

Modellierung der Kosten eines flächendeckenden Hochbreitbandnetzes in der Schweiz

Autoren:

Dr. Karl-Heinz Neumann

Martin Ockenfels

Dr. Thomas Plückebaum

unter Mitarbeit von

Konrad Zoz

und Desislava Sabeva

WIK-Consult GmbH

Rhöndorfer Str. 68

53604 Bad Honnef

Bad Honnef, 05.10.2017

Impressum

WIK-Consult GmbH
Rhöndorfer Str. 68
53604 Bad Honnef
Deutschland
Tel.: +49 2224 9225-0
Fax: +49 2224 9225-63
eMail: info(at)wik-consult.com
www.wik-consult.com

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

Geschäftsführer und Direktor	Dr. Iris Henseler-Unger
Direktor Abteilungsleiter Post und Logistik	Alex Kalevi Dieke
Direktor Abteilungsleiter Netze und Kosten	Dr. Thomas Plückebaum
Leiter Verwaltung	Karl-Hubert Strüver
Vorsitzender des Aufsichtsrates	Winfried Ulmen
Handelsregister	Amtsgericht Siegburg, HRB 7043
Steuer Nr.	222/5751/0926
Umsatzsteueridentifikations Nr.	DE 123 383 795

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VI
1 Der Gutachtenauftrag und seine Bearbeitung	1
1.1 Die Initiative des Ständerates	1
1.2 Der Gutachtenauftrag	2
1.3 Unser Bearbeitungsansatz	2
1.4 Gliederung und Aufbau des Gutachtens	3
2 Eigenschaften und Leistungsfähigkeit von NGA-Technologien	5
2.1 Überblick	5
2.2 Was ist Hochbreitband?	10
2.2.1 Abgrenzung nach Technologien	11
2.2.2 Abgrenzung nach Geschwindigkeit	14
2.2.3 Abgrenzung nach Qualitätskriterien	15
2.3 Festnetztechnologien	15
2.3.1 FTTC VDSL2	15
2.3.2 FTTC Vectoring	17
2.3.3 FTTS G.fast	26
2.3.4 FTTB XG.fast	28
2.3.5 FTTH P2P	28
2.4 Kabelnetztechnologien	29
2.4.1 DOCSIS 3.0	31
2.4.2 DOCSIS 3.1	33
2.4.3 DOCSIS 3.1 FD	33
2.5 Mobilfunktechnologien	35
2.6 Systematischer Vergleich	40
3 Modellierung der Kosten eines flächendeckenden Hochbreitbandnetzes	44
3.1 Der FTTH-Modellansatz von 2009	44
3.2 Das WIK-NGA-Modell	45
3.2.1 Der grundlegende Modellansatz	45
3.2.1.1 Netzstrukturen	45
3.2.1.2 Clusterbildung nach Anschlussdichte	47
3.2.1.3 Anzahl der MPoP	50
3.2.1.4 Trassenlängen	51
3.2.1.5 Kabelgrößen, Leerrohre und Kabelgräben	51
3.2.1.6 Variable Kosten je Kunde	52

3.2.2	Konzentrations- und Kernnetz	52
3.3	Wesentliche Modellparameter	53
3.3.1	ARPU	53
3.3.2	WACC	54
3.3.3	Retailkosten	54
3.3.4	Kabelverlegung	55
3.3.5	Inhausverkabelung	56
3.3.6	Kosten für die Inanspruchnahme des Kupferanschlussnetzes	57
3.3.7	Datenvolumen der Endkunden	58
3.4	Reconciliation der FTTH Modellergebnisse 2009 mit 2017	59
4	Modellszenarien und Ergebnisse	63
4.1	Die bestehende Netzabdeckung mit Hochbreitband als Ausgangspunkt	63
4.1.1	Die Schweiz im europäischen Vergleich	63
4.1.2	Räumliche Netzabdeckung mit Hochbreitband nach dem Breitbandatlas	69
4.2	Flächendeckende Netzabdeckung mit einer Technologie im Festnetz (ohne Berücksichtigung der bestehenden Netzabdeckung)	75
4.2.1	Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTH	75
4.2.2	Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTS	77
4.2.3	Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTC	80
4.2.4	Flächendeckende Netzabdeckung im Technologiemix des Festnetzes	82
4.3	Flächendeckende Versorgung mit FTTH unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung	84
4.3.1	Flächendeckende FTTH-Abdeckung bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	84
4.3.2	Flächendeckende FTTH-Abdeckung bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	87
4.4	Flächendeckende Versorgung mit FTTS unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung	90
4.4.1	Flächendeckende FTTS-Abdeckung bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	90
4.4.2	Flächendeckende FTTS-Abdeckung bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	92
4.5	Flächendeckende Versorgung mit FTTC unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung	94
4.5.1	Flächendeckende FTTC-Abdeckung bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	94
4.5.2	Flächendeckende FTTC-Abdeckung bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	96

4.6	Flächendeckende Versorgung im Technologiemix unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung	98
4.6.1	Flächendeckender Technologiemix mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	98
4.6.2	Flächendeckender Technologiemix mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	101
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	103
6	Literaturverzeichnis	111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Übertragungsbandbreiten bei ADSL 2+ und VDSL2 über die Länge der Anschlussleitung	6
Abbildung 2-2:	NGA Netzarchitekturen im Überblick	7
Abbildung 2-3:	Nachfragepotenzial für stationäre Breitbandanschlüsse in Deutschland 2025	8
Abbildung 2-4:	Verteilung der Kosten in einem FTTH P2P Netz (Beispiel Schweiz), inkl. der Inhausverkabelung	9
Abbildung 2-5:	Bandbreiten von VDSL Profil 17a und 35b im Vergleich (Annex Q = Profil 35b)	17
Abbildung 2-6:	Frequenzbereiche und ihre Nutzung auf Anschlussleitungen	18
Abbildung 2-7:	Funktionsweise von Vectoring	19
Abbildung 2-8:	Bandbreitengewinn durch Vectoring auf den einzelnen Doppeladern eines Anschlusskabels bei 500m Länge	20
Abbildung 2-9:	Bandbreitendegression durch nicht ins Vectoring eingebundene Anschlussleitungen	21
Abbildung 2-10:	Reichweitenverlängerung durch Vectoring	22
Abbildung 2-11:	Phantoming summiert parallele physische und virtuelle Kanäle zu einer Gesamtkapazität	23
Abbildung 2-12:	Bandbreiten von VDSL Profil 17a und 35b im Vergleich (Annex Q = Profil 35b)	25
Abbildung 2-13:	Vorteile von Vectoring und sein Nachteil	25
Abbildung 2-14:	Vectoring Gewinn bei G.fast	26
Abbildung 2-15:	Bandbreiten von G.fast, VDSL Profil 35b und 17a im Vergleich über die Anschlussleitungslänge	27
Abbildung 2-16:	Kabel TV Netz und Fibre Node Splitting	31
Abbildung 2-17:	Typische Frequenzbelegung bei DOCSIS 3.0	32
Abbildung 2-18:	Typische Frequenzbelegung von DOCSIS 3.0 und 3.1 im Vergleich	33
Abbildung 2-19:	Typische Frequenzbelegung bei DOCSIS 3.1 FD/ XG-Cable	34
Abbildung 2-20:	Mit zunehmendem Abstand von der Zellmitte (Antenne) abnehmende Bandbreite	36
Abbildung 2-21:	Versorgung zellperipherer Endgeräte aus mehreren Zellen	36
Abbildung 2-22:	Kapazitätserweiterungen über WiFi-Offloading und/oder Femtozellen	37

Abbildung 2-23: Kommunikationscharakteristika von 5 G Anwendungen	38
Abbildung 2-24: Gepoolte BBU mit breitbandiger Anbindung der RRH	40
Abbildung 3-1: NGN/NGA-Netzarchitektur in der Übersicht	46
Abbildung 3-2: Flächenabdeckung der Cluster 1 – 12 (> 150 pot. Anschlüsse/km ²)	50
Abbildung 3-3: Reconciliation der FTTH Modelle 2009 und 2017	59
Abbildung 3-4: Reconciliation - Investitionen	60
Abbildung 3-5: Reconciliation - OPEX	61
Abbildung 4-1: Breitbandabdeckung im Technologiemix	65
Abbildung 4-2: Nationale Netzabdeckung mit Breitbandtechnologien	66
Abbildung 4-3: FTTP-Abdeckung 2016	67
Abbildung 4-4: Netzabdeckung mit Breitbandtechnologien im ländlichen Bereich	67
Abbildung 4-5: Räumliche Verfügbarkeit von Hochbreitband in der Schweiz nach Technologie (gemäss WIK-Zuordnung)	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Übliche VDSL-Profile	16
Tabelle 2-2:	Vergleich aller kupferbasierten breitbandigen Übertragungstechniken des Anschlussnetzes	28
Tabelle 2-3:	DOCSIS 1.0 bis 3.0 in der Übersicht	32
Tabelle 2-4:	Übersicht über die wesentlichen Merkmale von DOCSIS 3.0 – 3.1 FD/ XG-Cable	35
Tabelle 2-5:	Anwendungsbeispiele für die Anforderungen an 5 G Netze	39
Tabelle 2-6:	Übersicht über die aktuellen und zukünftigen Technologien für die Breitbandübertragung im Vergleich	42
Tabelle 3-1:	Clusterung nach Anschlussdichte (Werte pro Cluster)	48
Tabelle 3-2:	Clusterung nach Anschlussdichte (kumulierte Werte)	49
Tabelle 3-3:	Tiefbaukosten im Modell 2009 und 2017	56
Tabelle 3-4:	Investitionen für Hausverkabelung (in CHF) pro Kunde	57
Tabelle 3-5:	Mietkosten für das Drop-Kabel Segment	57
Tabelle 3-6:	Datenvolumen der Endkunden	58
Tabelle 4-1:	Gesamtüberblick Breitbandtechnologien 2014, 2015, 2016	68
Tabelle 4-2:	Verfügbarkeit von Breitbandanschlüssen nach Betreibern, Clustern und Technologie	73
Tabelle 4-3:	Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTH (Greenfield)	76
Tabelle 4-4:	Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTS	79
Tabelle 4-5:	Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTC	81
Tabelle 4-6:	Flächendeckende Netzabdeckung im Technologiemix	83
Tabelle 4-7:	Flächendeckung FTTH bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	86
Tabelle 4-8:	Flächendeckung FTTH bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	89
Tabelle 4-9:	Flächendeckung FTTS bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	91
Tabelle 4-10:	Flächendeckung FTTS bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	93
Tabelle 4-11:	Flächendeckung FTTC bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	95
Tabelle 4-12:	Flächendeckung FTTC bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	97
Tabelle 4-13:	Flächendeckender Technologiemix mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)	100

Tabelle 4-14:	Flächendeckender Technologiemix mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (mit Kabel)	102
Tabelle 5-1:	Typische FTTC VDSL Vectoring Verfahren	104
Tabelle 5-2:	G.fast Verfahren	104
Tabelle 5-3:	FTTH Punkt-zu-Punkt Übertragungsverfahren	104
Tabelle 5-4:	Aktuelle DOCSIS Übertragungsverfahren (geteilte Bandbreiten)	105
Tabelle 5-5:	Flächendeckende Netzabdeckung mit Festnetztechnologien (ohne Berücksichtigung der bestehenden Netzabdeckung)	107
Tabelle 5-6:	Flächendeckende Netzabdeckung mit Festnetztechnologien bei Berücksichtigung der bestehenden Versorgung (ohne Kabel)	108
Tabelle 5-7:	Flächendeckende Netzabdeckung mit Festnetztechnologien bei Berücksichtigung der bestehenden Versorgung (mit Kabel)	109

1 Der Gutachtauftrag und seine Bearbeitung

1.1 Die Initiative des Ständerates

Der Glasfaserausbau bis zum Endkunden (FTTH) kommt in der Schweiz derzeit scheinbar nur noch wenig voran, nachdem er eine Bevölkerungsabdeckung von knapp 30% erreicht hat. Nach der Arrondierung des bisherigen Ausbaus startet die Swisscom kaum noch grössere neue Ausbauprojekte.¹ Sie setzt stattdessen auf die weitere Auf-rüstung des Kupfernetzes mit der G.fast-Technologie.² Diese wird in Schächten ca. 200 m vom Endkunden entfernt installiert. Bis dahin wird das Glasfasernetz herangeführt, ab dort werden dann die bestehenden Kupferdoppeladern weiterhin genutzt, mit den dazugehörigen Beschränkungen hinsichtlich der Bandbreite. Auch von lokalen Energieversorgungsunternehmen konnten in letzter Zeit kaum neue FTTH-Initiativen beobachtet werden.

Vor diesem Hintergrund gibt es in der Schweiz erneut eine intensive politische und öffentliche Diskussion über die Erreichung eines landesweiten Ausbaus der Hochbreitbandnetze. Zwar verfügt die Schweiz in den Statistiken der OECD über einen Spitzenplatz in der Verfügbarkeit von Hochbreitband. Auch der Ausbau der Glasfasernetze bis zum Endkunden ist in der Schweiz weiter vorangetrieben als im europäischen Durchschnitt. Letzteres ist im Wesentlichen getrieben durch ein infrastrukturelles Kooperationsmodell, das die Swisscom mit einer Reihe von EW bzw. Stadtwerken betreibt.

Trotz dieser positiven Entwicklungen ist die Schweiz landesweit noch weit von einer flächendeckenden Verfügbarkeit von Hochbreitband mit Geschwindigkeiten von mehr als 100 Mbps entfernt. Die derzeitige Netzabdeckung weist zudem erhebliche regionale Disparitäten innerhalb und zwischen Kantonen auf.

Vor diesem Hintergrund hat der Kanton Tessin im April 2016 eine Standesinitiative eingebracht mit dem Ziel der Gewährleistung eines landesweit dichten Hochbreitbandangebotes. Sowohl der Ständerat als auch die Kommission für Verkehr und Fernmelde-wesen des Nationalrates haben der Standesinitiative Folge gegeben.

Der Kanton Tessin fordert den Bund auf, im Rahmen seiner Kompetenzen in jenen Regionen der Schweiz aktiv einzuschreiten, in denen das Hochbreitbandnetz über Kabel und Festnetz von den Fernmeldediensteanbieterinnen nicht realisiert wird. Hierbei werden instrumentell Direktfinanzierungen oder eine Neudefinition der Grundversorgung in Erwägung gezogen und vorgeschlagen. Ziel ist ein landesweites dichtes Hochbreitbandangebot. Dabei soll die geeignetste und am besten realisierbare Technologie ein-

¹ Siehe z.B. <http://www.handelszeitung.ch/unternehmen/telekom-gesetz-siegt-sunrise-oder-swisscom-1472074>

² Vgl. hierzu etwa Swisscom (2017).

gesetzt werden, die in den nächsten Jahren dem aktuellen Stand der Technik entspricht.

1.2 Der Gutachtauftrag

Im Auftrag der Kommission für Verkehr und Fernmeldewesen des Nationalrates hat das BAKOM zu den genannten Fragen einen Bericht zu erstellen. Dieser Bericht soll Optionen aufzeigen, wie die bestehenden Lücken der Netzabdeckung geschlossen werden können. Dabei sollen die am besten realisierbaren Technologien eingesetzt werden. Zur Unterstützung der eigenen Berichterstattung hat das BAKOM im Juni 2017 bei WIK-Consult das vorliegende Gutachten in Auftrag gegeben.

Als Grundlage für die politische Diskussion wird es als wesentlich angesehen, die Kosten abzuschätzen, die ein weiterer Ausbau von Hochbreitband in der Schweiz verursachen würde. Abgeschätzt werden sollen die Kosten, die anfallen, um die noch nicht mit Hochbreitband versorgten Gebiete/Gemeinden zu versorgen. Insofern ist auch von der bereits realisierten kabelgebundenen Netzabdeckung in der Schweiz über Kupfer-, Glasfaser- und Koax-Technologien auszugehen. Dabei sollen unterschiedliche Versorgungsszenarien berechnet und die verschiedenen Breitbandtechnologien und deren Leistungsparameter berücksichtigt werden. Als konkrete Untersuchungsfragen benannte das BAKOM die Folgenden:

- Welche Breitbandtechnologien erlauben heutzutage welche Leistungen, insbesondere punkto Bandbreiten, Symmetrie der Bandbreiten sowie weiteren Leistungsparametern (Latenz etc.)? Welche Leistungen, insbesondere Bandbreiten, könnten diese Technologien voraussichtlich in fünf Jahren erbringen?
- Wieviel würde ein landesweiter Ausbau von Hochbreitband in der Schweiz kosten, ausgehend vom aktuellen Ausbaustand der Netze und unter Berücksichtigung der technologischen Entwicklung?
- Wie weit kann ein marktgetriebener, profitabler Hochbreitbandausbau gehen?

Ausgangspunkt der Betrachtung soll das FTTH-Modell sein, das das WIK 2009 für das BAKOM entwickelt hat. Mit diesem Modell wurde eine Vielzahl von Szenarien des Glasfaserausbaus berechnet, die in der Projektstudie "Szenarien einer nationalen Glasfaserausbaustrategie in der Schweiz" beschrieben und veröffentlicht sind.³

1.3 Unser Bearbeitungsansatz

Das seinerzeit für das BAKOM in 2009 entwickelte FTTH-Modell erlaubt nur die modellmäßige Abbildung der Breitbandversorgung mit FTTH. Das Modell hätte entsprechend weiterentwickelt werden müssen, um auch die anderen vom BAKOM gewünsch-

³ Siehe hierzu Ilic et al. (2009).

ten Festnetztechnologien abzubilden. Statt einer aufwändigen Modellerweiterung haben wir dem BAKOM die Verwendung des generischen WIK-NGA-Modells vorgeschlagen, das die Abbildung aller relevanten Festnetztechnologien erlaubt und das auf demselben Modellansatz aufbaut wie das Modell aus dem Jahr 2009. Diesem Vorschlag ist das BAKOM gefolgt.

Neben einer natürlich erforderlichen Parametrierung am aktuellen Rand haben wir großen Wert auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen von 2009 gelegt. Auch aus diesem Grund haben wir die Clusterung der Gebiete nach Anschlussdichte beibehalten. Die Zuordnung der einzelnen Anschlüsse zu einem Anschlussbereich haben wir allerdings nach den Gebäudedaten des aktuellen Breitbandatlas vorgenommen und nicht nach den Angaben des Anschlussmodells für das Netz der Swisscom wie noch in 2009. Nur so war die bestehende Breitbandversorgung adäquat identifizierbar. Die Kongruenz der FTTH-Modelle von 2009 und 2017 haben wir zudem durch einen entsprechenden Reconciliation-Ansatz gezeigt.

Die Ermittlung der aktuellen Parameterwerte für das Modell beruht zum einen auf der WIK-Datenbank mit Erfahrungswerten aus anderen Projekten und zum anderen auf Angaben, die das BAKOM aus seiner regulatorischen Praxis gewonnen hat. Alle Parameter wurden mit dem BAKOM abgestimmt.

1.4 Gliederung und Aufbau des Gutachtens

Wir stellen unsere Ergebnisse in drei zentralen Kapiteln der Studie dar. In Kapitel 2 beschreiben wir die technischen Eigenschaften aller relevanten Breitbandtechnologien. Dies schließt alle Festnetztechnologien sowie auch die Kabelnetze und ihre absehbare Weiterentwicklung sowie den Mobilfunk ein. Damit werden nicht nur der aktuelle Rand der Technologie, sondern auch ihre absehbaren Weiterentwicklungen beschrieben. Neben den technischen Eigenschaften beschreiben wir auch die Leistungsfähigkeit der einzelnen Technologien und ihre Performance. Im Vordergrund steht dabei die Datenrate, aber auch andere Qualitätsmerkmale wie Symmetrie, Latenz und Fehlerraten. Die Ergebnisse dieses Kapitels erlauben damit festzulegen, welche Breitbandtechnologien bestimmte definierte Breitbandziele unterstützen.

In Kapitel 3 stellen wir unseren NGA-Modellansatz vor, der die Abbildung aller Festnetztechnologien in einem kohärenten Modellansatz erlaubt. Neben dem Modellansatz beschreiben wir die wichtigsten ergebnissteuernden Parameter und ihre Wertebestimmung. Am Ende des Kapitels nehmen wir auch einen Abgleich des FTTH-Modells 2009 mit dem von 2017 vor. Die Ergebnisse zeigen, dass das Modell 2017 annähernd die gleichen Ergebnisse wie das von 2009 generiert, wenn man es mit den alten Parametern "füttert".

