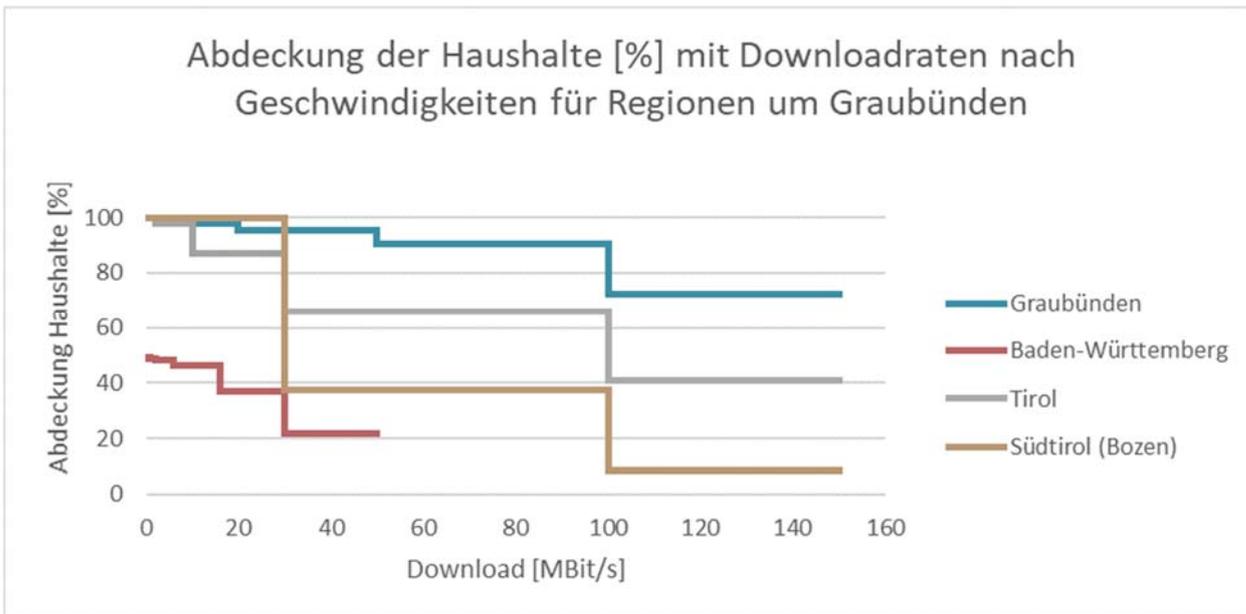


Abbildung 18: Abdeckung der Haushalte (%) mit Downloadraten nach Geschwindigkeiten für Regionen um Graubünden

### 2.3.2 Mobilfunk

Die Datenquellen für den Vergleich des Mobilfunks sind für alle drei Regionen unterschiedlich. Es handelt sich bei allen Quellen um gerechnete, nicht gemessene Daten:

- Graubünden: Swisscom  
Stand Oktober 2017 (Swisscom, 10.2010)
- Tirol: Breitbandatlas des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit Österreich, 2015 / 2016)  
Stand Mobilnetz: 01.2017  
Stand Haushalte: 31.10.2015
- BW: TÜV Rheinland (bmvi Deutschland, TÜV Rheinland, 31.8.2017)  
Stand: Mitte 2017
- Für Südtirol liegen keine Werte vor

Gemäss den verfügbaren Daten ist die Abdeckung im Tirol leicht besser als jene in Graubünden, mit Baden-Württemberg an relativ klar distanzierter, dritter Position. Da jedoch die Datenherkunft sehr heterogen ist und die Differenzen relativ klein sind, kann hier nur von einer Orientierung gesprochen werden.