Im Kapitel 4 werden primär die Ergebnisse von Modellszenarien vorgestellt. Dazu wird zunächst die heute bestehende Breitbandversorgung in der Schweiz, wie sie der Breitbandatlas ausweist, dargestellt und in einen europäischen Vergleichskontext gestellt. Die flächendeckende Versorgung mit verschiedenen Breitbandtechnologien wird zunächst in einem Greenfield-Ansatz, d.h. ohne Berücksichtigung bestehender Infrastrukturen, beschrieben und schließlich unter Berücksichtigung der bestehenden Netzabdeckung. Dabei stellen wir Szenarien mit und ohne Berücksichtigung des Beitrags der Kabelnetze zur Breitbandversorgung vor.

Im abschliessenden Kapitel 5 fassen wir unsere Ergebnisse zusammen und deuten einige Schlussfolgerungen an, die daraus breitbandpolitisch ableitbar sind.

2 Eigenschaften und Leistungsfähigkeit von NGA-Technologien

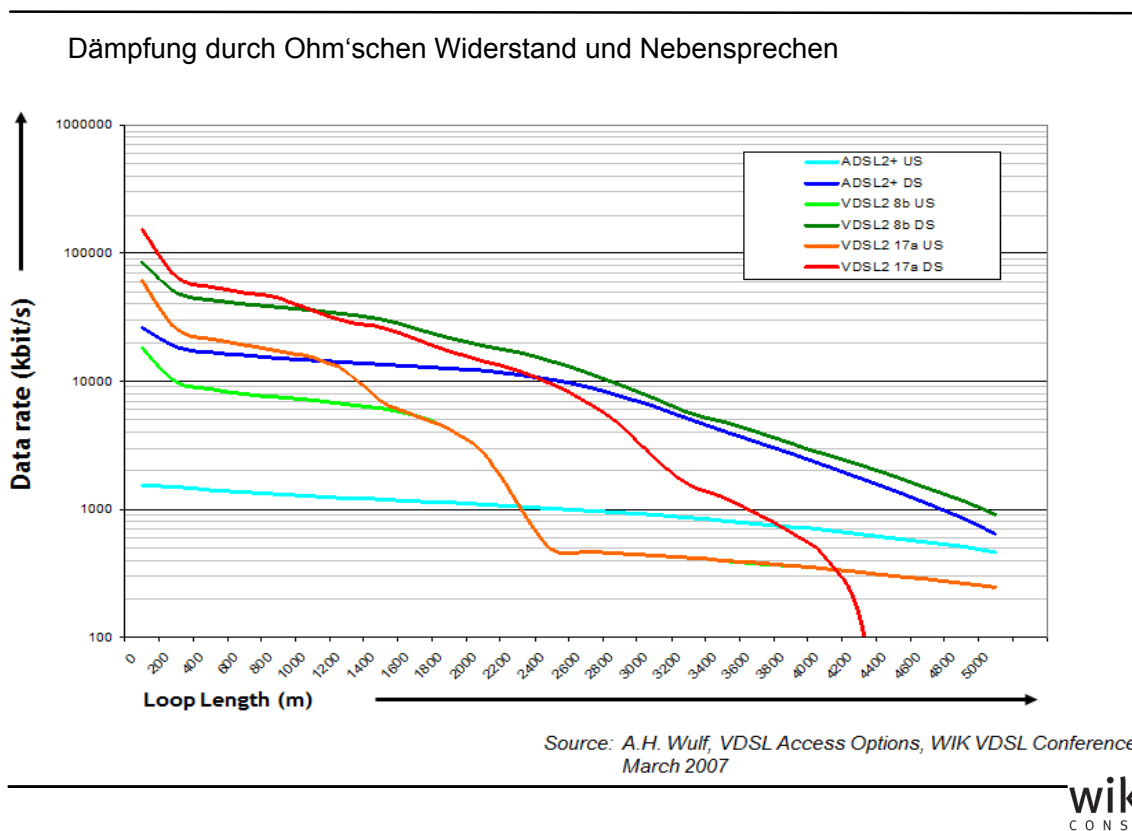
2.1 Überblick

Das Standard Anschlussnetz der Telekommunikation der letzten 130 Jahre war ein Netz, das aus sternförmig zusammenlaufenden Kabeln ungeschirmter Kupferdoppeladern bestand, die von den einzelnen Endstellen zu zentralen Schaltzentralen (Hauptverteilern, HVt) in immer dicker werdenden Kabeln verbunden waren. In den Schaltzentralen waren ursprünglich auch die Vermittlungsstellen angesiedelt, später dann die elektromechanischen automatischen Vermittlungssysteme. Diese wurden mit dem Aufkommen der elektronischen Vermittlungssysteme durch Vorkonzentratoren oder abgesetzte Vermittlungseinheiten ersetzt, deren Zentralen an einer geringeren Zahl hierarchisch höher angesiedelter Schaltzentralen als Teilmenge der ursprünglichen Standorte angesiedelt wurden. Es blieb jedoch das sternförmige Anschlussnetz, das letztendlich immer dichter ausgebaut wurde und zuletzt jeden Haushalt erreichte. Über dieses Netz wurde zunächst die Sprache als niederfrequentes analoges Signal zwischen 300 und 3.600 KHz übertragen.

Die Drähte des Kupferanschlussnetzes dienten zudem für eine frühe Datenübertragung mit einer Datenübertragungsrate bis 9.600 bit/s. Mit dem Aufkommen der elektronischen Vermittlungssysteme und der ISDN-Technologie 1988 wurde die Übertragung der Sprache digitalisiert und im Bereich bis ca. 120 KHz zwei Sprachkanäle mit je 64 Kbps und ein Daten- und Steuerungskanal mit 16 Kbps codiert. In den darüber liegenden Frequenzbereich bis ca. 2,2 MHz siedelte man ab Ende der 1990er Jahre symmetrische oder asymmetrische Kanäle zur Datenübertragung (xDSL⁴) an, die durch Splitter getrennt parallel auf einer Anschlussleitung betrieben werden konnten. Die Anschlussleitungen werden in den Schaltzentralen dann wieder per Splitter in den Sprachfrequenzbereich und den Datenfrequenzbereich aufgeteilt. Ersterer endet auf den ISDN Anschlussystemen, letzterer auf sogenannten Digital Subscriber Lines Access Multiplexers (DSLAMs). Bei der asymmetrischen Datenübertragung ab HVt wurden maximal etwa 16 Mbps downstream erreicht, allerdings kamen beim Endkunden über größere Entfernungen (> 4 km) nur noch wenige 100 Kbps downstream und noch weniger für den Upstream an. Dies ist zum einen durch die Ohm'sche Dämpfung begründet, die bei jeder Übertragung über Kupferdoppeladern auftritt und die umso größer wird, je höher die zur Übertragung genutzten Frequenzen werden, zum anderen durch die elektromagnetischen Störungen, die sich benachbarte Kupferdoppeladern gegenseitig zufügen, Nebensprechen genannt. Auch dieses wird mit zunehmender Übertragungsfrequenz immer intensiver.

⁴ ADLS: Asymmetric Digital Subscriber Line, SDSL: Symmetric Digital Subscriber Line

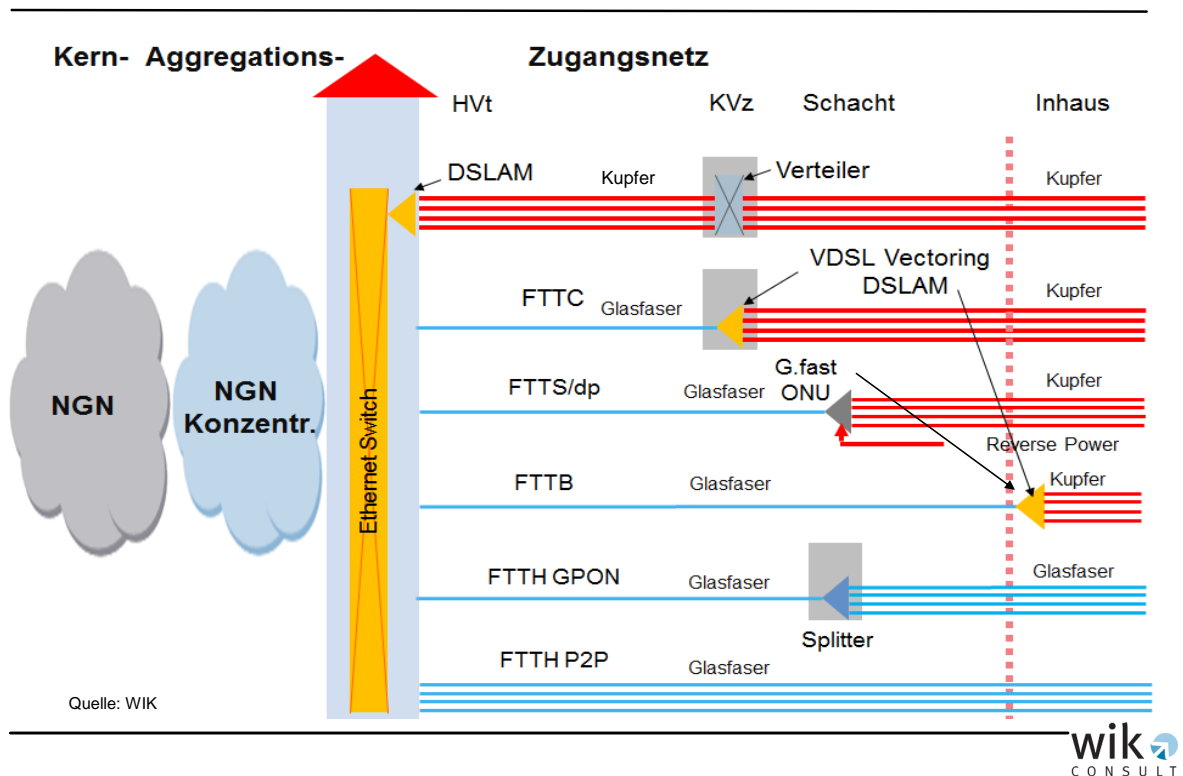
Abbildung 2-1: Übertragungsbandbreiten bei ADSL 2+ und VDSL2 über die Länge der Anschlussleitung



Höhere Bandbreiten kann man mit den VDSL2 Übertragungsverfahren erzielen, die höhere Frequenzen entlang der Kupferdoppeladern nutzen, allerdings auch nur noch deutlich geringere Übertragungsreichweiten erzielen. Der Einsatz dieser Verfahren kann daher ab Schaltzentrale nur für die kürzeren der Anschlussleitungen bis ca. 1000m erfolgen. Für die längeren Anschlussleitungen verlagert man die DSLAMs in die Knotenverzweiger am Strassenrand (FTTC), wodurch sich die Kupferkabelängen deutlich verkürzen. Die DSLAMs werden mit dem ab den Schaltzentralen beginnenden Konzentrationsnetz und dem darüber angeordneten Kernnetz per Glasfaser verbunden, die sehr hohe Bandbreiten über größere Entfernungen (> 100km) ohne Zwischenverstärker zu übertragen erlaubt. Für noch höhere Bandbreiten kann man die DSLAMs noch näher an die Endkunden heranzuführen, z.B. in sogenannte Drop Points (DP) am Strassenrand (FTTS), oder bis in den Keller der Gebäude (FTTB). Wenn die Glasfaser die Wohnungen oder Geschäftsräume der Endkunden erreichen, spricht man von FTTH. Die alten Kupferleitungen und deren Restriktionen sind dann vollständig aus der Übertragungskette eliminiert. Bei einer Glasfaser Punkt-zu-Punkt Topologie (PtP oder P2P) kann dann auf der Anschlussleitung die volle Kapazität einer Glasfaser zur Verfügung gestellt werden⁵.

⁵ Diese liegt im Bereich von Tbps.

Abbildung 2-2: NGA Netzarchitekturen im Überblick



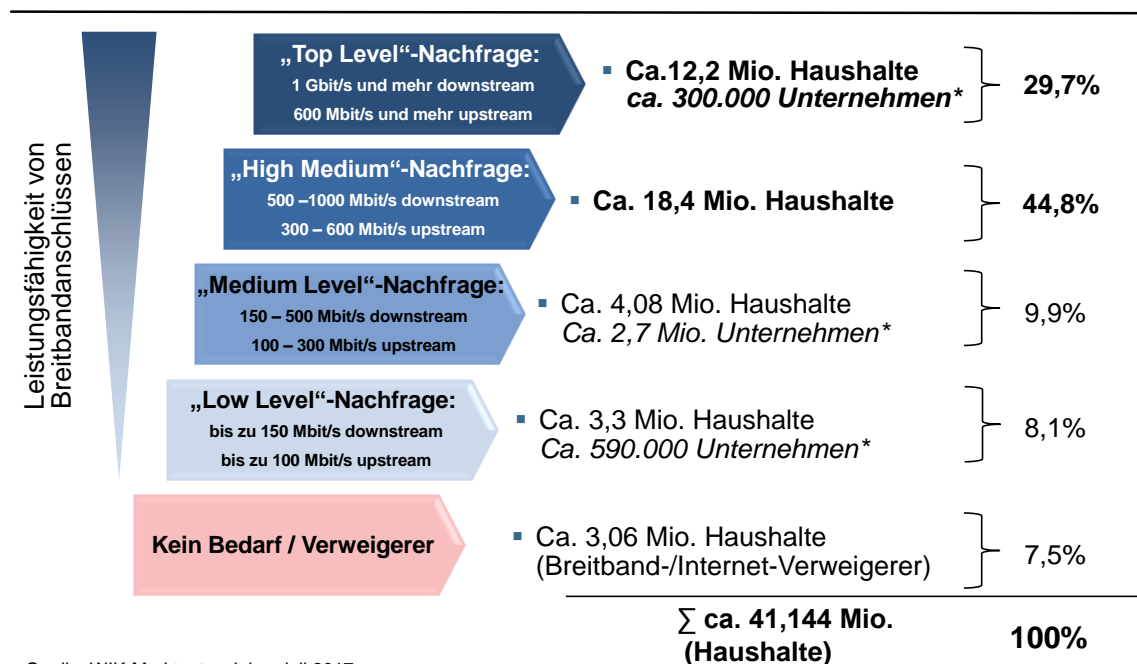
WIK-Consult hat den zukünftigen Bandbreitenbedarf der Kunden in Deutschland wiederholt mit seinem Marktmodell untersucht und für die Zukunft prognostiziert. Basis der Ergebnisse ist die Annahme, dass ausreichend Netzressourcen zu erschwinglichen Preisen zur Verfügung stehen. Dies gilt insbesondere für den heute als Engpass erfahrenen Bereich der Zugangsnetze. D.h. es wird angenommen, dass die Bedarfe nicht von fehlenden Bandbreiten im Zugangsnetz restringiert werden.

Das Marktmodell geht von verschiedenen Nachfragergruppen in Haushalten mit dem für Deutschland typischen Größenmix aus, die Dienste verschiedener Anwendungsgebiete und die spezifischen und für die prognostizierte Zukunft typischen Bandbreiten (im Jahr 2025) nachfragen, und dies auch parallel, so wie heute einzelne Anwender, aber auch Familien zur Busy Hour⁶ es tun. Es ergibt sich ein breites Spektrum der Nachfrage von Nutzern, beginnend bei denen, die kein Breitband (im Festnetz) nutzen wollen, bis hin zu den Top Level Nachfragern (s. Abbildung 2-3).⁷ Man kann von einer Nachfragewelle ausgehen, die sich in ihrer Größe modifiziert weiter in die Zukunft hinein bewegt. Bei den Unsicherheiten der Prognose mag der Bedarf bezogen auf das Jahr 2025 auch etwas früher oder später eintreten, aber er wird sich in der hier aufgezeigten Größenordnung einstellen.

⁶ Hauptverkehrszeit, in Mitteleuropa typischerweise von 20:00 – 22:00 h.

⁷ Siehe Strube Martins et al. (2017).

Abbildung 2-3: Nachfragepotenzial für stationäre Breitbandanschlüsse in Deutschland 2025



Quelle: WIK-Marktpotenzialmodell 2017

* Die Nachfrageschätzungen für Unternehmen wurden nicht aktualisiert, sondern ohne neue Berechnungen in die Ergebnisse der Fortschreibungen für Privathaushalte integriert.

Quelle: WIK

Ohne die Ergebnisse der in den anschliessenden Kapiteln dargelegten technischen Möglichkeiten der unterschiedlichen Technologien vorwegzunehmen, ist doch klar, dass die oberste Nutzergruppe nur mit einem Glasfaseranschluss zufrieden gestellt werden kann. Da sich diese Nutzergruppe nicht auf ein Besiedlungsgebiet beschränken lässt, sondern im Lande weit verteilt angesiedelt ist und sich die Nachfragewelle zudem über die Zeit in Richtung höherer Bandbreiten weiterbewegt, muss der Ausbau eines Landes im Ergebnis flächendeckend erfolgen, um alle Nutzer zufrieden stellen zu können.

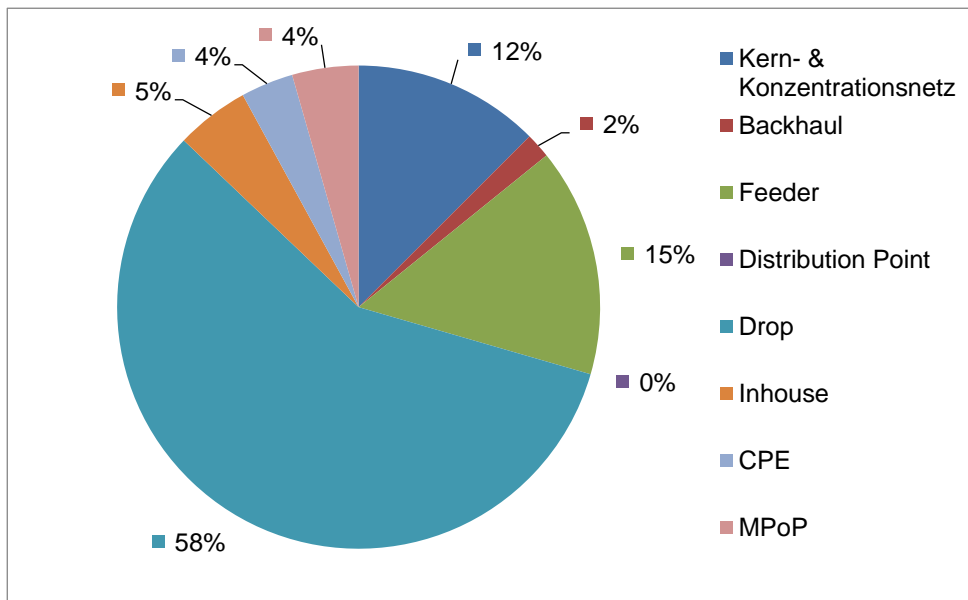
Die Kosten des Ausbaus der unterschiedlichen Technologien sind unterschiedlich hoch, weil die FTTC- und FTTS-Technologien einen Teil des bestehenden Anschlussnetzes weiterhin nutzen, also das bestehende Kupfernetz für die immer kürzer werdende Last Mile einsetzen, anstatt sofort alles in Glasfasern zu investieren. Untersuchungen des WIK im vergangenen Jahrzehnt haben immer wieder gezeigt, dass der NGA-Ausbau sich, abhängig von seinen Kosten und erzielbaren Erlösen, mit heutigen und für die Zukunft prognostizierten Werte nicht flächendeckend eigenwirtschaftlich darstellen lässt.⁸ Im Grundsatz kann man sagen, dass mit abnehmender Besiedlungsdichte die Kosten pro Anschluss steigen, der Erlös bei national einheitlichem Preisbild sich jedoch nicht ändert. Irgendwann tritt bei abnehmender Besiedlungsdichte der Punkt ein, dass

⁸ Siehe Elixmann et al. (2008); Ilic et al. (2009); Jay et al. (2011); Neumann (2013).

sich eine NGA-Technologie nicht mehr von alleine, das heißt aus den Erträgen aus Endnutzerentgelten trägt. Natürlich hängt dieser Punkt auch von der Menge der Teilnehmer ab, die sich anschließen lassen und die die neuen Dienste nutzen. Dieser Punkt tritt für teurere Technologien früher ein als für kostengünstigere.

Je mehr Anschlussnetz man austauscht, d.h. im Wesentlichen, je mehr des alten Kupfernetzes durch Glasfasern ersetzt wird, desto investitionsintensiver wird das Netz, desto mehr kann es allerdings auch in Bezug auf Bandbreite und Übertragungsqualität leisten.

Abbildung 2-4: Verteilung der Kosten in einem FTTH P2P Netz (Beispiel Schweiz), inkl. der Inhausverkabelung



Quelle: WIK

Ein Grossteil der Investitionen und der Kosten eines NGA Netzes entfallen auf die passiven Netzstrukturen des Anschlussnetzes. In Abbildung 2-4 sind dies die Netzabschnitte von der Schaltzentrale (HvT) bis zum Kabinett (KVz), hier Feeder genannt, und von dort bis zum Strassenrand und zum Gebäude, hier Drop genannt, und im Gebäude, hier Inhouse genannt. Die Investitionen (bzw. Kosten) verteilen sich auf die Netzsegmente folgendermassen:

- Feeder: 19% (15%)
- Drop: 68% (58%)
- Inhouse: 6% (5%)

Die passiven Infrastrukturen machen in diesem Beispiel 78% der Gesamtkosten aus. Im Prinzip kann man sagen, je weiter ein Glasfasernetz ausgebaut wird, desto mehr steigen die Investitionen und Kosten der passiven Infrastruktur. Man kann auch sagen, je leistungsfähiger die Infrastruktur, desto höher die Kosten. Im Beispiel der drei Architekturen FTTC, FTTS und FTTH (P2P) ergeben sich für eine flächendeckende Versorgung der Schweiz und der jeweiligen Technologie Investitionen von ca.:

- FTTC: 5,5 Mrd CHF
- FTTS: 12,2 Mrd CHF
- FTTH: 33,1 Mrd CHF

Wir haben bereits in der Vergangenheit gezeigt, dass der Ausbau der Breitband-Infrastrukturen nicht für alle Regionen ein sich selbst tragendes Geschäft ist, d.h. dass mit den gängigen Erlösen das Breitbandnetz profitabel betrieben werden kann⁹. Diese Grenzen der Profitabilität unterscheiden sich je nach verwendeter NGA-Technologie. Neben den Untersuchungen nach der profitablen Reichweite der einzelnen Technologien und deren Subventionsbedarf in den nicht profitablen Gebieten kann man aber auch eine Kombination aus den verschiedenen Technologie derart erwägen, dass immer die leistungsfähigste Technologie bis zum Rand ihrer Profitabilität ausgebaut wird und dann die nächst leistungsfähige Technologie folgt. Aus diesem Grund untersuchen wir zum einen die Technologien und ihre Leistungsfähigkeit und zum anderen ihre spezifischen Kosten bei einem flächendeckenden Ausbau in der Schweiz. Hierbei berücksichtigen wir in einer weiteren Betrachtung zudem, dass ein Teil der Gebiete bereits mit einer leistungsfähigen Breitbandtechnologie ausgebaut ist.

Nachdem wir die Relevanz des Breitbandausbaus und der verschiedenen Festnetztechnologien angerissen haben, konzentrieren wir uns in den folgenden Abschnitten auf den Begriff Hochbreitband (Abschnitt 2.2) und auf die technischen Leistungsmaße der unterschiedlichen Technologien für das Festnetz (Abschnitt 2.3), widmen auch dem Koaxial-Netz für Kabel-TV einen besonderen Abschnitt (2.4) und gehen auch auf die Mobilnetztechniken ein, die ja im Prinzip auch in der Lage sind, Festnetzanschlüsse – zumindest in weniger dicht besiedelten Gebieten zu substituieren (Abschnitt 2.5).

2.2 Was ist Hochbreitband?

Breitband ist ein Begriff für die Datenübertragung, die im Laufe der Zeit mit den wachsenden Anforderungen einerseits und den steigenden technischen Möglichkeiten andererseits immer wieder eine neue Interpretation erfahren hat, was die objektiv hinterlegten Bandbreiten in Kbps oder Mbps angeht. In der Definition der EU-Kommission in diesem Jahrzehnt spricht man von Breitband bei Datenraten ab 2 Mbps, von NGA-Breitband ab 30 Mbps und von Ultra-Breitband ab (deutlich über) 100 Mbps.¹⁰ Mit die-

⁹ Siehe Elixmann et al. (2008); Ilic et al. (2009); Jay et al. (2010); Neumann (2013).

¹⁰ State Aid Guidelines der EU Kommission

sen Bandbreiten ist im allgemeinen Verständnis und der weiten Verbreitung der asymmetrischen Übertragung nur die Downstream-Richtung gemeint. Upstream wird typischerweise nur ein Bruchteil (10 – 30%) der Downstream-Bandbreite angeboten. Diese Werte und Bezeichnungen werden in der Zukunft weitere Veränderungen erfahren, wenn man die wachsenden Bedarfe und technischen Möglichkeiten betrachtet. In den folgenden Abschnitten betrachten wir den Begriff Hochbreitband aus drei Blickrichtungen, aus der Welt der

- Technologien (Abschnitt 2.2.1),
- Geschwindigkeiten (Abschnitt 2.2.2) und der
- Qualitätskriterien (Abschnitt 2.2.3).

2.2.1 Abgrenzung nach Technologien

Im Grundsatz gibt es heute vier Technologien, die sich für die Breitbandübertragung im Anschlussnetz eignen:

- Kupferdoppeladern (Telefondraht),
- Koaxialkabel,
- Glasfaserkabel,
- Mobilfunkanschlüsse.

Kupferkabel

Andere Kupferkabel als die aus Telefondrähten gibt es im Anschlussnetz so gut wie nicht, wenngleich es deutlich leistungsfähigere Kabel als Kupferdoppeladern gibt, die in der Inhausverkabelung und insbesondere bei Bürogebäuden und in der Industrie schon seit Jahrzehnten Verwendung finden. Dies sind Kabel aus geschirmten und eng verdrillten Kupferdoppeladern, heute spezifiziert bis zur Kategorie 8¹¹. Derartige Kabel sind jedoch bedingt durch die Schirmung und den etwas größeren Kupferdurchmesser der Adern dick im Vergleich zu den Telefonkabeln, die wiederum sehr dick sind im Vergleich zu Glasfaserkabeln gleicher Faserzahl. Neue Kupferkabel zu verlegen, macht daher wenig Sinn, wenn man statt dessen die leistungsfähigeren, dünneren und preiswerteren Glasfaserkabel verwenden kann.

Kupferkabel ebenso wie P2P Glasfaserkabel eignen sich prinzipiell auch gut für eine symmetrische Übertragung. Die Asymmetrie kommt nur ins Spiel, wenn die eine Richtung (Down) gegenüber der anderen Richtung (Up) bevorzugt werden soll, weil das Nutzerverhalten und das Datenangebot ebenso sei. In den Kupferkabeln wird dann die

¹¹ ISO/ IEC 11801, Kategorie 8 reicht für 40 – 100 Gbps Ethernet oder auch DOCSIS 3.1 über kurze Längen bis 100m.

Frequenznutzung entsprechend asymmetrisch aufgeteilt. Vorstellbar ist, dass man Hochbreitband ab Bandbreiten definiert, die mit FTTC produziert werden können.

Koaxialkabel

Koaxialkabel sind Kupferkabel mit einer Ader in der Mitte, umgeben von einem Schirm als Rückleiter in der Außenhaut. Sie strahlen so gut wie keine elektromagnetischen Felder um sich herum ab und sind gut geeignet für eine hochfrequente Übertragung. Heute üblich sind Frequenzen bis zu 2,7 GHz. Diese Kabel sind erheblich dicker bezogen auf die eine Kupferader, die sie umhüllen. Das war so lange unproblematisch, wie das Kabel nur dazu genutzt wurde, in eine Richtung (Down) an viele Teilnehmer viele Informationen – ein volles TV-Programm Angebot zu übertragen. Das Kabel ist ein Shared Medium, ein zwischen allen angeschlossenen Kunden in seiner Nutzung geteiltes Übertragungsmedium. Die hohe Frequenz erlaubt es aber prinzipiell auch, das Kabel ergänzend für viele Teilnehmer in bidirektionaler Kommunikation zu nutzen. In der Kommunikation vom Netz zum Kunden (Down) gibt es dafür wie bei den TV-Signalen einen von allen empfangenen digitalen Kommunikationskanal, aus dem die jeweils adressierte Empfängerstation die an sie gerichteten Nachrichten entnimmt. In der anderen Richtung gibt es gleichfalls einen gemeinsam genutzten Kanal (Up), der bei den Koaxialnetzen typischerweise von einem zentralen Gerät auf einer Ebene vergleichbar mit den Metropolitan Points of Presence (MPP) administriert wird, indem es Senderechte an die verschiedenen angeschlossenen Sendewilligen für bestimmte Zeitintervalle vergibt. Sofern nur ein Teilnehmer senden und empfangen will, steht die gesamte Kapazität dieser beiden gerichteten Kanäle (Down und Up) diesem Teilnehmer zur Verfügung. Andernfalls muss er sich die Kapazität mit den anderen kommunikationswilligen Teilnehmern teilen. Diese bidirektionale Datenkommunikationsform ist im DOCSIS Standard¹² seit vielen Jahren und über mehrere Generationen standardisiert. Das zentrale Gerät, das die Zugriffe auf das Koaxialkabel als gemeinsames Medium koordiniert, ist ein CMTS (Cable Modem Termination System); jeder Teilnehmer betreibt ein Cable Modem, an das neben dem Fernseher das Inhouse Netz über eine Ethernet Schnittstelle und einen Router angeschlossen wird.

Bis zum Standard DOCSIS 3.1 ist ein asymmetrisches Verhältnis von Up- und Downstream von 1:10 im Standard vordefiniert. Bei der heute oft weniger asymmetrischen Nachfrage kommt es daher vor, dass die Upstream Richtung voll ausgelastet ist, während die Downstream Richtung nicht einmal voll für die Kommunikation genutzt werden kann. DOCSIS 3.0 begrenzt den Upstream auf maximal ca. 120 Mbps shared, bei DOCSIS 3.1 wird dies auf 1,2 Gbps erweitert. Ab DOCSIS 3.1 kann man daher sicher aus heutiger Sicht von Hochbreitband sprechen.

¹² Data over Cable Service Interface Specification fing bei Release 1.0 an; heute implementiert sind noch Reste von Release 2.1; ganz überwiegend verbreitet ist Release 3.0; mit der Implementierung von Release 3.1 wurde bereits begonnen.

Glasfaserkabel

Glasfaserkabel können einerseits breitbandiges, sogenanntes weißes (oder graues) Licht übertragen, andererseits aber auch sehr viel feiner in einzelne Frequenzen separierte Lichtstrahlen unterschiedlicher Frequenz (oder auch Farbe genannt) darstellen. Dieses Nebeneinander verschiedener Farbkanäle nennt man auch Wellenlängen-Multiplex (WDM: Wave Division Multiplex). Man unterscheidet in Coarse (grobe) oder Dense (dichte) Farbabstände und Bereiche.¹³ Ein Farbstrahl kann derzeit typischerweise bis zu 40 Gbps übertragen, an 100 Gbps wird entwickelt. So sind die Kapazitäten von Glasfaserkabeln aus heutiger Sicht nahezu unbegrenzt, zumal die Entwicklung im Gegensatz zu den Kupferdoppeladern erst am Anfang steht, Kupferkabel aber eher am Ende ihrer physikalischen Möglichkeiten stehen.¹⁴ Glasfaserkabel sind daher unbestritten ein Übertragungsmedium für Hochbreitband und extrem zukunftssicher. Dies wird durch ihre lange Lebensdauer unterstützt.

Mobilfunk

Die Mobilfunktechnologie entwickelte sich im letzten Jahrzehnt weg von einer Sprachkanäle aufbauenden reinen Telefonielösung mit Datenübertragungsunterstützung ähnlich wie im ISDN hin zu einem vornehmlich paketvermittelten Datennetz. Heute existieren diese Netze hybrid nebeneinander und reichen technologisch von GSM über UMTS zu LTE.¹⁵ Bei LTE wird die Telefonie als VoIP paketvermittelt übertragen. Allen gemeinsam ist, dass sie ein flächendeckendes Netz aus Sendestationen (Basisstationen) benötigen, um die Konnektivität zu den sich bewegenden Endgeräten (Mobiltelefonen und Smart Phones) herzustellen. Zwischen den Endgeräten und den Basisstationen besteht eine für die jeweilige Mobilfunktechnik spezifische Funkschnittstelle in den jeweils lizenzierten Frequenzbereichen. Jeder dieser Frequenzbereiche stellt ein Shared Medium dar, analog zu den Koaxialkabelnetzen. Ein Empfänger nimmt sich die für ihn bestimmte Nachricht aus der Luft, als Sender muss er einen freien Zeitschlitz und/ oder einen Frequenzbereich mit der Basisstation „aushandeln“. Steht keine Kapazität zur Verfügung, kann eine Verbindung nicht aufgebaut oder ein Datenpaket nicht versendet werden.

Die Kapazität des Funkkanals richtet sich im Wesentlichen nach seiner Bandbreite. Die Reichweite einer Basisstation richtet sich einerseits nach der Höhe der Frequenz, andererseits natürlich auch nach der Sendeleistung (und der spektralen Dichte beim Empfänger). Die Sendeleistung wird typischerweise aus umweltpolitischen und gesundheitlichen Aspekten begrenzt, so dass die Höhe der Frequenz insbesondere in den ländlicheren Bereichen eine größere Bedeutung hat. Andererseits verbessern niedrige Fre-

¹³ CWDM unterstützt bis zu 32 Farben, DWDM bis zu 162.

¹⁴ Die Shannon-Grenze ist die Obergrenze des auf einem Kommunikationskanal Übertragbaren. Die Übertragungstechnik für die Kupferkabel hat diese nahezu erreicht, im Vergleich zu den Optionen auf den Glasfaserkabeln.

¹⁵ GSM: Global System for Mobile Communications, 2. Generation (2G); UMTS: Universal Mobile Telecommunications System, 3. Generation (3G); LTE: Long Term Evolution, 4. Generation (4G).

quenzen die Penetration der Gebäude und so die Indoor Coverage, was den Einsatz niedriger Frequenzen auch in den dichter besiedelten Bereichen sinnvoll werden lässt. Mit größerer Entfernung des mobilen Endgerätes vom Sendemast sinkt die spektrale Dichte und damit die empfangbare Bandbreite. Als Shared Medium ist Mobilfunk natürlich in der übermittelbaren Kapazität je Kunde von der gleichzeitigen Zahl der aktiven Kunden in einer Funkzelle abhängig. Aktuelle 4G Implementierungen erlauben einzelnen Kunden Bandbreiten bis zu 100 Mbps zu nutzen, dies trotz des Shared Medium in einer symmetrischen Kommunikation.

Der große Vorteil und das Alleinstellungsmerkmal von Mobilfunk ist seine Unterstützung der Mobilität der Endkunden. Allerdings lässt sich die Mobilfunktechnik auch als Ersatz für einen Festnetzanschluss einsetzen. Typische Beispiele finden sich hierfür in Schweden, Finnland, Norwegen oder auch in Neuseeland in den dort sehr dünn besiedelten Gebieten, wo der Festnetzanschluss verteilter Gebäude sehr teuer wird. Auch wenn der breitbandige Mobilfunk in diesen Gebieten den Ausbau einer Glasfaser bis nahe zum Endkunden oder gar bis zu dessen Gebäude hin ersetzen kann, so muss doch die Basisstation mit Glasfaser versorgt werden. U.U. lassen sich die Glasfaserinfrastrukturen für Breitband-Festnetze und Mobilnetze auch gemeinsam ausbauen.

Mit der aufkommenden 5G Mobilfunktechnik wird sich die verfügbare Bandbreite noch einmal signifikant erhöhen. Mit dieser Technik kann man aus heutiger Sicht von einer Hochbreitbandtechnik sprechen.

2.2.2 Abgrenzung nach Geschwindigkeit

Einen ersten Ansatz zur Definition von Hochbreitband nach Übertragungsgeschwindigkeiten haben wir bereits eingangs dieses Kapitels unternommen, indem wir uns an die Definitionen der Europäischen Kommission angelehnt haben. Allen Orientierungen an festen Zahlenwerten gemeinsam ist, dass sie rasch altern und sich eine Aushöhlung oder Entwertung sprachlicher Superlative ergibt. Was in der Vergangenheit super war, ist heute normal. Dennoch ist eine Orientierung an Zahlen faktenorientiert und präzise, erlaubt eine bessere Einordnung und Vergleichbarkeit und ist einzig objektiv. Aus heutiger Sicht würden wir Hochbreitband etwa bei der EU-Definition von Ultra-Breitband ansiedeln.

2.2.3 Abgrenzung nach Qualitätskriterien

Auch Qualitätskriterien entbehren nicht einer gewissen Subjektivität und Veränderung über die Zeit. Für Hochbreitband meinen wir die Qualität eines hochauflösenden Video- oder TV-Kanals heranziehen zu können. Dieser soll ohne Blockbildung, rüttelfrei kontinuierlich und mit hoher Farbqualität und Kontrastreife empfangen werden. Dieser Maßstab lässt sich auch an andere Anwendungsgruppen anwenden, wie z.B. an Gaming, Tele-Health oder Security – jeweils in ihrer Video-Komponente.

Aber auch die Bewegtbild-Übertragung unterliegt der Veränderung über die Zeit. So reduzieren Kompressionsverfahren die benötigte Bandbreite, aber mehrkanalige 3 D-Darstellungen vervielfachen dafür die Zahl der benötigten Kanäle. Insgesamt scheint daher eine solche Definition eher mit der Entwicklung über die Zeit Schritt zu halten als die anderen, zuvor diskutierten Ansätze.

Das höchste Maß an Objektivität hat jedoch die Abgrenzung bzw. Definition nach Geschwindigkeit, die allerdings über die Zeit fortgeschrieben werden müsste, und dies idealerweise einheitlich zumindest für große geographische Räume und/ oder Wirtschaftsräume.

2.3 Festnetztechnologien

Eine grobe Übersicht über die Festnetztechnologien haben wir bereits im einleitenden Überblick (Abschnitt 2.1), insbesondere mit Abbildung 2-2 gegeben. In den nachfolgenden Abschnitten gehen wir detaillierter auf die spezifischen Charakteristika der verschiedenen Technologien ein.

2.3.1 FTTC VDSL2

Die VDSL Übertragungsverfahren nutzen Frequenzbereiche über 2,2 MHz. Sie können das Frequenzband unter 120 KHz aussparen, um dort über Splitter getrennt die Übertragung von POTS¹⁶ oder ISDN Telefonie zuzulassen. Je höher die Frequenz, desto höher ist die insgesamt übertragbare Bandbreite. Allerdings wird die Reichweite für die höheren Frequenzen immer kürzer, so dass sich hier ein trade-off ergibt. Dies lässt sich gut in Abbildung 2-1 erkennen. ADSL2+ hat eine verhältnismäßig wenig abnehmende Bandbreite über die Leitungslänge, bietet dafür aber auch über kurze Längen eine relativ geringe Übertragungsbandbreite. Es wurde für die frühe Breitbandübertragung ab HVt entworfen. Entsprechend dem antizipierten Nutzerverhalten wurde bei der Planung der Nutzung der Frequenzbereiche eine Asymmetrie zwischen Up- und Downstream unterstellt, um die begrenzte Bandbreite möglichst optimal auszunutzen. Dennoch ist

¹⁶ Plain old Telephone System, analoge Telefonie.

auch eine symmetrische Nutzung auf dem Niveau der Upstream-Kapazität möglich¹⁷. Spätere Entwicklungen weiteten den Frequenzbereich und die übertragbaren Bandbreiten aus. Eine Übersicht gibt Tabelle 2-1. Heute in Mitteleuropa weit verbreitet ist VDSL 2 mit dem Profil 17a (ca. 17 MHz Frequenzband). Es wird ab HVt und bei größeren Anschlussleitungslängen ab KVz eingesetzt. Auf kurzen Leitungslängen, eher schon im Bereich von FTTB, findet man auch das Profil 30a (30 MHz). Eine recht neue Entwicklung ist das Profil 35b, das noch höhere Bandbreiten bietet und (anders als in der Tabelle dargestellt und von der ITU-T intendiert) auch für den Einsatz im FTTC-Bereich von verschiedenen Netzbetreibern vorgesehen wird.¹⁸

Tabelle 2-1: Übliche VDSL-Profile

Profil	8a,b,c,d	12a, b	17a	30a	35b
Frequenz	8.8 MHz	12 MHz	17.7 MHz	30 MHz	35.3 MHz
Aggregierte Übertragungsrate (Mbps)	50	68	100 - 150	200 - 250	300 - 400
Standardisiert in Jahr	2004	2004	2006	2006	2015
Empfohlene Netzwerk Architektur	HVt	HVt	FTTC	FTTC und/oder FTTB	FTTB

Quelle: ITU-T G.993.2

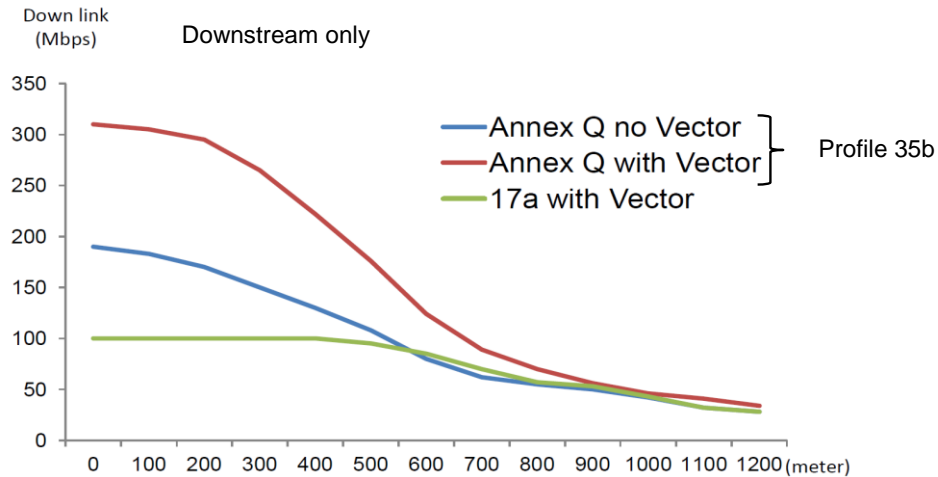
Die VDSLProfile übertragen grundsätzlich asymmetrisch, d.h. bieten downstream eine deutlich höhere Kapazität als upstream (Faustregel: upstream = 1/3 downstream). Dies liegt an dem Design der Übertragungsverfahren, die unterstellen, dass die Kunden mehr aus dem Internet herunterladen als in die andere Richtung ins Netz hinein. Tabelle 2-1 beschreibt die aggregierte Bandbreite beider Übertragungsrichtungen.