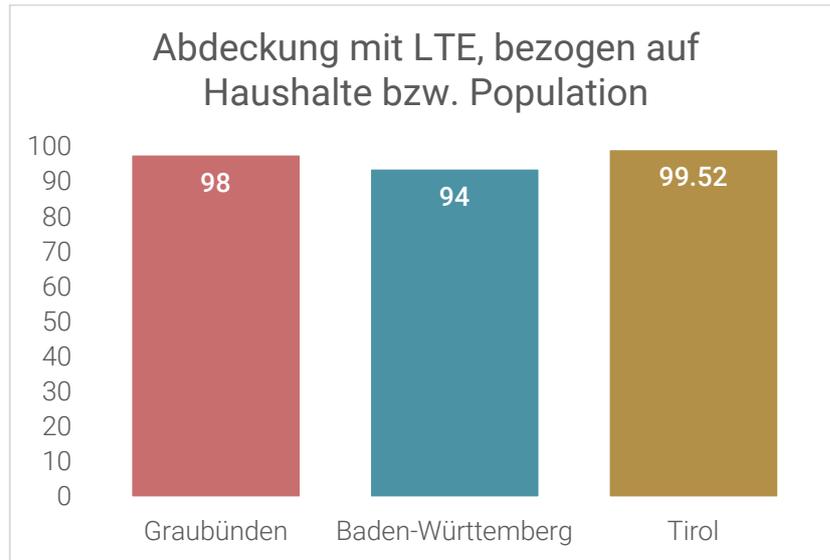


Abbildung 19: Abdeckung mit LTE, bezogen auf Haushalte bzw. Population

## 2.4 Ausblick

Die technologischen Entwicklungen rund um die Breitbandversorgung sind vielfältig und werden den Markt zukünftig verändern. Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile einzelner Technologien beleuchtet und zukünftige Entwicklungen aufgezeigt.

### 2.4.1 Festnetz

Kupferleitungen und Glasfasern sind die Hauptübertragungsmedien im Festnetzbereich und werden dies in absehbarer Zukunft auch bleiben. Es liegt im Rahmen der Studie keine Literatur vor, die Alternativen zu diesen beiden Medien diskutiert. Ein kurzer Vergleich:

- Glasfaser
  - Vorteile
    - Keine Potenzialdifferenzen (Sicherheit bei Blitz und Erdungsproblemen)
    - Hohe Datenraten
    - Grosse Distanzen möglich
    - Abhörsicher
  - Nachteile
    - Keine nennenswerte Energieübertragung zur Versorgung möglich
    - Mechanische Empfindlichkeit
    - Kosten
- Kupfer
  - Vorteile
    - Versorgung mit Energie möglich (Power over Ethernet)
    - Mechanisch unkritisch
    - Kosten
  - Nachteile
    - Datenraten
    - Distanzen – je nach Datenrate – begrenzt
    - Elektromagnetisch abhörbar
    - Hohe Fehlerströme bei Potenzialdifferenzen, die zu Hardwarebeschädigung und Unfällen führen können (Blitz, Erdung)

Mit steigenden Datenraten werden Glasfasern immer wichtiger, auch wenn beispielsweise durch Vectoring (ITU-T G.993.5), welches die Störung parallel liegender Kupferleitungen untereinander minimiert, Datenraten bei Kupfer im Bereich bis auf z.B. 180 Mbit/s bei 600 m Kabellänge möglich werden. Vectoring ist technisch sehr aufwendig und bedingt, dass angebotsseitig sämtliche Signale kontrolliert werden, die an einem Verteilknoten auftreten. Damit ist die Entbündelung nicht mehr möglich, was Monopolstellungen fördert (Spiegel, 2016), (Süddeutsche Zeitung, 2016). Damit lassen sich Kosten sparen, die ansonsten in den Glasfaserausbau zu stecken wären. Die Datenraten lassen sich jedoch auch mit Vectoring bei Kupferkabeln nicht beliebig steigern, weshalb der Ausbau der Glasfasernetze immer näher an die Endkundschaft zu erwarten ist. Auf der anderen Seite sind die Datenraten mit Vectoring zumindest so hoch, dass ein Haushalt bei heutigem Bedarf (z.B. Netflix Ultra HD, siehe Abschnitt 2) sehr zufriedenstellend versorgt werden kann. Die Schweiz hat mit G.fast eine Technologie lanciert, die unter günstigen Bedingungen bis zu 500 Mbit/s auf Kupferleitungen erreichen kann.