Man erkennt in Abbildung 2-5 den Bandbreitenverlauf, der sich bei Leitungslängen über 600m wieder annähernd angleicht. Die Abbildung zeigt mit der blauen Kurve den Frequenzverlauf für VDSL2 Profil 35b ohne Vectoring (Vectoring wird im nachfolgenden Abschnitt erläutert).

¹⁷ Es könnten auch spezifische xDSL Systeme für eine symmetrische Nutzung eingesetzt werden. Dies entspricht aber nicht dem (derzeitigen) Bedarf im Massenmarkt.

¹⁸ So z.B. von der Deutschen Telekom.

Abbildung 2-5: Bandbreiten von VDSL Profil 17a und 35b im Vergleich (Annex Q = Profil 35b)

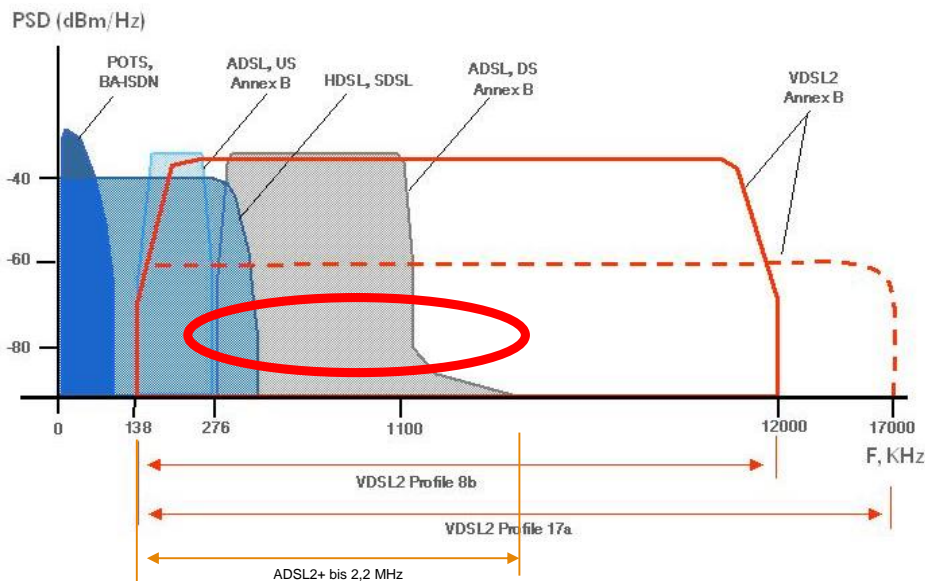


Quelle: Huawei (2015)

2.3.2 FTTC Vectoring

Ungeschirmte, eng beieinanderliegende und auf größeren Strecken parallel geführte Kupferdoppeladern, wie sie für das herkömmliche Telefonanschlussnetz typisch sind, stören sich typischerweise untereinander. Jede Doppelader induziert in allen benachbarten Doppeladern ein sogenanntes Nebensprechen, das natürlich von dem Signal bestimmt wird, das die Doppelader gerade überträgt. Dieses Nebensprechen hat ganz überwiegend dieselbe Frequenz, die das Ausgangssignal hat. Würde auf allen Doppeladern eines Kabels in einem anderen Frequenzbereich übertragen, würden sich die Störungen durch das Nebensprechen auf das Nutzsinal der anderen Doppeladern nicht auswirken. Eine solche Frequenzaufteilung geht aber nicht, wenn die Kabel für die Breitbandübertragung voll ausgenutzt werden sollen. Auch schon in der reinen Telefonanwendung war das nicht der Fall, dort stellte sich das Problem aber auch noch nicht, weil die Störungen im niedrigen Frequenzbereich marginal sind und erst mit wachsender Übertragungsfrequenz immer intensiver werden.

Abbildung 2-6: Frequenzbereiche und ihre Nutzung auf Anschlussleitungen



Quelle: Nokia (2005)¹⁹

Abbildung 2-6 zeigt die auf Telefonkabeln heute noch weitgehend üblichen Frequenznutzungen. Neu hinzugekommen sind die Profile 30a und 35b, die den Frequenzbereich bis 30 bzw. 35 MHz nutzen. Viele Übertragungsverfahren haben darauf geachtet, den POTS und ISDN-Frequenzbereich erst gar nicht zu nutzen, so dass hier kein Nebensprechen entstehen kann. Die deutsche Regulierung hat für die VDSL2 (17a) Übertragung darauf geachtet, auch den Bereich bis 2,2 MHz für ADSL2+ und viele darunter liegende herkömmliche Übertragungsverfahren auszusparen und die breitbandige Übertragung erst für den Bereich darüber zuzulassen, so dass sich alt und neu nicht stören. In Österreich ist das nicht der Fall, so dass es dort zu Verdrängungen kommen kann (s. rote Ellipse in Abbildung 2-6).

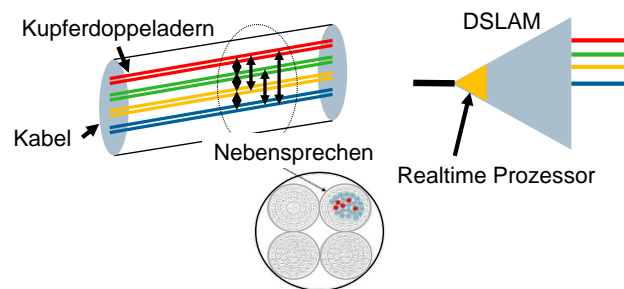
Nicht vermieden werden kann das Nebensprechen zwischen Doppeladern mit gleichen Anwendungen. Wie erwähnt, wird dies in den höheren Frequenzbereichen immer stärker, so dass Anschlusskabel mit VDSL 2 Nutzung nicht voll mit VDSL Anwendungen beschaltet werden können, weil das Nebensprechen zu groß wird. Nicht jeder Kunde könnte mit dieser Technik versorgt werden – oder die Bandbreiten gehen wegen der Störungen dramatisch herunter.

Schnelle Prozessrechenstechnik erlaubt es im Rahmen des technischen Fortschritts aber inzwischen, die Störungen, die die Kupferdoppeladern untereinander ausüben, für jedes gestörte Aderpaar abzuschätzen und dann vom gestörten Nutzsignal wegzunehmen – zu subtrahieren (vgl. Abbildung 2-7). Der DSLAM wird dazu mit einem Vectoring

¹⁹ A.H. Wulf, VDSL Access Options, WIK VDSL Konferenz 2007

Prozessor ausgerüstet, mit dem jeder Port intern verbunden wird. Die Rechenkomplexität der Korrekturrechnungen wächst dabei exponentiell mit der Zahl der Doppeladern, so dass die Zahl der so korrigierbaren Doppeladern derzeit bei 384 liegt. Diese Grösse entspricht typischerweise einem grossen Verzweigerkabel am KVz, so dass die praktischen Anwendungsfälle damit abgedeckt werden können. Ggf. muss ein weiterer DSLAM eingesetzt werden.

Abbildung 2-7: Funktionsweise von Vectoring



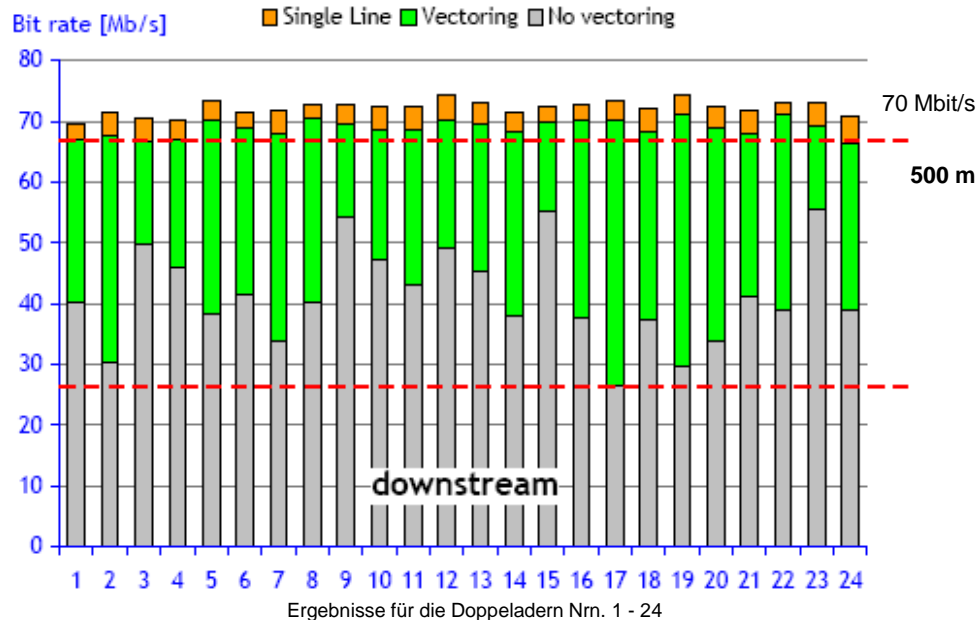
Quelle: WIK

Durch das Vectoring erhält man wieder das bereinigte Nutzsignal. Bereits Abbildung 2-1 und Abbildung 2-5 zeigen die Bandbreitengewinne, die mit Hilfe von Vectoring bei verschiedenen VDSL Profilen erreicht werden können. Abbildung 2-8 zeigt die Wirkung von Vectoring auf die Doppeladern eines Kabels aus 24 Doppeladern. Die grauen Balken zeigen die Bandbreite, die die Doppeladern eines mit VDSL2 (17a) beschalteten Kabels bedingt durch das Nebensprechen haben. Die orangen Balken zeigen die sogenannte Single Line Performance, d.h. die Übertragungsbandbreite der Doppelader, wenn keine weiteren Signale auf das Kabel aufgeschaltet sind. Die Diskrepanz ist recht groß und beschreibt eindrücklich die Bandbreitendegression durch Nebensprechen²⁰. Wird nun Vectoring eingeführt, dann wird das Nebensprechen weitgehend eliminiert und die Doppeladern erreichen nahezu die Single Line Performance. Während zuvor die durch Nebensprechen beeinträchtigten Bandbreiten je Doppelader deutlich variierten und so der eine Nachbar nur 28 Mbps downstream erhielt und ein anderer 55, sind nun alle relativ gleich und über 68 Mbps und damit nahe am Optimum.

²⁰ Die Ohm'sche Dämpfung drückt sich dadurch aus, dass die Single Line Performance nicht mehr 100 Mbps ist, wie sie nach vielleicht 100m Leitungslänge noch wäre, sondern nur noch etwas über 70 Mbps, bedingt durch die 500m Leitungslänge für alle Doppeladern.

Abbildung 2-8: Bandbreitengewinn durch Vectoring auf den einzelnen Doppeladern eines Anschlusskabels bei 500m Länge

- Das Kabel bedient die Kunden gleichermaßen und kann voll ausgelastet werden

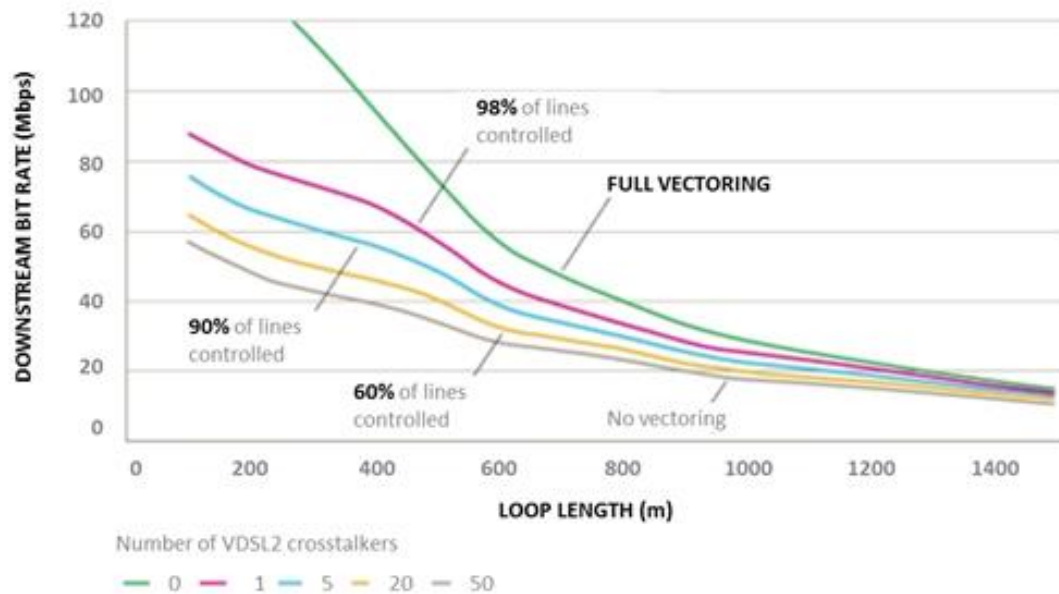


Quelle: Nokia (2011)²¹

Voraussetzung für das Abschätzen der Störungen ist, dass jedes Originalsignal einer Störquelle (das Nutzsignal einer anderen Doppelader) bekannt ist, weil aus ihm der Störanteil abgeleitet und abgeschätzt wird. Zudem müssen die Endgeräte (CPE) am anderen Ende mitwirken bzw. zumindest G.Vector kompatibel sein. Ist das nicht der Fall, gibt es unbekannte Störungen, die die Übertragungsleistung weiterhin beeinträchtigen (vgl. Abbildung 2-9). Bereits 1 Störer (s. violette Linie) führt zu einem signifikanten Einbruch der Übertragungskapazität.

²¹ Frank van der Putten, Alcatel Lucent, Answer to BIPT 18.02.2011; Alcatel ist heute ein Teil von Nokia.

Abbildung 2-9: Bandbreitendegression durch nicht ins Vectoring eingebundene Anschlussleitungen



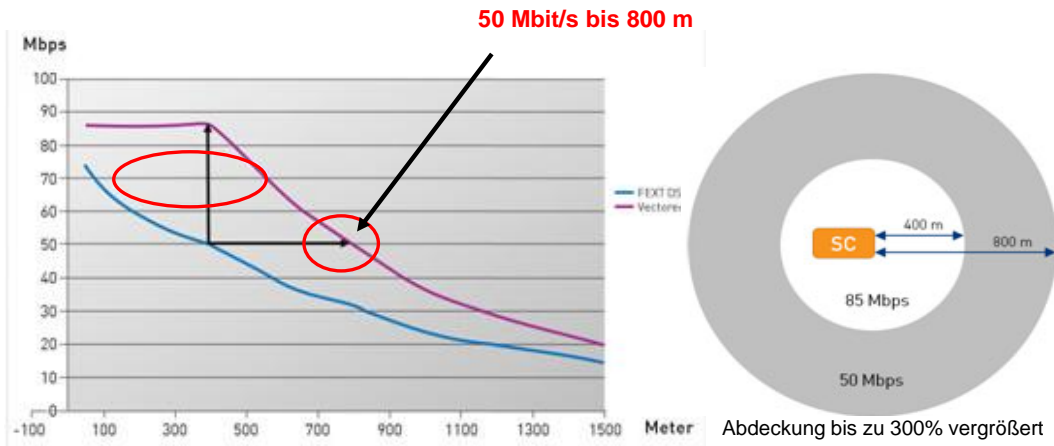
Quelle: Nokia (2012)

Im Grundsatz ist mit Vectoring die Single Line Performance einer ungestörten Übertragung weitgehend wiederherstellbar (vgl. auch Tabelle 2-1). Vectoring korrigiert jedoch nur die vorhersehbaren Störereignisse aus demselben Übertragungssystem, nicht jedoch die zusätzlich auftretenden elektromagnetischen Interferenzen aus der Umgebung, sei es durch Strassenverkehr (z.B. Strassenbahnen) oder elektrische Geräte und Anlagen innerhalb der Gebäude.

Vectoring kann den relativen Abstand der Asymmetrie zwischen Upstream und Downstream verringern helfen, aber nicht grundsätzlich abstellen, weil es am Design des zugrundeliegenden Übertragungsverfahrens nichts ändert.

Abbildung 2-10: Reichweitenverlängerung durch Vectoring

Über größere Entfernungen höhere Bandbreite



Quelle: WIK/ ECI Telecom (2012)

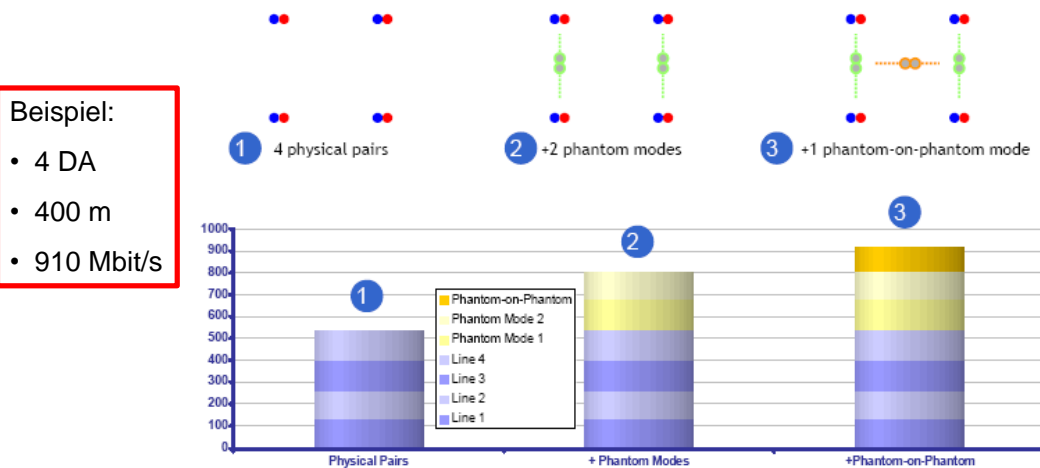
Vectoring wirkt insbesondere auch Reichweiten verlängernd für die hohen Bandbreiten, wie dies Abbildung 2-10 zeigt. Dort ergibt sich eine Verdoppelung der Reichweite für eine Bandbreite von mehr als 50 Mbps, aber eine Vergrößerung der abgedeckten Fläche und typischerweise auch eine Vergrößerung der erreichbaren Haushalte von ca. 300%.

Zwei Ergänzungen zur Vergrößerung der Bandbreite sollen hier noch angeführt werden, die insbesondere im Kontext mit Vectoring ihre Bedeutung haben, die allerdings nach unserer Kenntnis bisher im Markt keine besondere (ergänzende) Verbreitung gefunden haben. Es ist dies zum ersten **Bonding**, bei dem zwei Doppeladern zum selben Endkunden parallel genutzt werden und so die Bandbreite nahezu verdoppelt wird. Auch hier hilft Vectoring, das Nebensprechen zu eliminieren. Das zweite Verfahren setzt auf dem Bonding auf und nutzt zunächst mal zwei oder mehr parallele Doppeladern. Zwischen jeweils zwei von diesen werden nun zusätzlich Differenzsignale für einen weiteren virtuellen Übertragungskanal aufgeschaltet. Wegen dieser zusätzlichen virtuellen Kanäle wird das Verfahren auch **Phantoming** genannt. Auch zwischen zwei dieser virtuellen Kanäle kann jeweils auch wieder ein virtueller Kanal etabliert werden usw. Die Bandbreite im Beispiel aus Abbildung 2-11 beträgt im Ergebnis 900 Mbps über 400m bei 4 Doppeladern.

Abbildung 2-11: Phantoming summiert parallele physische und virtuelle Kanäle zu einer Gesamtkapazität

Phantoming:

- baut auf Bonding auf
- zusätzliche Kommunikationskanäle zwischen allen Kombinationen von durch Bonding zusammengefassten Doppeladern (plus Phantom on Phantom)
- benötigt **Vectoring**, um vollen Bandbreitengewinn zu erzielen



Quelle: Nokia, Cebit 2011

Voraussetzung für Bonding und Phantoming ist, dass ausreichend Doppeladern zwischen dem KVz bzw. HVt und dem Endkundenstandort zur Verfügung stehen. Zudem werden in den DSLAMs geeignete Ports benötigt, die das Zusammenführen aller Kanäle, der virtuellen wie der parallelen physischen Kanäle (Doppeladern) umsetzen. Grundsätzlich eignet sich dieser Ansatz daher nicht für den Massenmarkt, aber sicher in ausgewählten Gebieten mit ausreichend Doppeladern und einer beschränkten Zahl dies nachfragender Kunden, z.B. Geschäftskunden.

Der Zugriff auf alle Kupferdoppeladern in einem Kabel, den Vectoring verlangt, bedeutet, dass es eine physische Entbündelung an den Standorten, an denen Vectoring eingesetzt werden soll, nicht mehr geben kann. Theoretisch könnten zwar Wettbewerber ihre Vectoring DSLAMs kollozieren und die notwendigen Korrekturinformationen aus den eigenen Doppeladern mit den/dem anderen Betreiber(n) austauschen²², aber einen entsprechenden Standard der Systemhersteller dazu gibt es trotz mehrjähriger Bekundungen der Hersteller und der Regulierer immer noch nicht und dieser ist auch nicht in Sicht. Zudem gibt es harte technische Hürden für die Kollokation. Die Verbindungen zwischen den Ports und den Vectoring-Prozessoren verlangen Echtzeitbedingungen,

²² Ein solches Verfahren wird auch Node Level Vectoring genannt.

die sich schon auf das Verbindungskabel auswirken bzgl. Medium und maximalem Abstand der DSLAMs zueinander²³.

Es gibt unterschiedliche Ansätze für den regulatorischen Umgang mit der Anforderung nach exklusivem Zugang nur eines Netzbetreibers zu den Doppeladern eines Anschlusskabels bzw. zum DSLAM Standort z.B. am KVz. Dies auszuführen würde den Rahmen der Studie sprengen. Vielmehr verweisen wir auf einschlägige Veröffentlichungen.²⁴ Für den Fall, dass einem Netzbetreiber Exklusivität für den Ausbau eines KVz-Standortes zugesprochen wird, wird diesem im Rahmen des Geltungsbereiches der TK-Regulierungen der Europäischen Union die Bereitstellung eines Virtuellen Entbündelten Teilnehmerzugangs²⁵ auferlegt, der den Produktgestaltungsmöglichkeiten und -freiheiten für den Zugangsnachfrager möglichst nahe kommt²⁶. Hierbei ergeben sich viele technische und betriebliche Restriktionen, denn der Zugangsnachfrager ist immer auf die Qualität und die Produkteigenschaften des Vorleistungsproduktes angewiesen. Auch diese Aspekte würden den Rahmen dieser Studie sprengen²⁷.

Abbildung 2-12 zeigt mit der blauen Kurve den Frequenzverlauf für VDSL2 Profile 35b ohne Vectoring. Sie zeigt damit auch, wie speziell beim Profil 35b höhere Bandbreiten erreicht werden können, ohne das Vectoring Verfahren einsetzen zu müssen – mit Vectoring sind die Bandbreiten jedoch noch höher. Insofern muss die erzielbare Bandbreite gegen den Verzicht auf Wettbewerb abgewogen werden.

23 Es wird von maximalen Abständen von weniger als 2 m gesprochen. Das ist für eine Outdoor Kollokation zu gering.

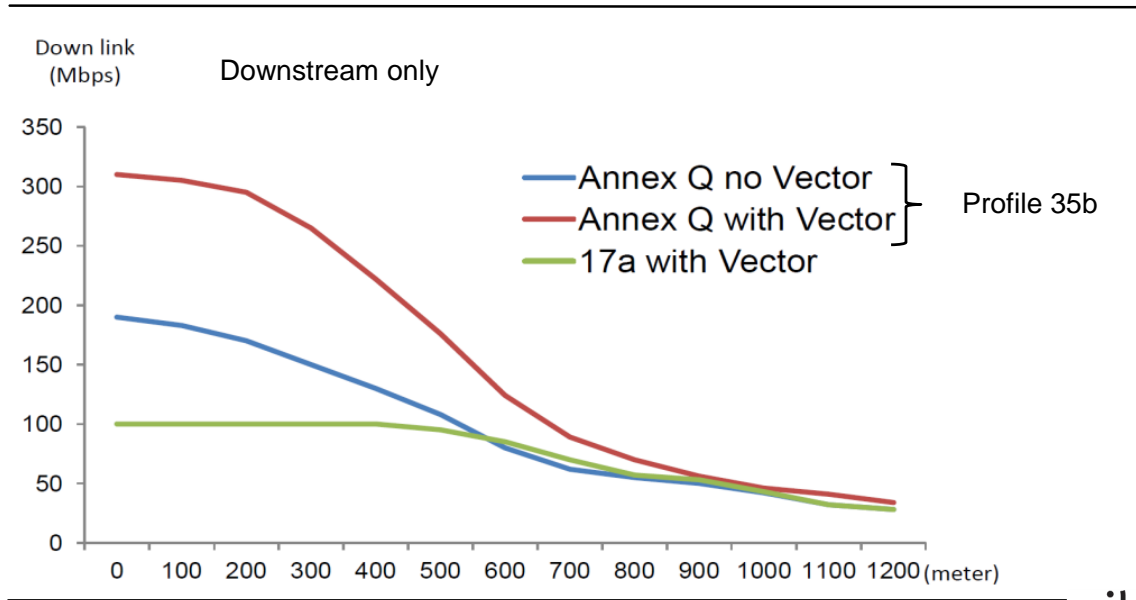
24 Plückebaum et al. (2014)

25 VULA, Virtual Unbundled Local Access

26 EU-Märkteempfehlung 2014 und zugehöriges Staff Working Dokument.

27 Vgl. Kroon et al. (2017).


Abbildung 2-12: Bandbreiten von VDSL Profil 17a und 35b im Vergleich (Annex Q = Profil 35b)



Quelle: Huawei 2015

Die wesentlichen Vorteile und Nachteile lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Abbildung 2-13: Vorteile von Vectoring und sein Nachteil

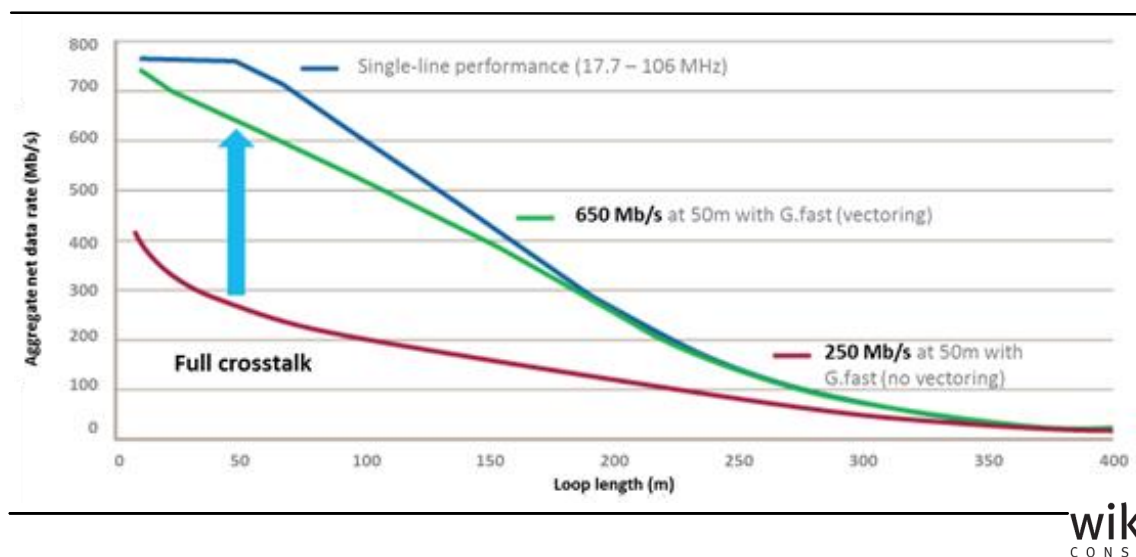
VDSL	VDSL Vectoring erhöht die Bandbreite je Kunde und verringert den Abstand Up-/ Downstream Es erfüllt die DAE Targets (30 Mbit/s)
VDSL	Vectoring erlaubt, die Anschlusskabel höher auszulasten (bis 100% Beschaltungsgrad bei voller Bandbreite)
VDSL	VDSL Vectoring erlaubt annähernd gleiche Dienste für Kunden gleichen Abstandes vom KVz
VDSL	Vectoring verlängert die Reichweite der Anschlussleitungen, z.B. für 50 Mbit/s Dadurch deutlich überproportionales Wachstum der erreichbaren Kunden (πr^2)
(VDSL-Signale*, die nicht ins Vectoring einbezogen werden, verringern die Vorteile signifikant,	
	Vectoring verlangt, dass alle Doppeladern mit demselben DSLAM eines einzigen Betreibers verbunden werden)

(DAE: Digitale Agenda der EU)

2.3.3 FTTS G.fast

G.fast²⁸ arbeitet nach ähnlichen Prinzipien wie VDSL2 Vectoring. Es arbeitet in einer ersten Version im Frequenzbereich bis 106 MHz, in einem weiteren Schritt bis 212 MHz. Seine Übertragungsbandbreite kommt in der Summe von Up- und Downstream auf ca. 1 Gbps. Die Aufteilung der Übertragungsrichtungen ist je DSLAM (ONU²⁹) frei einstellbar. So kann ein Betreiber sukzessive der zunehmend symmetrischeren Bandbreitennachfrage nachkommen.

Abbildung 2-14: Vectoring Gewinn bei G.fast



Source: Nokia (2013)

Abbildung 2-14 belegt, dass einerseits zur Erzielung hoher Bandbreiten Vectoring erforderlich ist, andererseits der Vectoring Gewinn nur über kurze Reichweiten hält und schon bei 200m auf das Niveau von VDSL Vectoring abgesunken ist. Es handelt sich daher um eine typische FTTB-Technologie, allenfalls noch für FTTS, also kurz vor den Kundengebäuden einsetzbar. Dies bedeutet, dass das FTTS Glasfasernetz vom HVt ggf. über die KVz hinaus bis kurz vor die Gebäude ausgebaut werden muss. Genauer beschreibt dies noch der Vergleich der Bandbreiten von G.fast mit VDSL Vectoring Profil 35b und 17a in Abbildung 2-15.

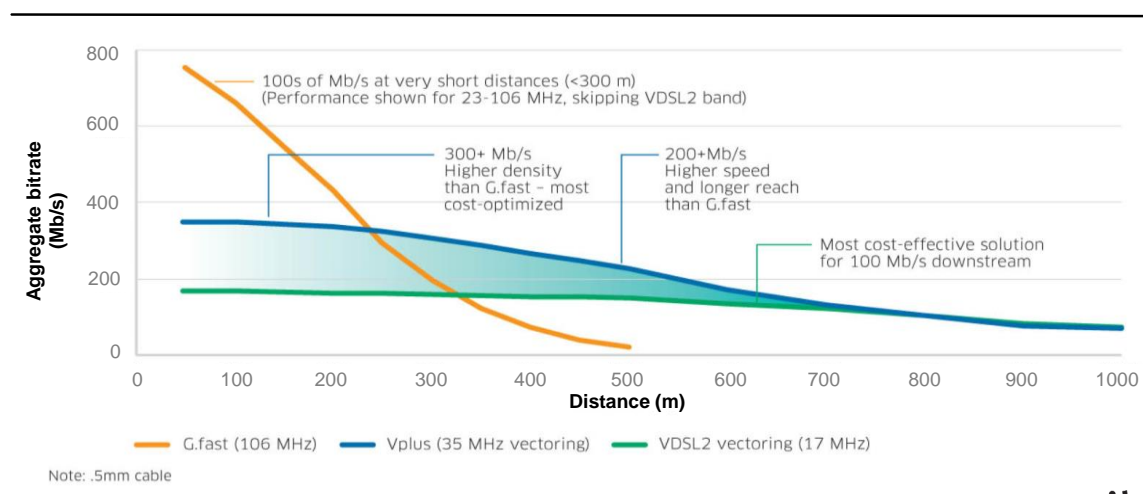
In realen FTTB Installationen kann G.fast bei einer Inhausverkabelung aus sternförmig geführten, geschirmten Kat 6 Doppeladern ohne Vectoring auskommen, weil es bei dieser Topologie und Kabeltechnik so gut wie kein Nebensprechen gibt. Eine solche Verkabelung findet man in modernen Büro- und Privatwohnhäusern vor. Sie entspricht seit Mitte der 90er Jahre dem Stand der Technik. Inwieweit eine solche Verkabelung in der Schweiz verbreitet ist oder ob sie verpflichtend ausgebaut werden muss und seit

²⁸ ITU-T G.7900, 2014

²⁹ Optical Network Unit

wann entzieht sich unserer Kenntnis. Im Allgemeinen und bei den überwiegend noch nicht geschirmten Gebäudeverkabelungen wird zur Vermeidung von Nebensprechen Vectoring benötigt. Je höher die Frequenzen, desto intensiver wird das Nebensprechen und desto aufwändiger werden die Schätz- und Rechenverfahren. Für das volle Frequenzspektrum bis 212 MHz werden mehrere Schätzverfahren für die unterschiedlichen Frequenzbereiche benötigt. Dies erhöht den Rechenaufwand deutlich und verringert die Zahl korrigierbarer Ports. Diese Restriktion hat praktisch keine Auswirkung, weil die Grösse der ONU gleichfalls beschränkt ist.

Abbildung 2-15: Bandbreiten von G.fast, VDSL Profil 35b und 17a im Vergleich über die Anschlussleitungslänge



Quelle: Nokia (2014)³⁰

Der DSLAM bzw. die G.fast ONU hat eine maximale Baugrösse von 48 Teilnehmeranschlüssen. Es gibt jedoch auch kleinere Größen. Seine Energieversorgung erfolgt typischerweise über die Kundengebäude (reverse powering). Somit entfallen teure separate Stromanschlüsse an die ONU-Standorte durch die EW³¹, wie sie bei FTTC VDSL erforderlich sind. Die Elektronik ist entweder in kleinen Schränken oder in bereits existierenden Schächten vor den Kundengebäuden untergebracht. Nach Pilotversuchen in Bibern hat Swisscom im Oktober 2016 den ersten kommerziellen FTTS Ausbau mit G.fast angekündigt³².

³⁰ <https://insight.nokia.com/vplus-gets-more-out-vdsl2-vectoring>

³¹ Elektrizitätswerke, öffentliche Stromversorger.

³² Swisscom, "Swisscom to be the first European telecommunications service provider to launch G.fast", 18 October 2016, <https://www.swisscom.ch/en/about/medien/press-releases/2016/10/20161018-MM-Gfast.html>.

2.3.4 FTTB XG.fast

In den Ankündigungen zum nächsten Erweiterungsschritt XG.fast wird der Frequenzbereich bis 500 MHz erweitert. Dem folgend soll die Übertragungsbandbreite 10 Gbps (Summe) erreichen. Diese kann nur bei Übertragungslängen von 50 – 100m erreicht werden. XG.fast ist daher eine typische FTTB Technologie. Die Marktreife von XG.fast wird nicht vor dem Jahr 2020 erwartet. Auch XG.fast basiert auf Vectoring zur Eliminierung des Nebensprechens, wenn die Art und Struktur des Inhausnetzes diese erfordern (s. G.fast, Abschnitt 2.3.3).

Tabelle 2-2 gibt einen Überblick über die auf dem Markt befindlichen kupferdoppeladerbasierten Teilnehmeranschlusstechniken für die breitbandige Übertragung.

Tabelle 2-2: Vergleich aller kupferbasierten breitbandigen Übertragungstechniken des Anschlussnetzes

	Frequenz	Max. DS Rate	Max. US Rate	Standardisiert in Jahr
ADSL	1.1 MHz	8 Mbps	1 Mbps	1999
ADSL2	2.2 MHz	12 Mbps	2 Mbps	2002
ADSL2+	2.2 MHz	25 Mbps	1 Mbps	2003
VDSL	12 MHz	55 Mbps	19.2 Mbps	2004
VDSL2	8.8 – 30 MHz	150 Mbps (aggregiert DS + US)		2006
VDSL2 (17a Vectoring)	17.7 MHz	150 Mbps (aggregiert DS + US)		2010
VDSL (35b Vectoring)	35.3 MHz	350 Mbps (aggregiert DS + US)		2015
G.fast 106 MHz	106 MHz	1 Gbps		2014
G.fast 212 MHz	212 MHz	2 Gbps		2016
XG.fast	500 MHz	10 Gbps		Erwartet 2020

Quelle: Kroon et al. (2017)

2.3.5 FTTH P2P

Glasfaser Punkt-zu-Punkt (PtP, P2P) ist die einfachste und am meisten zukunftsorientierte Anschluss technik auf dem Markt. Sie ist bereits seit mehreren Jahrzehnten etabliert und ausgereift. Zwischen jedem Endkunden und dem zentralen optischen Verteiler (ODF: Optical Distribution Point) gibt es ein individuelles Faserpaar (im Fall der gerichteten Übertragung, für jede Richtung eine Faser; dies erlaubt preiswertere Sender und Empfänger) oder eine einzelne individuelle Faser (im Fall der bidirektionalen Übertragung: Sender und Empfänger für beide Richtungen in einem Bauelement integriert, aufwändiger, aber inzwischen auch Massenmarkt).

Auf der Seite beim Endkunden steht typischerweise ein Router mit Glasfaseranschluss an einem Ethernet Port, auf der zentralen Seite beim ODF steht ein Ethernet Switch mit

Multi-Port Schnittstellenkarten. Die Geschwindigkeit einer solchen Anschlusskonfiguration beträgt wahlweise und nach Ausrüstung der Portkarten zwischen 1 – 100 Gbps, wobei der Verkehr in beiden Richtungen symmetrisch, d.h. gleich gross sein kann. Technologische Grenzen für die Bandbreite einer Glasfaser-Anschlussleitung gibt es nicht. Bei Bedarf könnte sie über Wellenlängen-Multiplex in ihrer Kapazität vervielfacht werden (bei DWDM³³: bis zu Faktor 160, bei 160 Wellenlängen). Der Einsatz separater Wellenlängen-Multiplexer ist jedoch eine nur theoretische Option für die Zukunft, denn derzeit sind die Kapazitäten mit einer Bandbreite von 100 Gbps symmetrisch je Teilnehmeranschluss noch längerfristig mehr als ausreichend (vgl. Abschnitt 2.1, Abbildung 2-3).