Um den Glasfaserausbau zu verstehen, müssen die vielen ähnlichen Benennungen geklärt werden:

- FTTN (Fibre To The Neighbourhood or Node), FTTC (Fibre To The Curb), FTTS (Fibre To The Street): Die Glasfasern werden in die Nähe der Endkundschaft verlegt. Die sogenannte letzte Meile wird in Kupfer realisiert und z.B. mit Vectoring beschleunigt.
- FTTB (Fibre To The Basement or Building): Die Glasfaser wird bis in das Gebäude verlegt. Die Verteilung innerhalb des Gebäudes erfolgt konventionell durch Kupfer.
- FTTH (Fibre To The Home): Glasfaser bis zur Wohnung.
- FTTD (Fibre To The Desk): Hier wird keinerlei Kupferstrecke mehr genutzt. Die Glasfaser geht direkt bis an den Computer oder die Netzwerkdose der Endkundschaft.

Die Swisscom als Hauptanbieterin in der Schweiz setzt auf einen gemischten Ausbau (Reber, 2016). Teilweise soll ein Ausbau mit FTTH, teilweise ein Ausbau mit Glasfaser bis auf die letzte Meile eingesetzt werden. Ziel ist, bis 2020 85 % der Haushalte eine Datenrate von mindestens 100 Mbit/s anzubieten (Swisscom, 10.2016). Gesamtschweizerisch ist dies schon erreicht (Abbildung 15). Graubünden liegt jedoch noch unter dem Zielwert.

#### 2.4.2 Mobilnetz

5G ist die nächste Generation des Mobilfunknetzes. Kerneigenschaften sind (Qualcomm, 03.2015):

- Bandbreiten bis 10Gbit/s; erlaubt das Laden einer DVD in weniger als einer Minute.
- Eine nahezu unlimitierte Anzahl an verbundenen Geräten, was direkten Kontakt von IoT-Geräten in das Internet von nahezu jedem beliebigen Ort ermöglicht.
- Eine sehr viel effizientere Funktechnologie (weniger Energie pro Bit); wichtig für längere Batterielaufzeiten und eine energietechnisch nachhaltigere Kommunikation.
- Flexiblere Netztopologien; erlaubt Multi-Hop- oder Gerät-zu-Gerät-Verbindungen ohne Mitwirkung von Relays.
- Schliesst 4G und WiFi mit ein, so dass diese Infrastrukturen mitgenutzt werden können.

Die meisten der genannten Punkte zeigen eher quantitative als qualitative Fortschritte, doch sind die Änderungen in 5G in der Tat weitreichender. Die Kombination von flexiblen Strukturen und effizienteren Funktechnologien weist zusammen mit der hohen Anzahl verknüpfbarer Geräte ganz klar in die Richtung IoT/WoT (Internet of Things/Web of Things). Im 5G-Netz können sehr viel mehr Geräte miteinander verbunden werden. Diese Geräte sind aufgrund der Vernetzung in der Lage, autark bzw. maschinell miteinander zu kommunizieren. Hierbei handelt es sich um Sensor- und Aktornetze, wie sie auch im Bereich von Industrie 4.0 an Bedeutung gewinnen. Gleichzeitig wird die Entwicklung von 4G voranschreiten, wie beispielsweise mit LTE-Advanced (bis 3 Gbit/s) (Qualcomm,

2016), LTE Direct (device-to-device) (Qualcomm, 2015) und LTE-MTC für Maschinenkommunikation (Qualcomm, 2014). Sowohl bei LTE-Weiterentwicklungen als auch bei 5G gibt es eine starke Betonung verbindungsloser Datenübertragung. Gerade im Bereich Industrie 4.0 ist die schnell verfügbare, zuverlässige und weitgespannte Kommunikation von Geräten untereinander zentral.

Die Markteinführung von 5G wird für 2020 erwartet (Qualcomm, 03.2015). Aktuell werden bei AT&T, Verizon, Ericsson und Orange Tests an realer Hardware durchgeführt (Wired, 2017). Auch in Japan gibt es Versuche mit NTT DOCOMO (NTT DOCOMO, 2017). Auch Wired rechnet mit einem Rollout im Jahr 2020 und einem formalen Standard bis 2018 (Wired, 2017).

Derweil werden erste Partnerschaften geschlossen. Am 8.11.2017 (Swisscom, 2017) schlossen Ericsson und Swisscom eine Partnerschaft für Gigabit LTE und 5G.