Der große Vorteil einer Ethernet Anschlussnetz-Infrastruktur ist ihre Flexibilität im Bedienen aller Endkunden individuell mit der Bandbreite ihres Bedarfs, ohne dass eine Technologie gewechselt oder aufgerüstet werden müsste. Das Netz wächst einfach individuell mit dem Bedarf der Endkunden und hat ein hohes Mass an Flexibilität und in der Skalierung nach unten oder oben. Insofern besteht kein Risiko, dass die eingesetzten Systeme vorzeitig vor Ablauf ihrer betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer ausgetauscht werden müssten, weil sie technologisch veraltet sind oder kapazitativ nicht mehr mit dem Bedarf Schritt halten können. Eine solche Infrastruktur behindert auch keine Kunden in ihrer Bedarfsentwicklung, weil die erforderliche Basis-Infrastruktur der Glasfaser bereits vor Ort existiert, während sie in anderen Fällen erst errichtet werden müsste und dies nicht kundenindividuell und punktgenau erfolgen kann, sondern anderen, großflächigeren Ausbauregeln und Prioritäten folgen muss. Die Verteilung des Endkundenbedarfs in der Fläche richtet sich aber nicht nach dem Angebot von Infrastrukturen, sondern kann durch ein begrenztes Angebot eher behindert und geschäftliche Potentiale volkswirtschaftlicher Natur können behindert, in ihrer Entwicklung und Kreativität zeitlich verzögert oder ganz unterdrückt werden.

2.4 Kabelnetztechnologien

Die grundsätzlichen Charakteristika von Koaxialkabeln haben wir bereits in Abschnitt 2.2.1 erläutert. Wesentlicher Unterschied zu den Kupferkabeln ist, dass es sich bei ihnen besonders im Teilnehmeranschluss um ein Shared Medium handelt. Das entspricht der ursprünglichen Intention, Radio- und TV-Signale an viele Teilnehmer gleichermassen in einem Masskanal zu verteilen. Auf das eine Leiterpaar (innen und ausen) greifen alle dort angeschlossenen Teilnehmer zu. Für die mit DOCSIS³⁴ umgerichtet nutzbare Frequenzen für die bidirektionale Kommunikation (Up- und Downstream) erweiterten Bereiche gilt auch, dass alle in einem Koaxialkabelsegment angeschlossenen Teilnehmer gemeinsam auf das Übertragungsmedium zugreifen und sich die Bandbreite teilen müssen. Hierfür gibt es für jedes derartige Segment ein zent-

³³ Dense Wave Division Multiplex

³⁴ Data Over Cable Service Interface Specification, beginnend mit Release 1.0.

rales Koordinationssystem, das den Zugriff der einzelnen Parteien grundsätzlich und die ihr für eine bestimmte Zeit zugewiesene Kapazität und Qualität im Upstream zuweist und auch für den Downstream die Teilnehmer adressiert und den Datenverkehr koordiniert und qualitativ kontrolliert. Dieses System, das CMTS³⁵, kommuniziert dazu mit den bei den Teilnehmern das Koaxialnetz abschließenden Kabel-Modems, die die TV-Signale auf Koaxialports und den Telekommunikationsverkehr (Internet und Telefonie) auf entsprechenden Schnittstellen³⁶ zugänglich machen.

Die Koaxialkabelnetze bestehen in der Regel aus Radio Head-End Systemen an zentraler Stelle, an denen die Radio- und TV-Signale in das Kabel-TV Festnetz eingespeist werden, zum anderen aus den dort gleichfalls angesiedelten CMTS. Ein Frequenzmischer bringt die Signale zusammen und überträgt sie heute typischerweise zunächst über Glasfaser bis zu sogenannten Fibre Nodes (Fibre Hubs), in denen die optischen in elektrische Signale zur Übertragung über die Koaxialkabelnetze gewandelt werden. Für die Upstream Kommunikation müssen dort auch die elektrischen Signale auf den Koaxialkabeln in optische gewandelt und zum CMTS übertragen werden. Erst nach dem Fibre Node beginnt damit das Shared Medium.

Auch für die Koaxialkabel gilt das Ohm'sche Gesetz und die damit verbundene Dämpfung, die mit Hilfe von elektrischen Verstärkern überwunden wird. Für die Kommunikation mit DOCSIS müssen die Verstärker in beiden Übertragungsrichtungen die entsprechenden Frequenzbereiche auffrischen. Über längere Distanzen werden wiederholt Verstärker benötigt. Jeder Verstärker braucht eine elektrische Energieversorgung, um seine Arbeit verrichten zu können. Die Verstärker sind typischerweise in kleinen Schränken am Strassenrand oder in Schächten untergebracht.

Eine Option zur Kapazitätserweiterung von Koaxialkabelnetzen besteht darin, die Zahl der Teilnehmer pro Koaxialkabelsegment zu verringern. Während es in den Anfangszeiten der DOCSIS Architektur oft mehrere tausend Teilnehmer in einem solchen Segment geben konnte (klassisches HFC-Netz³⁷), wurden durch sogenanntes Fibre-Node-Splitting die Koaxialkabelsegmente in kleinere Einheiten untergliedert. Von einer Deep-Fibre Architektur spricht man bei ca. 100 Teilnehmern je Fibre Node. Dazu muss die Glasfaser in viele Fällen auch weiter in das Netz in Richtung Teilnehmer ausgebaut werden. Die Menge der benötigten Verteiler verringert sich entsprechend. Wenn die Glasfaser auch in kleineren Wohneinheiten oder gar in jeder Wohnung angekommen ist, wo sie dann von kleinen Fibre Nodes abgeschlossen wird, spricht man auch von einer RFoG³⁸-Topologie (vgl. Abbildung 2-16). Dann muss sich der Teilnehmer die Bandbreite mit nur noch wenigen Teilnehmern (1-4) teilen, allerdings muss das Netz als FTTB oder FTTH-Netz ausgelegt werden und benötigt dazu erhebliche Investitionen.

35 Cable Modem Termination System.

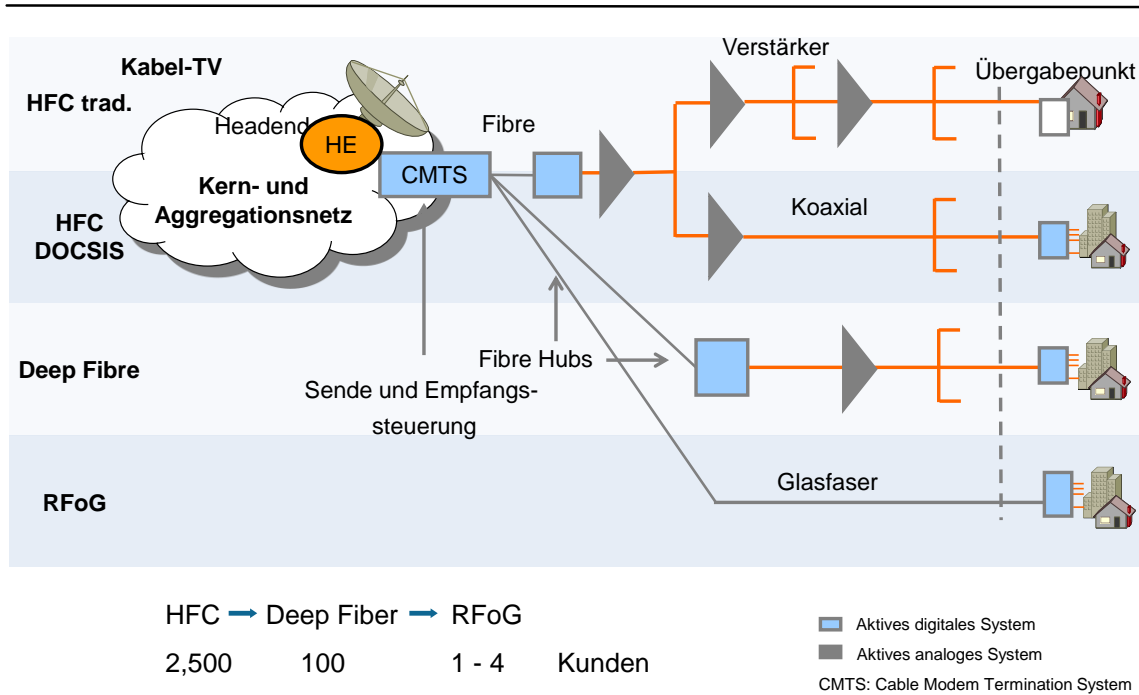
36 Heute typischerweise Ethernet und VoIP, ältere Modems unterstützen auch direkt analoge PSTN- und ISDN-Schnittstellen für die Telefonie. Oft wird heute auch ein WLAN Zugang und ggf. DECT Schnurlos-Telefonie angeboten.

37 Hybrid Fibre Coax.

38 Radio Frequency over Glas.

Der Vorteil beim Nachrüsten eines bestehenden Kabel-TV Netzes besteht bei dieser Methode darin, dass punktuell nachfragebezogen die Kapazität erweitert werden kann und jedenfalls keine Umbaumaassnahmen für das gesamte Netz innerhalb kurzer Zeit erforderlich werden.³⁹

Abbildung 2-16: Kabel TV Netz und Fibre Node Splitting



Quelle: WIK

Die folgenden Abschnitte beschreiben daher, ausgehend von der heute typischerweise in der Schweiz ausgebauten DOCSIS 3.0 Architektur, weitergehende kapazitäts-erweiternde Massnahmen im Frequenz- und damit Bandbreitenbereich auf elektro-nischer Seite, ohne unmittelbar in Tiefbauinvestitionen gehen zu müssen.

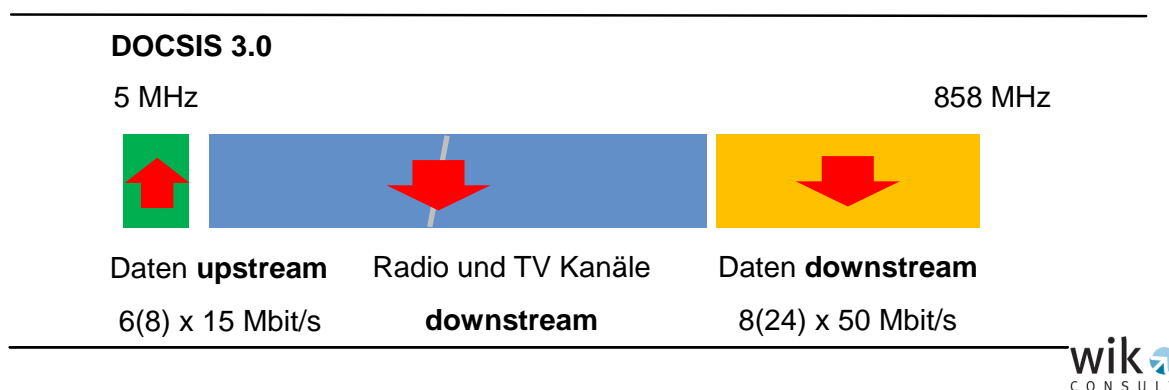
2.4.1 DOCSIS 3.0

DOCSIS 3.0 sieht den Frequenzbereich von 5 – ca. 858 MHz für die Übertragung von Daten (incl. Telefonie) sowie Radio- und TV Signalen vor. Typischerweise ist der untere Frequenzbereich für die (individuelle) Upstream Kommunikation vorgesehen. Dies macht den Bau entsprechend gerichteter Verstärker einfacher, als diese für einen ir-gendwo gelegenen Kanal im Mittelfeld oder am oberen Rand des Frequenzspektrums auszulegen. Der Downstream-Verstärker muss dann für den darüber gelegenen zu-sammenhängenden Downstream-Bereich ausgelegt werden. Dies macht ein Verschie-

³⁹ Vgl. auch Jay et al. (2013).

ben der Grenze zwischen Radio/ TV- und dem Datenbereich zu einem späteren Zeitpunkt einfacher und zu niedrigeren Kosten gestaltbar. Im unteren Upstream-Bereich sind bis zu 8 Frequenzblöcke für 15 Mbps, insgesamt also 120 Mbps vorgesehen. In der anderen Richtung kommen wir für die Datenkommunikation downstream auf maximal 24 Frequenzblöcke für je 50 Mbps, d.h. auf insgesamt 1,2 Gbps (vgl. Abbildung 2-17). Das Verhältnis upstream:downstream beträgt also 1:10. Ein solch asymmetrischer Bedarf wird heute in der Regel nicht nachgefragt, so dass ein Teil der Downstream Kapazität entweder nicht genutzt wird/ brachliegt, oder für andere, zusätzliche TV-Kanäle genutzt werden kann.

Abbildung 2-17: Typische Frequenzbelegung bei DOCSIS 3.0



Quelle: WIK

Die Kapazität des Radio- und TV-Kanal-Bereiches steht immer im Wettstreit mit der Bandbreite für die Datenkanäle. Analoge Kanäle brauchen mehr Bandbreite als digitale Kanäle. Das gilt für Radio und TV gleichermassen. Natürlich spielt auch die Zahl der Kanäle, die insgesamt übertragen werden sollen, eine Rolle. Selten gesehene Spartenkanäle werden ggf. besser als IP-Streaming on Demand übertragen als allen Kunden im TV-Kanalbündel zur Verfügung zu stehen. So spielt also die Marktstrategie im Auftritt der Kabel-TV Welt auch eine Rolle bei der Kapazität oder Bandbreite der Datenkanäle.

Tabelle 2-3: DOCSIS 1.0 bis 3.0 in der Übersicht

	DOCSIS 1.0	DOCSIS 1.1	DOCSIS 2.0	DOCSIS 3.0
Highlights	Initial cable broadband technology	Added voice over IP service	Higher upstream speed	Greatly enhances capacity
DS Kapazität	40 Mbps	40 Mbps	40 Mbps	1 Gbps
US Kapazität	10 Mbps	10 Mbps	30 Mbps	100 Mbps
Produktiv-Datum	1997	2001	2002	2008

Quelle: CableLabs (<https://www.cablelabs.com/full-duplex-docsis/>)

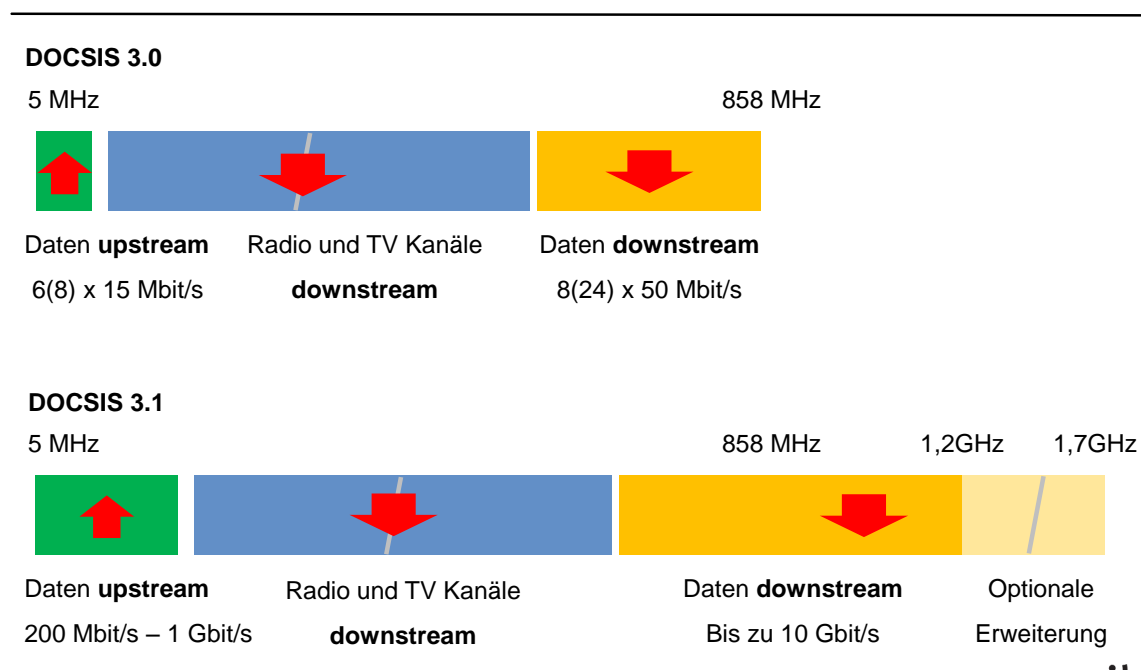
Eine Überblick über die Entwicklung von DOCSIS 1.0 bis 3.0 gibt Tabelle 2-3.

2.4.2 DOCSIS 3.1

Bei DOCSIS 3.1, das 2013 standardisiert wurde, wurde der Frequenzbereich insgesamt auf aktuell 1,2 GHz und optional für spätere Nutzung auf 1,7 GHz erweitert. Upstream werden dadurch bis zu 1 Gbps im mit anderen geteilten Kanal möglich und Downstream 10 Gbps. Sofern die Verstärker im Feld die neuen Frequenzbereiche für ihre Richtungen noch nicht unterstützen, müssen sie überall dort, wo hochgerüstet werden soll, ausgetauscht werden. DOCSIS 3.1 fähige Kabelmodems sind bereits seit 2016 auf dem Markt verfügbar. Sie werden bei Neuanschlüssen oder Systemupgrades/ Reparaturaustausch heute schon eingesetzt, weil sie abwärts kompatibel sind und der spätere Austausch und Wechsel keine ganz so große Hürde mehr darstellt.

Abbildung 2-18 zeigt eine typische Frequenzbelegung von DOCSIS 3.0 und 3.1 im Vergleich.

Abbildung 2-18: Typische Frequenzbelegung von DOCSIS 3.0 und 3.1 im Vergleich



Quelle: WIK

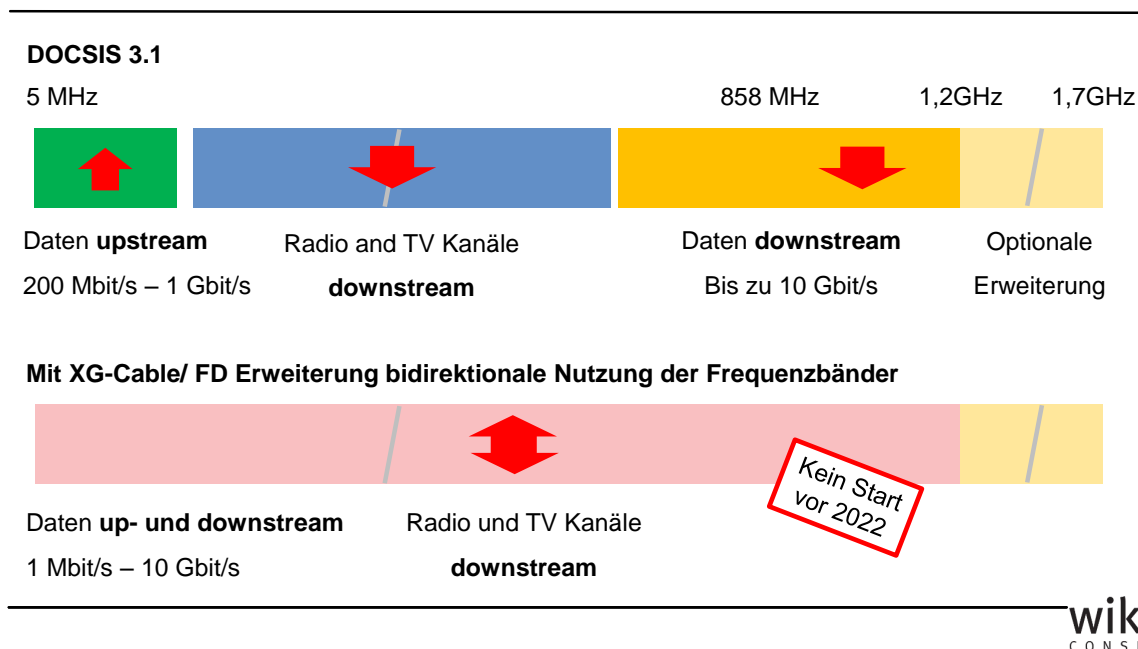
2.4.3 DOCSIS 3.1 FD

Für den nächsten Entwicklungsschritt ist von den Cable Labs und nahezu parallel von Nokia's Bell Labs angekündigt, DOCSIS 3.1 um die Möglichkeit zu erweitern, über den vollen Frequenzbereich auch upstream kommunizieren zu können.

Wenn im selben Frequenzbereich upstream und downstream kommuniziert wird, tritt das Problem von Echos auf, denn die Kabelmodems empfangen im selben Frequenzbereich, in dem sie auch senden. Zudem gibt es den Effekt des Nebensprechens benachbarter Kabelmodems. Diese Effekte gilt es zu unterdrücken. Dazu müssen die Fibre Nodes nahe zu den Teilnehmern hin (deep fibre oder mehr) ausgebaut und die Kabelmodems erweitert oder gar erneuert werden, denn sie senden nun upstream über die volle Frequenzbandbreite. Zudem benötigen sie Echo-Unterdrücker oder vergleichbares Equipment, ähnlich den Vectoring-Erweiterungen an den ONU und CPE bei G.fast und XG.fast⁴⁰. Sofern Verstärker noch in der Strecke benötigt werden, muss auch bei diesen der Upstream-Kanal auf die volle Bandbreite ausgebaut werden. Ebenso müssen die CMTS ausgetauscht werden.