## 3 Anhang

### 3.1 Methodik

#### 3.1.1 Datenquellen

Die einzelnen Datenquellen sind im Bericht jeweils direkt angegeben. Es muss darauf hingewiesen werden, dass keine Anfragen zur Erlaubnis der öffentlichen Verwendung im Rahmen des Berichtes gemacht wurden und deshalb die Verwendung des Berichtes in der Öffentlichkeit ohne Änderungen oder entsprechende Genehmigungen zu Verletzungen von Copyright-Ansprüchen der Quellen führen kann.

#### 3.1.2 Datenraten

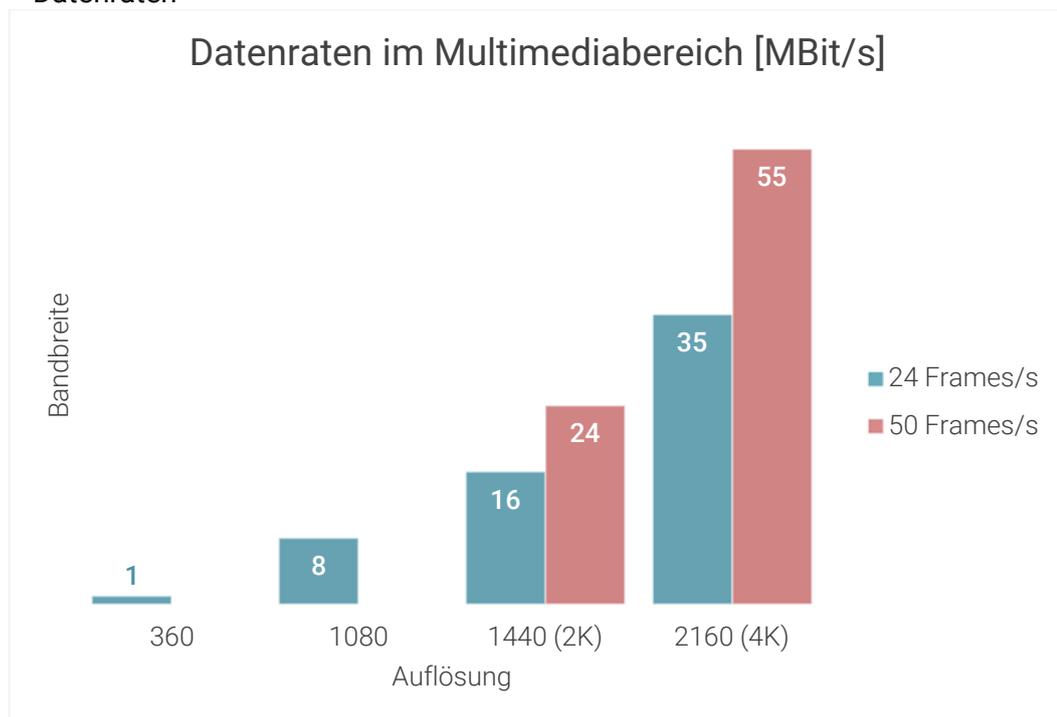


Abbildung 20: Datenraten im Multimediabereich (Google, 2017)

Um einen Eindruck üblicher benötigter Datenraten zu vermitteln, sind in Abbildung 20 einige Videoformate, wie sie bei Youtube bezogen werden können, mit den nötigen Datenraten für ruckelfreies Anzeigen gezeigt (Google, 2017).

Die Datenraten, die von nicht-privaten Einrichtungen benötigt werden, hängen stark von der jeweiligen Einrichtung ab. Ein medizinisches Röntgenbild der Grösse 25 cm x 43 cm hat 22,6 MB (Raymed Imaging, 2017) und kann bei einer Datenrate von 20 Mbps in rund zehn Sekunden übermittelt werden. Die Daten einer Tomografie beanspruchen ein Vielfaches davon, da viele Teilbilder erzeugt werden. Eine Schulklasse, deren Lehrkraft die Schülerinnen und Schüler auffordert, sich beispielsweise bei Youtube ein bestimmtes Video anzusehen, beansprucht eine Bandbreite, die der Bandbreite eines Videos multipliziert mit der Grösse der Klasse entspricht. Auch das Arbeiten in der Cloud kann – je nach Programmierung der entsprechenden Applikation – extrem unterschiedliche Datenraten erfordern. Diese Beispiele zeigen, dass die benötigte Bandbreite sehr stark von use case zu use case variieren kann, weshalb ohne spezifischen Fokus keine Angaben zu den benötigten Bandbreiten gemacht werden können.

### 3.1.3 Haushaltdichten

Der Vergleich der Schweiz mit umgebenden Nachbarregionen wurde hauptsächlich durch Berechnungen auf GIS-Datensätzen ermöglicht.

Die Dichte an Haushalten in der Schweiz stammt jeweils aus dem Datensatz «Statistik der Bevölkerung und der Haushalte» (STATPOP) (Stand 31.12.2015), welcher Teil des eidgenössischen Volkszählungssystems ist.<sup>1</sup> Die Anzahl Haushalte wird darin in einem Hektarraster (100 m x 100 m) erfasst.

Der Datensatz weist folgende Eigenschaften auf:

- Als Koordinatenpaar hinterlegt ist jeweils der südwestliche Eckpunkt der Hektare.
- Aus Datenschutzgründen erhalten Hektaren mit lediglich einem oder zwei Haushalten den Wert 3.
- Einige Haushalte sind nur gemeindegenu erfasst. Diese Haushalte wurden dann jeweils der sog. «Sammelhektare» der entsprechenden Gemeinde zugewiesen und mit den dort tatsächlich vorhandenen Haushalten addiert. Ort und Anzahl dieser nur gemeindegenu erfassten Haushalte sind in einem zusätzlichen Datensatz nochmals separat ausgewiesen.

Vor den Auswertungen wurden folgende Verarbeitungsschritte vorgenommen:

- Berechnung des Mittelpunkts jeder Hektare.
- Subtraktion der nur gemeindegenu bekannten Haushalte für die Sammelhektaren. Diese werden bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

Die Dichte an Haushalten im Tirol stammt von der Bundesanstalt Statistik Österreich.<sup>2</sup> Sie liegt im 100m-Raster vor und hat den Stand 31.10.2015. Sie muss kostenpflichtig bezogen werden.

### 3.1.4 Festnetz

Der Vergleich Festnetz Schweiz mit Graubünden wurde anhand der Daten von Breitbandatlas<sup>3</sup> durchgeführt, welche unter [geo.admin.ch](http://geo.admin.ch)<sup>4</sup> verfügbar sind. Die Daten liegen im 250m-Raster vor. Der Stand der Daten ist der 31.05.2017. Die Daten geben an, in wie vielen Gebäuden eine gewisse Download-Geschwindigkeit verfügbar ist (in Prozent der Gebäudeeingänge gemäss Daten des Bundesamts für Statistik). Zwischen der Rastergrösse der Haushaltdichte (100 m) und derjenigen der verfügbaren Bandbreite (250 m) besteht eine Diskrepanz: Werden die beiden Raster übereinandergelegt, so liegen die Mittelpunkte der Haushaltsflächen teilweise innerhalb der Bandbreitenflächen, teilweise am Rand der Bandbreitenflächen. Um die verfügbare Abdeckung einer Haushaltsparzelle zu bestimmen, wurde wie folgt vorgegangen: Liegt der Mittelpunkt der Haushaltsparzelle innerhalb der Bandbreitenparzelle, wird bei allen Haushalten dieser Parzelle als verfügbare Bandbreite die grösste Bandbreite angenommen, welche für mindestens ein Gebäude in der Bandbreitenparzelle verfügbar ist. Liegt der Mittelpunkt der Haushaltsparzelle hingegen an der Grenze zu zwei oder vier Bandbreitenparzellen, so wird für alle diese Haushalte die grösste aller Bandbreiten angenommen, welche für mindestens ein Gebäude in den zwei bzw. vier angrenzenden Bandbreitenparzellen verfügbar ist. Diese Vorgehensweise führt dazu, dass die Resultate der Analyse in der Tendenz zu optimistisch ausfallen.

<sup>1</sup> <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/erhebungen/statpop.html> aufgerufen am 25.11.2017

<sup>2</sup> <http://www.statistik.at> aufgerufen am 25.11.2017

<sup>3</sup> <http://www.breitbandatlas.ch> aufgerufen am 25.11.2017

<sup>4</sup> <https://data.geo.admin.ch/ch.bakom.downlink1> aufgerufen am 25.11.2017

Grundlage für die Analyse der verfügbaren Festnetz-Bandbreiten im Tirol sind die Daten des Breitbandatlas des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit)<sup>5</sup>, welche im 100m-Raster verfügbar sind. Datenstand ist der 21.12.2016. Als verfügbare Bandbreite für alle Haushalte einer Parzelle wurde jeweils derjenige Wert angenommen, welcher in den bmvit-Daten hinterlegt ist.