Das Glasfasernetz muss auf eine Deep Fibre oder RFoG Topologie hin erweitert werden. Wieviel zusätzliche Investitionen hierfür erforderlich sind, richtet sich im Wesentlichen danach, wieviel davon schon für Fibre-Node-Splitting bereits zuvor investiert worden ist.

Abbildung 2-19: Typische Frequenzbelegung bei DOCSIS 3.1 FD/ XG-Cable



Quelle: WIK

Im Ergebnis kann man festhalten, dass die Entwicklung der Kapazitätserweiterungen bei DOCSIS stärker nachfrageorientiert erfolgen kann als bei den FTTx Netzstrukturen, aber insgesamt sind schon einige Systemwechsel sowie ein zumindest FTTS orientierter Glasfaserausbau über die Zeit erforderlich.

⁴⁰ Im Fall von XG.Cable von Nokia.

Derzeit befinden sich die Systemhersteller und Standardisierungsgremien in der Abstimmung der genaueren technischen Spezifikation. Die grundsätzliche Machbarkeit ist gegeben. Nokia mit XG-Cable und die Cable Labs mit ihrem weniger konturierten Ansatz für FD müssen sich auf einen gemeinsamen, erfolgversprechenden Lösungsweg einigen. Dies braucht Zeit, so dass die Experten des Marktes von einer Marktverfügbarkeit nicht vor 2022 ausgehen.

Tabelle 2-4 gibt noch einmal einen Überblick über die breitbandigen Kabel-TV Technologien.

Tabelle 2-4: Übersicht über die wesentlichen Merkmale von DOCSIS 3.0 – 3.1 FD/ XG-Cable

	DOCSIS 3.0	DOCSIS 3.1	Full Duplex DOCSIS 3.1	XG-Cable
Highlights	Grosse Kapazitätserweiterung	Kapazitäts und Effizienzverbesserungen	Symmetrische Datenraten	Symmetrische Datenraten
DS Kapazität	1 Gbps	10 Gbps	10 Gbps	10 Gbps
US Kapazität	100 Mbps	1-2 Gbps	10 Gbps	10 Gbps
Produktiv Datum	2008	2016	Nicht vor 2022	Nicht vor 2022

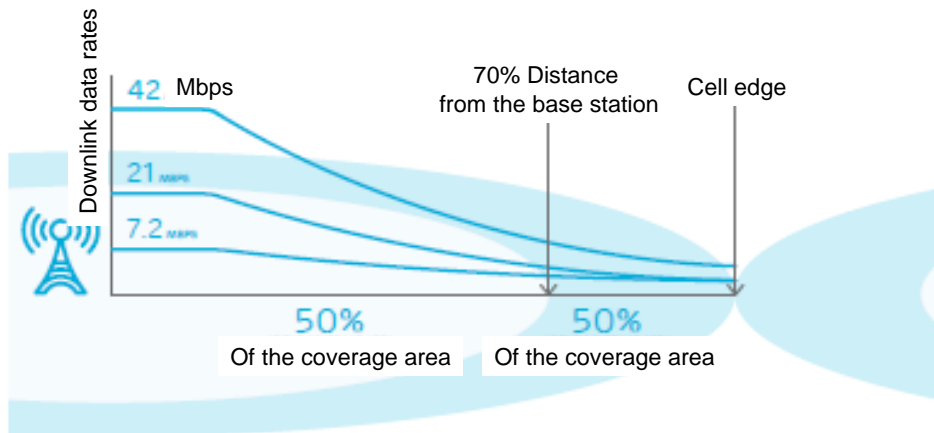
Quelle: WIK

2.5 Mobilfunktechnologien

Die dem Stand der Technik entsprechende Mobilfunktechnik für die breitbandige Datenkommunikation ist LTE (Mobilfunk der 4. Generation), die zum ersten Mal vollständig auf eine paketvermittelte Datenkommunikation aufsetzt, auch für die Sprache (mit VoIP). LTE entwickelt sich permanent über neuer Release-Stände (derzeit aktuell Release 14) weiter über LTE advanced hin zu Netzen der 5. Generation (5G), die sich anschließend auch wieder über verschiedene Release-Stände hinweg weiter entwickeln werden. Dabei steht LTE derzeit nicht alleine im Netz, sondern wird immer noch flächendeckend von Netzen der 2. (GSM) und 3. Generation (UMTS) an nahezu allen Basisstationsstandorten (hybrid) begleitet. Diese alten Komponenten der eher leitungsvermittelten Kommunikation übertragen derzeit ganz überwiegend den Sprachverkehr, für den sie in der Vergangenheit optimiert wurden und für den sie immer noch gut geeignet sind. Diese Vorgehensweise erlaubt zudem, die Lebensdauern der alten Technologien möglichst effizient auszunutzen. Auf Dauer werden diese verschwinden und durch LTE oder höherwertige Techniken ersetzt, die in den alten oder in neu vergebenen Frequenzbereichen arbeiten werden.

Für die breitbandige Übertragung im Mobilfunk ergibt sich regelmäßig das Phänomen, dass die Teilnehmer am Zellrand wegen der geringeren spektralen Dichte des Funknetzes auch geringere Bandbreiten empfangen können (Abbildung 2-20).

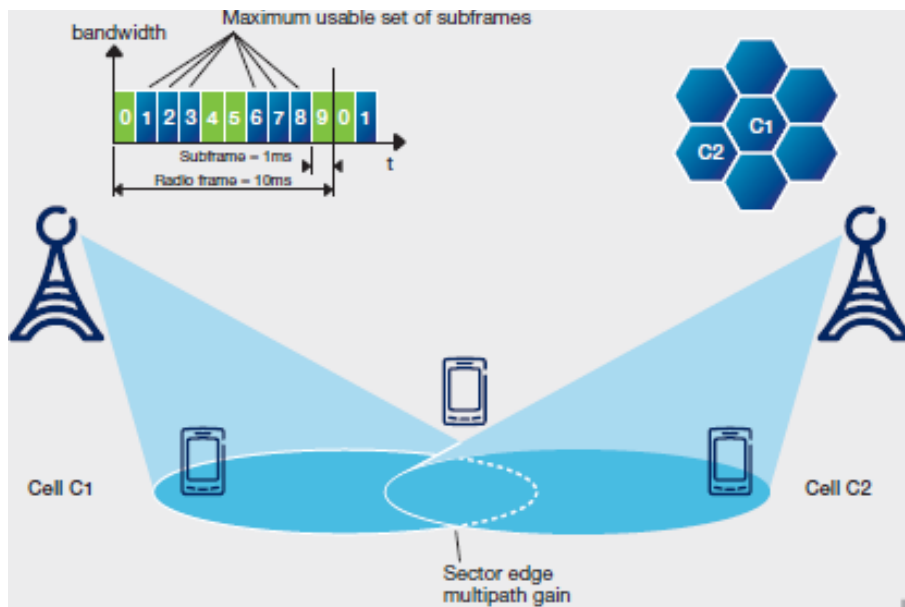
Abbildung 2-20: Mit zunehmendem Abstand von der Zellmitte (Antenne) abnehmende Bandbreite



Quelle: Ericsson Mobility Report November 2012

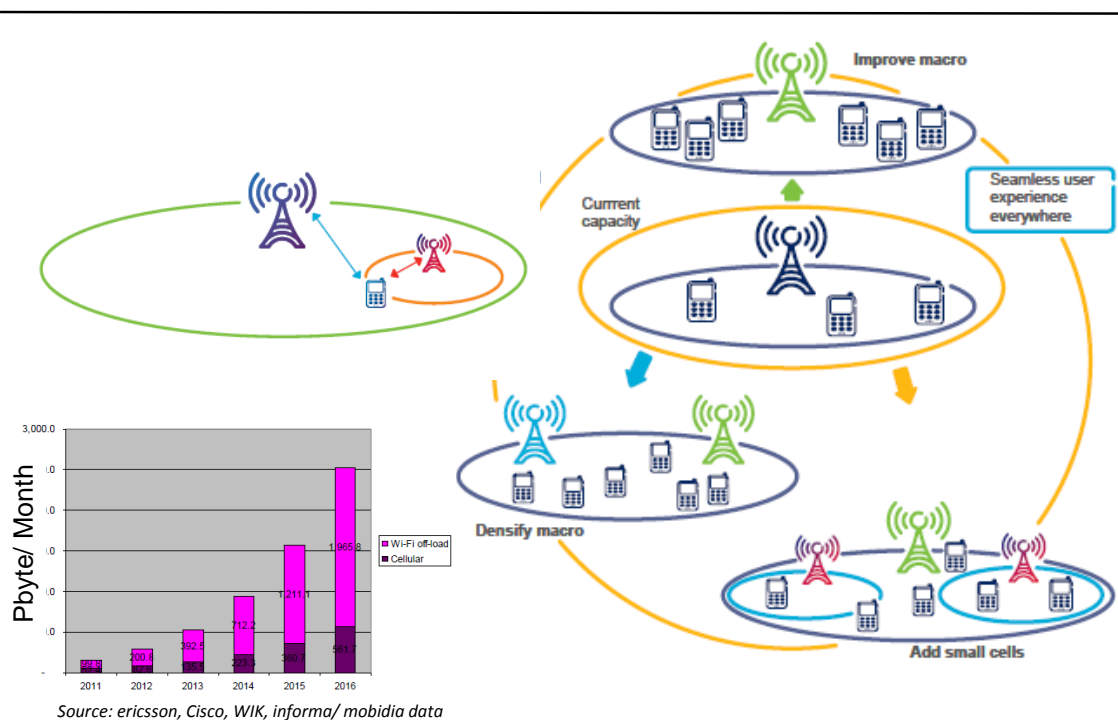
Dem Stand der Technik entsprechend kann dies durch eine Versorgung über zusätzliche Wege aus den Nachbarzellen behoben werden, ggf. unterstützt durch die Veränderung von Neigungswinkeln der betroffenen Sektorantennen (Abbildung 2-21).

Abbildung 2-21: Versorgung zellperipherer Endgeräte aus mehreren Zellen



Quelle: Ericsson Review 2013-1, Delivering content with LTE Broadcast, 11. February 2013

Abbildung 2-22: Kapazitätserweiterungen über WiFi-Offloading und/oder Femtozellen



Quelle: Ericsson, Cisco, WIK, informa/ mobidia data

Bemerkenswert ist, dass bereits heute nahezu drei Viertel des auf den Smart-Phones anfallenden Datenverkehrs das Mobilnetz gar nicht nutzt, sondern über WiFi-Offloading abgeleitet wird, also unmittelbar im Festnetz landet und dort breitbandige Anschlüsse verlangt (vgl. Abbildung 2-22). Dies erlaubt, die wertvollen Frequenzen für wirklich mobile Kommunikation frei zu halten oder die lizenzierten Frequenzbänder effizienter zu nutzen.

Neben vielen effizienzverbessernden Massnahmen im Antennenbereich, in der Bündelung von Kanälen über mehrere Frequenzbereiche hinweg etc., die bei LTE advanced zu einer Peakbandbreite je Antennensektor von 1 Gbps führen wird, wurden bereits heute mit dem Beginn der Spezifikation wesentlicher Leistungsmerkmale von 5G neue Eckpfeiler gesetzt.

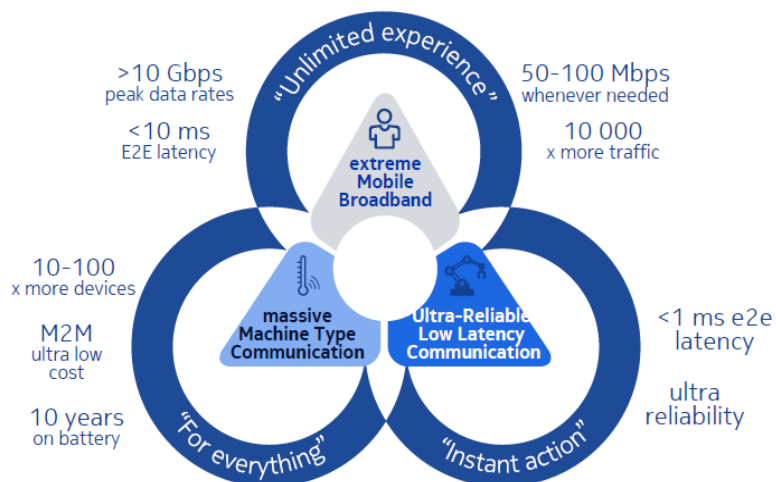
Die Peakbandbreite für 5G soll, abhängig von der Frequenzausstattung bei 10 – 100 Gbps liegen. Spätestens bei diesen Bandbreiten müssen die Antennenstandorte mit Glasfaser ausgerüstet sein, um den Verkehr abführen zu können. In Picozellen in Gebäuden sollen jedem Teilnehmer 1 Gbps angeboten werden können – auch hier ist Glasfaser vonnöten. Je Antenne ergeben sich für:

- LTE: 100 Mbps
- LTE advanced: 1 Gbps
- 5G: 10 – 100 Gbps

Die neuen Anwendungen, die über ein solches Netz unterstützt werden sollen, folgen im Prinzip drei Merkmalsgruppen:

- Extrem hohe mobile Bandbreite,
- Hohe Zuverlässigkeit und geringe Latenz, d.h. Echtzeitkommunikation,
- Große Zahl kommunizierender Endgeräte (M2M).

Abbildung 2-23: Kommunikationscharakteristika von 5 G Anwendungen



Quelle: Nokia (2017)⁴¹

⁴¹ T. Pfeiffer, Konvergente 5G fähige Access Netze, 11. ITG Fachtagung Breitband für Deutschland, 29. - 30. März 2017.

Tabelle 2-5: Anwendungsbeispiele für die Anforderungen an 5 G Netze

Anwendungsfall	Hauptanforderungen	Beispiele	
Massiv „Machine-Type Communications“ (mMTC)	Sehr hohen Batterie-lebensdauern	Smart City	Wearables
	Hohe Flächenverfüg-barkeit	Smart Home	Sensoren
		Smart Metering	Object Tacking
Kritische MTC oder „Ultra-Reliable Low-Latency Communi-cations“ (URLLC)	Hohe Zuverlässigkeit	Autonomes Fahren	Industriearomatisierung
	Sehr niedrige Latenz (< 1ms E2E)	Robotics	Aviation
	Extreme Verfügbarkeit	Smart Grids	Medical
Externes Mobiles Breitband (eMMB)	Extrem hoher Daten-durchsatz (Gbps)	3D/UHD Video Tele-presence	Taktiler Internet
	Sehr niedrige Latenz (< 1ms E2E)	UHD Video Streaming	Virtual Reality

Quelle: WIK

Insbesondere die in Abbildung 2-23 genannten sehr kurzen Latenzzeiten werden mit Sicherheit nur über breitbandige Glasfaseranschlüsse bis zu den Antennen erreicht werden können. Natürlich könnte es sein, dass diese Latenzen abhängig von den Anwendungen nicht überall erreicht werden müssen.

5G wird einerseits die heute bereits bestehenden Frequenzräume für den Mobilfunk nutzen und diese für eine bessere Abdeckung in der Fläche und für eine bessere indoor Abdeckung um Frequenzen im 700 MHz-Bereich erweitern wollen, seine hohen Bandbreiten aber auch im Bereich höherer Frequenzen realisieren müssen. Hier ist der Bereich um 3,5 GHz im Gespräch, aber auch zusätzlich der Bereich um 6 GHz und für die Pico- und Femtozellen auch die Bereiche um 25 GHz und ab 60 GHz. Derart hohe Frequenzen können nur in kleinen Funkzellen ohne hohe Penetrationsleistung durch Wände hinweg eingesetzt werden, was eine kleine Zellgröße und eine hohe Zelldichte erfordert. Eine kleine Zellgröße und eine hohe Bandbreite erfordern für die Erschließung eine hohe Versorgungsdichte mit Glasfasern, zumindest dort, wo sich viele Teilnehmer aufhalten. Die 5G Netze werden sich als eine Mischung aus sich überlagernden Macro- (lower frequency) und unterlagerten (high frequency) Microzellen ergeben.

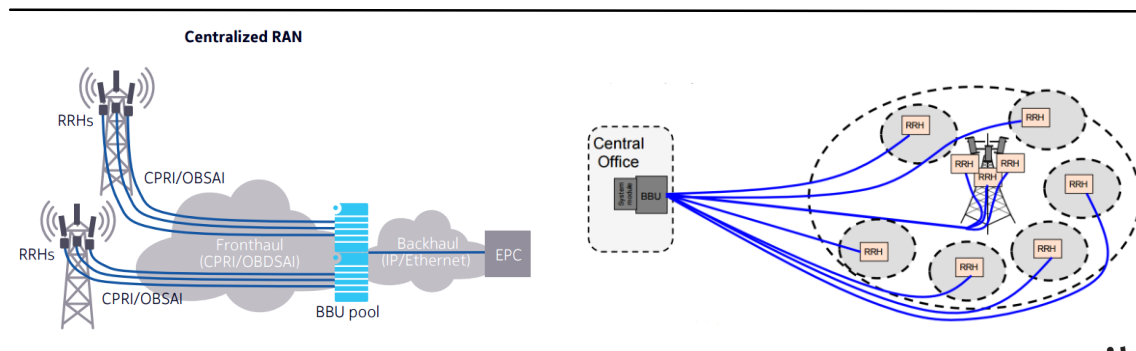
Die Vielzahl der Zellen erfordert aber auch schon aus ökonomischen Gründen eine Veränderung der Systemstrukturen für die Mobilfunknetze. Anstatt an jeden noch so kleinen Antennenstandort eine sogenannten Base-band Unit (BBU) für die Antennenansteuerung zu setzen, die on-site mit den „Radio-Heads“ über dedizierte breitbandige Protokolle (in Echtzeit) über Glasfaser kommunizieren (D-RAN), werden die BBU zentraler aufgestellt und sind so leichter zu betreiben (C-RAN)⁴². Nicht mehr jeder dann Remote stehende Radio-Head (RRU) bekommt seine eigene physische BBU, sondern

⁴² Distributed bzw. Centralized Radio Access Network

diese werden an den zentraleren Standorten über virtuelle Maschinen abgebildet, die sich dort sicherer, zuverlässiger und erheblich energiesparender betreiben lassen. Hier kommen die neuen Prinzipien des Network Function Virtualisation (NFV) und Software Defined Networking (SDN) auf Standard-Servern erstmals netzweit zum Tragen.

Eine spezielle Herausforderung in diesem Kontext sind die Anforderungen an die Echtzeit-Kommunikation nicht der Anwendungen, sondern bereits des Netzes und seiner Komponenten selbst. Die BBU steuern die Interaktion der Antennen bzgl. Frequenzlage, Interferenz, Antennenneigung etc. und neuerdings auch des schnellen Roaming. Die speziellen hierzu verwendeten Protokolle erfordern bereits Echtzeit-Bedingungen auch ohne jegliche Anwendungsanforderung. Das ist nur über breitbandige Glasfaseranschlüsse zu realisieren.

Abbildung 2-24: Gepoolte BBU mit breitbandiger Anbindung der RRH



Quelle: Nokia (2016) und Orange (2014)

Während früher die Anbindung der BBU an der Basisstation in das Netz hinein als Backhauling bezeichnet wurde, kommt durch das Auseinandernehmen des Standortes und seiner Komponenten ein neuer Teil Konnektivität hinzu: Vom RRH zur BBU ist dies das Front-Hauling, von der BBU ins Netz hinein bleibt das Backhauling.

2.6 Systematischer Vergleich

In der dieses Kapitel abschließenden Tabelle 2-6 zeigen wir die Eigenschaften der wesentlichen NGA Breitband-Technologien für das Teilnehmeranschlussnetz im Vergleich.

Für die Zeile „BW Verkehr“ in Tabelle 2-6 wurde der Versuch unternommen, die Anschlusstechniken, die auf Endkunden dedizierten Anschlusstechniken arbeiten und die auf Shared Medien, besser miteinander vergleichbar zu machen. Dazu reicht es nicht aus, den maximal möglichen Verkehr auf einem Shared Medium⁴³ zu kennen (Zeile:

⁴³ Z.B. im Mobilfunk-Frequenzraum einer Sektor-Antenne oder auf dem Koaxialkabelsegment eines Kabel-TV Netzes.