Um den Stand der Breitbandversorgung von Graubünden und der Schweiz international einzuordnen, wird die Situation in der Schweiz mit verschiedenen europäischen Ländern verglichen. Dabei stützen wir uns auf folgende Studien:

- Akamai State of the Internet Connectivity Report Q1 2017 (Belson, 2017)
- EU Kommission, IHS Broadband Coverage in Europe 2015 (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016)
- OECD Broadband Statistics, historical fixed broadband penetration rates (OECD, 2016)

Die Studien sind nicht direkt untereinander vergleichbar, da sie zum Teil unterschiedliche Kennzahlen und Metriken verwenden. Betrachtet werden neben der Schweiz auch Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien. Dort, wo weitere europäische Länder vor der Schweiz liegen, werden diese ebenfalls einbezogen. Alle angegebenen Verbindungsgeschwindigkeiten bezeichnen die Downloadraten der Internetanschlüsse.

### 3.1.5 Mobilfunk

Haushaltsbezogene Daten sind für den Mobilfunkbereich im Unterschied zum Festnetzbereich nicht öffentlich verfügbar. Weder von der Swisscom noch von anderen Unternehmen waren die entsprechenden Daten erhältlich.

Deshalb muss für den Vergleich zwischen der Schweiz und Graubünden auf Daten aus dem Bericht der Swisscom vom 07.07.2016 zum Treffen mit den Regierungsräten Jon Domenic Parolini und Mario Cavigelli zurückgegriffen werden. Diese Daten messen die Abdeckung nicht bezogen auf die Haushalte, sondern auf die Bevölkerung. Bei den schweizweiten Daten ist ausserdem kein Zeitpunkt der Erhebung angegeben. Deshalb wird ein Stand von 2015 (Stand der letzten Angaben zu Graubünden) angenommen. Im Geschäftsbericht 2016 der Swisscom ist das Ziel einer 99%-igen Abdeckung mit 4G bis Ende 2016 angegeben. Die Swisscom hat zudem für zwei Kantone aktuelle GIS-Daten mit den koordinatenbezogenen Serviceangeboten für 3G und 4G zur Verfügung gestellt. Daten zur Abdeckung der Schweiz mit LTE konnten der Studie Broadband Coverage in Europe 2016 (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016) entnommen werden. Diese Daten wurden auch zur Berechnung der LTE-Daten für Graubünden genutzt.

Für den Vergleich der Schweiz mit nahen Regionen liegt keine konsistente Datenquelle zum direkten Vergleich der anvisierten Regionen vor. Deshalb müssen Werte aus mit unterschiedlicher Methodik gewonnenen Quellen verglichen werden, welche auch im Zeitpunkt der Erhebung differieren.

Grundlage für den Vergleich Schweiz-Graubünden sind Abdeckungs-Simulationen der Swisscom vom September 2017. In den Daten sind Abdeckungspolygone für verschiedene Technologien hinterlegt. Um den Technologien eine Bandbreite zuweisen zu können, wurden teilweise Annahmen getroffen. Als verfügbare Bandbreite für eine Haushaltsparzelle wurde jeweils der Wert der schnellsten Technologie angenommen, deren Polygon den Haushaltsparzellenmittelpunkt überlappt.

<sup>5</sup> [https://www.bmvit.gv.at/medien/bbb/festnetz\\_201701.zip](https://www.bmvit.gv.at/medien/bbb/festnetz_201701.zip) aufgerufen am 25.11.2017

Grundlage für die Analyse der verfügbaren Mobilnetz-Bandbreiten im Tirol sind die Daten des Breitbandatlas des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit).<sup>6</sup> Darin sind Abdeckungspolygone für verschiedene Bandbreitenklassen hinterlegt. Datenstand ist der Januar 2017. Als verfügbare Bandbreite für eine Haushaltsparzelle wurde jeweils der Wert der höchsten Kategorie angenommen, deren Polygon den Haushaltsparzellenmittelpunkt überlappt.

Aus Baden-Württemberg liegen keine quantitativen Daten vor. Der Breitbandatlas ermöglicht nur eine qualitative Abschätzung aufgrund der Darstellung der Daten in Form von Kacheln, die über die Landkarte gelegt sind.

Für Südtirol liegt nur ein kumulierter Datenwert vor.

Um im Mobilfunk die Position der Schweiz international zu vergleichen, stützen wir uns auf eine Studie der OECD (OECD, 2016), den Bericht Broadband Coverage in Europe 2016 (Fellenbaum, 2017), den Bericht Broadband Coverage in Europe 2015 (IHS Global insight, VVA Consulting, 2016) und Messwerte von OpenSignal. Da die verwendeten Kennzahlen der Studien stark differieren, können die Daten der Studien nicht miteinander verglichen werden. Die Werte ermöglichen jedoch eine relative Einordnung der Schweiz im Verhältnis zu anderen Ländern bei der jeweiligen Kennzahl der entsprechenden Studie.

Die OECD verwendet zur Einschätzung der Mobilfunkabdeckung die Anzahl von Verträgen, die pro 100 Einwohner abgeschlossen wurden, mindestens 256 kbit/s bieten und in den letzten drei Monaten mindestens einmal eine Verbindung zum Internet mittels IP aufgenommen haben.

Die Studie von IHS Markit definiert die Coverage in Bezug auf Haushalte, wie auch der gleichnamige Bericht zum Jahr 2015 der europäischen Kommission. Die beiden Studien verwenden dieselben Datenquellen, bieten aber nicht denselben Umfang. Bei Verfügbarkeit wurden die aktuelleren Werte (2016) verwendet. Interessant an der Studie der europäischen Kommission ist die zusätzliche Untersuchung der Unterschiede zwischen ländlichen Gebieten mit einer Bevölkerungsdichte von weniger als 100 Personen / km<sup>2</sup>.

Entgegen den Modellrechnungen der Mobilfunkunternehmen, die sich von Fall zu Fall unterscheiden können und von den Providern als Algorithmus nicht offengelegt werden, handelt es sich bei den Daten des OpenSignal-Projektes (opensignal.com) um Messdaten, die aus Telefonen von Nutzerinnen und Nutzern ermittelt und an das Projekt übertragen werden. Damit spiegeln die Analysen von OpenSignal die Performance der beurteilten Services unter realen Bedingungen. Die Messpunkte, die auf OpenSignal eingesehen werden können, zeigen, dass die Messungen in dichter besiedelten Gebieten zwar erwartungsgemäss mit höherer Dichte erfolgen, jedoch auch Messpunkte abseits der Hauptverkehrsadern platziert sind. Zur Vergleichbarkeit ganzer Länder ist OpenSignal deshalb gut geeignet.

---

<sup>6</sup> [https://www.bmvit.gv.at/medien/bbb/mobilnetz\\_201701.zip](https://www.bmvit.gv.at/medien/bbb/mobilnetz_201701.zip) aufgerufen am 25.11.2017

## 4 Literaturverzeichnis

- Belson, D. (21. 8 2017). *akamai's [state of the internet] Q1 2017 report*. Abgerufen am 2017 von <https://www.akamai.com>.
- bmvi Deutschland. (8 2017). *Breitbandatlas*. Abgerufen am 29. 11 2017 von <http://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Breitbandausbau/Breitbandatlas-Karte/start.html>
- bmvi Deutschland, TÜV Rheinland. (31.8.2017). *Aktuelle Breitbandverfügbarkeit in Deutschland*. bmvi.
- bmvit Österreich. (2015 / 2016). *Gis-Daten Tirol*. bmvit.
- Fellenbaum, A. (2017). *Broadband Coverage in Europe 2016: Coverage in Switzerland*. IHS Markit.
- Google. (15. 11 2017). *Google Support*. Abgerufen am 29. 11 2017 von <https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=de>
- Heinz Herren, S. K. (2016). *Treffen mit den Regierungsräten*.
- IHS Global insight, VVA Consulting. (2016). *Broadband Coverage in Europe 2015*. Abgerufen am 21. 9 2017 von <https://ec.europa.eu>: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/study-broadband-coverage-europe-2016>
- Ministero dello Sviluppo Economico. (2017). *Esito consultazione aree grigie e nere*. Abgerufen am 29. 11 2017 von [http://www.infratelitalia.it/wp-content/uploads/2017/07/PRESENTAZIONE-consultazione-pubblica\\_03072017def.pdf](http://www.infratelitalia.it/wp-content/uploads/2017/07/PRESENTAZIONE-consultazione-pubblica_03072017def.pdf)
- Netflix. (15. 11 2017). *Netflix*. Abgerufen am 15. 11 2017 von Netflix: [www.netflix.com](http://www.netflix.com)
- NTT DOCOMO. (29. 11 2017). *5G Trial Sites*. Abgerufen am 29. 11 2017 von [https://www.nttdocomo.co.jp/english/corporate/technology/rd/docomo5g/trial\\_site/index.html](https://www.nttdocomo.co.jp/english/corporate/technology/rd/docomo5g/trial_site/index.html)
- OECD. (December 2016). *Historical time series, fixed and wireless broadband penetration*. Abgerufen am 7. 9 2017 von OECD Broadband Portal.
- OpenSignal. (16. 11 2017). *The State of LTE*. (OpenSignal, Herausgeber) Abgerufen am 16. 11 2017 von OpenSignal: <https://opensignal.com/reports/2017/11/state-of-lte>
- Qualcomm. (03.2015). *5G - Vision for the next generation of connectivity*. Qualcomm.
- Qualcomm. (2014). *LTE MTC: Optimizing LTE Advanced for Machine-Type Communications*. Qualcomm.
- Qualcomm. (2015). *Creating a digital 6th sense with LTE Direct*. Qualcomm.
- Qualcomm. (2016). *Delivering on the LTE Advanced promise*. Qualcomm.
- Raymed Imaging. (2017). *Raymed imaging*. Abgerufen am 29. 11 2017 von [http://www.raymed.com/uploads/media/Informationen\\_zum\\_digitalen\\_Roentgen.pdf](http://www.raymed.com/uploads/media/Informationen_zum_digitalen_Roentgen.pdf)
- Reber, M. (2016). *Netzbaustrategie miaSvizra*. Swisscom.
- Rügheimer, H. (1 2018). *Der grosse Mobilfunknetztest 2018*. *connect(1/2018)*, S. 51-68.
- Spiegel. (02. 09 2016). *Ein magenta-schwarzer Supertag*. Abgerufen am 15. 11 2017 von <http://www.spiegel.de/netzwelt/netzpolitik/vectoring-bundesnetzagentur-gibt-telekom-gruenes-licht-a-1110605.html>

- Süddeutsche Zeitung. (16. 6 2016). *Netzagentur reagiert auf Furcht vor Telekom-Monopol*. Abgerufen am 15. 11 2017 von <http://www.sueddeutsche.de/digital/vectoring-netzagentur-reagiert-auf-furcht-vor-telekom-monopol-1.3036898>
- Swisscom. (10.2010). *Direkt von der Swisscom zur Verfügung gestellte Daten*. Swisscom.
- Swisscom. (10.2016). *Swisscom schaltet G.fast als erste europäische Telekommunikationsanbieterin live*. Swisscom.
- Swisscom. (2017). *GIS-Daten*. Swisscom.
- Swisscom. (8. 11 2017). *Swisscom wählt Ericsson als strategischen Partner für Gigabit LTE und 5G*. Abgerufen am 8. 11 2017 von <https://www.swisscom.ch/de/about/medien/press-releases/2017/11/20171108-mm-swisscom-waehlt-ericsson-als-strategischen-partner.html>
- Wired. (06 2017). *What is 5G and when will it launch in the UK?* (Wired, Herausgeber) Abgerufen am 29. 11 2017 von <http://www.wired.co.uk/article/5g-rollout-uk-global>



## HTW Chur

Hochschule für Technik und Wirtschaft  
Institut für Photonics und ICT (IPI)  
Pulvermühlestrasse 57  
7004 Chur  
Schweiz

Telefon +41 81 286 24 00

E-Mail [ipi@htwchur.ch](mailto:ipi@htwchur.ch)



[htwchur.ch/ipi](http://htwchur.ch/ipi)