„BW Down oder Up“) und diesen über die Zahl der potentiellen (eingeschalteten) Nutzer (Zeile „Anzahl Nutzer/ Gebiet“) zu verteilen (Zeile „BW Durchschnitt“), sondern man muss das Nutzungsverhalten dieser Nutzer (gemessen in Erlang, hier bei Shared Medien im Breitband-Datenverkehr mit 0,05 angenommen) einbeziehen, d.h. den Durchschnittswert durch eben diesen Verkehrswert teilen. Dies hebt die Shared Medien zwar nicht auf dieselbe Ebene wie leistungsfähige P2P Netze, wertet sie in der Betrachtung der effektiven Nutzbarkeit jedoch signifikant auf und bringt die Darstellungen auf ein besser vergleichbares Niveau als der stumpfe Vergleich von Peak-Bandbreiten im Downstream aus dem Marketing oder der Vergleich auf Basis der reinen Durchschnitte, die von den Kritikern der Shared Medien gerne gebraucht werden. Immerhin kann so 5G mit FTTS mithalten, während FTTH P2P noch auf weite Sicht ungeschlagen bleiben wird.

Tabelle 2-6: Übersicht über die aktuellen und zukünftigen Technologien für die Breitbandübertragung im Vergleich

Kriterium	FTTC Vect.	FTTC plus	FTTdp G.fast	FTTB ¹⁾ XG.fast	FTTB ¹⁾ (VDSL)	FTTH PtP ⁴⁾	DOCSIS 3.0 ²⁾	DOCSIS 3.1	DOCSIS 3.1 FD	LTE	LTE adv.	5G
Shared	n	n	n	n	n	n	j	j	j	j	j	j
BW Peak (Down) [Mbps]	90	250	500	5,000	100	100,000	400	up to 10.000	up to 10.000	300	1,000	50,000
BW Peak (Up) [Mbps]	40	100	500	5,000	40	100,000	90	up to 1.000	up to 10.000	150	500	25,000
Symmetrie	asym.	asym.	sym. ³⁾	sym. ³⁾	asym.	sym.	asym.	asym.	sym.	asym.	asym.	asym.
BW Durchschnitt ¹⁹⁾ [Mbps]	90	250	500	5,000	100	100,000	5	133	133	4	13	625
BW Verkehr ²⁰⁾ [Mbps]	90	250	500	5,000	100	100,000	107	2,667	2,667	75	250	12,500
Anz. Nutzer/ Gebiet ⁷⁾	150	150	10	10	10	1.000 - 30.000	75	75	75	80	80	80
Sternpunkt	KVz	KVz	dp	Gebäude	Gebäude	HVt	Fibre Node	Fibre Node	Fibre Node	Antenne	Antenne	Antenne
Längenabhängigkeit	j	j	j	j	n	n	n	n	n	j	j	j
Abdeckung ⁹⁾	klein	klein	sehr klein	sehr klein	sehr klein	sehr klein ¹⁰⁾	klein	klein	klein	sehr groß	sehr groß	groß/ klein ¹¹⁾
Auslastungsverhalten ¹²⁾	wenig flex.	wenig flex.	wenig flex.	wenig flex.	wenig flex.	wenig flex.	flex.	flex	flex	sehr flexibel	sehr flexibel	sehr flexibel
Ausbaugeschwindigkeit	mittel	mittel	niedrig	niedrig	niedrig	sehr niedrig	- ¹⁷⁾	mittel	mittel	sehr hoch	sehr hoch	mittel
Stranded Investment b. Upgrade	Elektronik	Elektronik, KVz	Elektronik, dp	Elektronik	Elektronik	-	Elektronik	Elektronik	Elektronik	Teil der Elektronik	Teil der Elektronik	Elektronik + Core
Anlaufkosten ¹³⁾	mittel	mittel	niedrig ¹⁵⁾	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	- ¹⁶⁾	- ²¹⁾	- ²¹⁾	niedrig	niedrig	hoch
Kosten/ Nutzer ¹⁸⁾ (ländl.)	mittel	mittel	hoch	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	niedrig	niedrig	mittel

Quelle: WIK

1) Fraglich, ob FTTB in ländlichen Räumen sinnvoll ist bzw. i.d.R. FTTH bedeutet

2) Fraglich, ob Kabel-TV im ländlichen Raum überhaupt (neu) ausgebaut wird

3) Es wurde symmetrische Bandbreitenverteilung unterstellt, die Summenbandbreite (up/ down) ist doppelt so hoch

4) Die Bandbreite auf der einzelnen Glasfaser ist hier begrenzt durch die marktverfügbaren Ethernet Standard Ports. Eine physikalische Begrenzung liegt deutlich darüber

5) Anzahl Nutzer: 32 Gebäude je Splitter, 5 Nutzer je Gebäude

6) ist symmetrisch bei bei 4 x 10/10 up/ down Konfiguration

- 7) Während das Festnetz starre Nutzerverhältnisse hat, sind diese bei Mobilfunk variabel, weil die Nutzer Mobil sind. Nur FWA wäre fest zuzuordnen. Hier sind es die pro Zelle eingebuchten Teilnehmer. Die Zahlen gelten für ländliche Gebiete.
- 8) GPON, XG.PON Längenbegrenzung 20 bzw. 40 km
- 9) Bezugsgröße Sternpunkt, Ausnahme FTTH PtP
- 10) Punktueller Ausbau oder beschränkter kleinräumiger Ausbau, aber auch Ausbau ganzer HVt möglich
- 11) Makro/ Femtozellen
- 12) Beschreibt, wie flexibel sich das Kapazitätsangebot an eine wachsende Nachfrage anpassen kann
- 13) Betrachtung je größerem Gebiet (Stadtteil, Gemeinde), wieviel kapazitiver Leerlauf beim Ausbauen entsteht
- 14) beim Upgrade von XG.PON niedrig (-)
- 15) beim Upgrade von FTTC, beim Neuausbau hoch (---)
- 16) bei Upgrades niedrig (-), bei Neuausbau sehr hoch (----)
- 17) Upgrades niedrig (-), Neubau sehr hoch (+++)
- 18) Kosten je Nutzer in ländlichen Gebieten, Erstausbau
- 19) bei shared Medium: Peak BW geteilt durch Anzahl Nutzer je Gebiet
- 20) bei shared Medium: BW Durchschnitt geteilt durch 0,05 Erlang
- 21) bei upgrades mittel, bei Neuausbau sehr hoch

3 Modellierung der Kosten eines flächendeckenden Hochbreitbandnetzes

3.1 Der FTTH-Modellansatz von 2009

Bereits in 2009 hatten wir für das BAKOM Szenarien einer nationalen Glasfaserausbaustrategie in der Schweiz mit einem FTTH-Modell abgebildet und berechnet.⁴⁴ Seinerzeit standen folgende Untersuchungsfragen im Vordergrund:

- Welcher Flächendeckungsgrad von FTTH-Netzen ist profitabel darstellbar?
- Welche Investitionserfordernisse sind mit einer flächendeckenden nationalen Glasfaserausbaustrategie verbunden?
- Welche Kostenunterschiede zeigen die verschiedenen FTTH-Netzarchitekturen?
- Welche Kostenunterschiede weist ein Mehrfaser-Verlegemodell im Vergleich zu einem Einfasernetzmodell auf?
- Welche Implikationen hat die Wirtschaftlichkeit von Glasfasernetzen auf eine mögliche Grundversorgungsverpflichtung für Glasfaseranschlüsse?
- Inwieweit sind Glasfasernetze durch Wettbewerber replizierbar?
- Welche Wettbewerbsmöglichkeiten eröffnen Kooperationsmodelle und Entbündelungsmodelle?

Der damals entwickelte Modellansatz basierte auf einer Bottom-up Netzmodellierung, bei der alle Netzelemente des Glasfasernetzes entsprechend der Kundenverteilung in der Fläche berücksichtigt wurden. Das Modell war als Greenfield-Ansatz angelegt und hat deshalb alle benötigten Netzelemente nach ihren aktuellen Wiederbeschaffungswerten („Neubaukosten“) bewertet. Allerdings wurden für das Glasfasernetz die bestehenden Schaltzentralen der Swisscom als feste Bestandteile des im Übrigen effizient optimierten Netzes berücksichtigt.

Alle 1.491 Anschlussbereiche des Schweizer Netzes wurden insgesamt 16 Clustern in Abhängigkeit von der jeweiligen Anschlussdichte je km² zugeordnet. Die Modellberechnungen ergaben, dass in der Schweiz ein Glasfaserausbau für ca. 60% der Bevölkerung wirtschaftlich profitabel darstellbar ist. Seinerzeit kam es insbesondere auch darauf an, die verschiedenen Varianten des Netzausbaus im Multifaseransatz und die Nutzung des Netzes durch verschiedene Kooperationspartner im Rahmen eines Co-Investment-Modells darzustellen. Hierauf wollen wir verabredungsgemäß an dieser Stelle nicht näher eingehen und verweisen dazu auf die seinerzeitige Studie. Das Glasfasernetz wird im jetzigen Modellansatz in seiner kostengünstigsten Variante, dem Einfasernetz modelliert.

⁴⁴ Siehe hierzu Ilic et al. (2009).

Für das Szenario eines Einfasermodells würden in der Modellberechnung 2009 21,4 Mrd. CHF Investitionen für einen flächendeckenden Glasfaserausbau erforderlich sein. Zum Ausgleich der Wirtschaftlichkeitslücke in den nicht profitabel ausbaubaren Clustern, wäre ein (einmaliger) Investitionskostenzuschuss in Höhe von 7,3 Mrd. CHF erforderlich gewesen.

In der hier vorliegenden Studie stützen wir uns auf das NGA-Modell des WIK ab, das auf Basis derselben Modellierungsphilosophie wie das Modell aus 2009 die Abbildung verschiedener Breitbandtechnologien erlaubt. Dies war mit dem seinerzeit entwickelten FTTH-Modell für die Schweiz nicht möglich. Weiterhin haben wir für die vorliegenden Berechnungen neue Parameterwerte am aktuellen Rand ermittelt und benutzt sowie das Modell um die Berechnungen zu einer FTTS- und einer FTTC-Architektur erweitert. In Abschnitt 3.4 stellen wir eine Reconciliation des FTTH-Modells von 2009 mit dem hier benutzten Modell für FTTH vor, dargestellt mit den alten Parametern. Dies wird zeigen, dass die FTTH-Modelle 2009 und 2017 (bei gleichen Parametern) zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen.

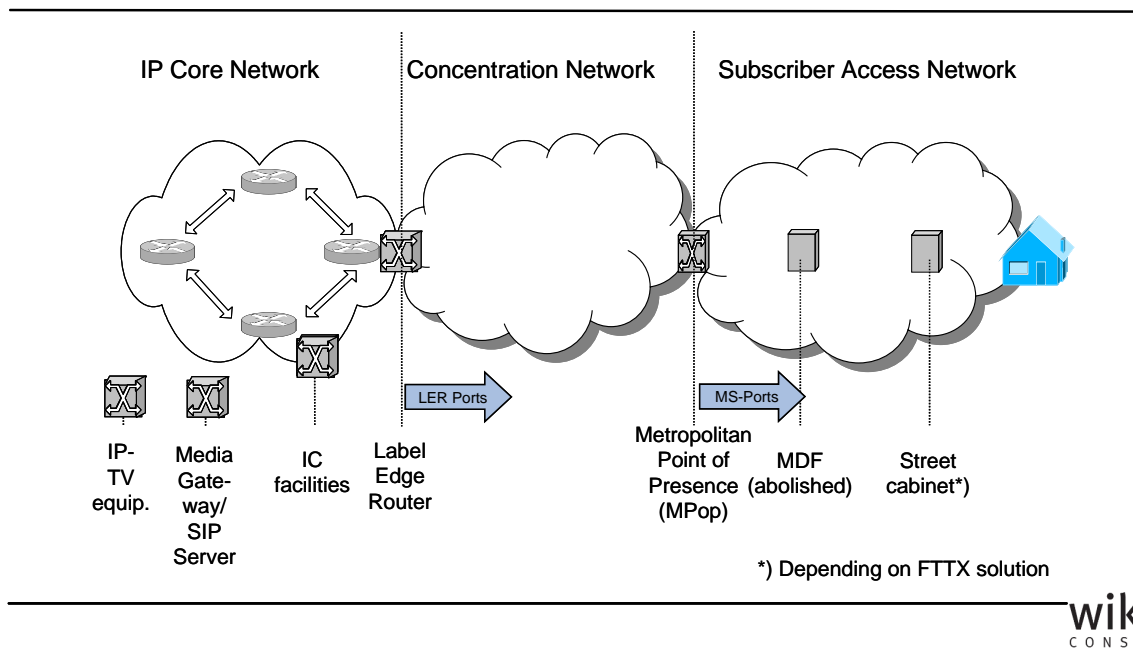
3.2 Das WIK-NGA-Modell

3.2.1 Der grundlegende Modellansatz

3.2.1.1 Netzstrukturen

Gegenüber den klassischen Telekommunikationsnetzen, bei denen für jede Nutzungsart (Sprache, Daten und TV) ein oder gar mehrere separate Netze aufgebaut wurden, übertragen moderne breitbandige Telekommunikationsnetze alle Dienste auf einem einzigen Multi Service Netz, das man daher auch als Next Generation Network (NGN) bezeichnet. Ergänzt wird ein derartiges Netz um einen breitbandigen Netzzugang, dem Next Generation Access (NGA). Abbildung 3-1 beschreibt das NGN/NGA bestehend aus IP Core Netz (Backbone Netz), Konzentrationsnetz sowie dem Teilnehmeranschlussnetz. Wesentlich kostenbestimmend für einen Glasfaserausbau ist das Teilnehmeranschlussnetz, das wir daher detailliert bottom-up modellieren. Dabei werden die drei Architekturen FTTC, FTTS und FTTH unterschieden und für jede dieser Architekturen getrennt bzw. im Technologiemix Ergebnisse berechnet. Das IP Core Netz und das Konzentrationsnetz nähern wir dagegen über die Übertragungskosten je Kbps für die beiden Netzebenen an, die wir aus Benchmarks für entsprechende Netze aus der WIK-Datenbank bzw. aus einem generischen NGN-Modell gewonnen haben. Die Kosten für diese beiden zentralen Netzteile sind in einer Kostenfunktion abgebildet, die durch einen Fixkostenblock und variable Kosten je 10 Kbps (in der Hauptverkehrsstunde) definiert ist.

Abbildung 3-1: NGN/NGA-Netzarchitektur in der Übersicht



Quelle: WIK-Consult

Breitbandige Teilnehmeranschlussnetze nehmen immer Glasfaserverbindungen zu Hilfe, um die mit den althergebrachten Kupferadern verbundenen Bandbreitenbeschränkungen zu überwinden. Diese Architekturen bezeichnet man üblicherweise als FTTx Netze (Fiber to the x), wobei x den Endpunkt der Glasfaser aus der Sicht des Netzes zum Teilnehmer hin beschreibt. In der Schweiz existiert bereits ein weit reichendes FTTC (C steht für Curb oder Cabinet) Netz, nämlich das VDSL-Netz der Swisscom. Durch Einsatz der Vectoring-Technologie wird das FTTC-Netz noch leistungsfähiger.⁴⁵ Als weitere Architektur des NGA-Netzes modellieren wir FTTS. Hierbei wird das Glasfasernetz über das Cabinet hinaus bis an den Straßenrand in der Nähe des Endkunden geführt. Typischerweise endet die Glasfaser hier in einem Schacht ca. 200 m vom Standort des Endkunden entfernt. Übertragungstechnisch setzt die Swisscom bei FTTS die G.fast-Technologie ein, bei der ein G.fast ONU in dem Schacht installiert wird, in dem die Glasfaser endet und auf dem Weg zum Endkunden das Kupferanschlussnetz für die letzten ca. 200 m genutzt wird.

Als dritte Architektur des Anschlussnetzes modellieren wir FTTH P2P. Hierbei besteht das Anschlussnetz vom zentralen optischen Verteiler (ODF am MPoP) bis zur Wohnung des Endkunden ausschließlich aus einer durchgehenden Glasfaserverbindung. In Abstimmung mit dem BAKOM modellieren wir dabei ausschließlich die Einfaser-Variante des FTTH-Netzes als kostengünstigste Architektur und bilden nicht den Multifaseransatz ab, wie er in einigen Netzkooperationen der Swisscom mit den jeweiligen Stadtwerken ausgebaut wurde. In unserer Glasfaserstudie von 2009 hatten wir die Kos-

⁴⁵ Siehe hierzu Abschnitt 2.3.2.

tenunterschiede von Einfaser- und Vierfasernetzen modellmäßig detailliert abgebildet.⁴⁶ Zusatzkosten für eine Vierfaserarchitektur fallen an bei der Inhaus-Verkabelung, für das Drop Kabel, für das Feederkabelsegment und für den MPoP an der Ortszentrale.⁴⁷ Die (relativen) investiven Mehrkosten sind Cluster abhängig. Sie sind in den dichtest besiedelten Clustern am höchsten und sind in den dünn besiedelten Teilen des Landes am geringsten. Bei Zugang an der Ortszentrale liegen die investiven Mehrkosten zwischen 26,3% (Cluster 1) und 11,5% (Cluster 16) jeweils bezogen auf die Investitionen im Einfaserausbau.

3.2.1.2 Clusterbildung nach Anschlussdichte

Der insgesamt in der Schweiz adressierbare Markt für festnetzbasierete Breitbanddienste besteht aus allen Wohnungen und Geschäftskunden (Arbeitsstätten), von denen derzeit nicht alle Festnetzdienste beziehen, sondern auch aus Kunden, die ihre Telekommunikationsdienste ausschließlich aus Kabel-TV-Netzen (cable only) oder Mobilfunknetzen (mobile only) beziehen oder die derartige Angebote generell nicht abnehmen. Der von einem NGA-Netz adressierbare Markt für Anschlüsse ist also größer als die Zahl der Anschlusskunden des kupferbasierten Festnetzes heute. Wir haben diesen adressierbaren Markt aus den Angaben des Breitbandatlas sowie mit Daten des Bundesamts für Statistik ermittelt. Danach sind in der Schweiz derzeit ca. 5,1 Mio. Anschlüsse vorhanden bzw. adressierbar. Auf der anderen Seite ist nicht davon auszugehen, dass alle potentiell adressierbaren Festnetzkunden auch tatsächlich einen Festnetzanschluss nachfragen. Wir gehen davon aus, dass ca. 30% der potentiell adressierbaren Kunden nicht mit Festnetzangeboten erreichbar sein werden. Diese Kunden beziehen ihren Telekommunikationsanschluss entweder ausschließlich von einem Kabelnetzbetreiber oder einem Mobilfunknetzbetreiber oder sie gehören zu der (verschwindend kleinen) Gruppe der Haushalte, die über keinen Telekommunikationsanschluss verfügen (wollen). Alle in den Ergebnisdarstellungen dieser Studie enthaltenen Marktanteile beziehen sich dennoch auf den potentiell adressierbaren Markt, um Missverständnisse durch einen Wechsel der Bezugsbasis zu vermeiden. Der von uns modellierte Ausbau des NGA-Netzes sieht allerdings vor, dass jeder (potentiell) adressierbare Anschluss auch durch das Netz erreicht wird. Der modellierte Netzausbau folgt demnach dem „homes passed“ Konzept.

Die Profitabilität des Glasfaserausbaus in der Fläche hängt ganz wesentlich von den Kosten des Anschlussnetzes je Teilnehmer ab und wird damit wesentlich von der Anzahl der Haushalte je Trassenkilometer bestimmt, d.h. von der Anschlussdichte. Das Modell gliedert daher die Anschlussbereiche der Schweiz in 16 Gruppen (Cluster) abfallender Anschlussdichte nach dem Kriterium Anschlüsse pro km². In unserer Glasfaserstudie von 2009 haben wir die adressierbaren Kunden auf die einzelnen Gebäude unter Berücksichtigung der bestehenden aktiven und passiven Endverschlüsse mit Hilfe eines

⁴⁶ Vgl. hierzu Ilic et al. (2009), S. 65ff.

⁴⁷ Dies gilt für den üblichen Zugang am MPoP.

GIS-Tools mit Straßen- und Gebäudeinformationen alloziert. Zu Vergleichbarkeitszwecken haben wir die Zuordnung der Anschlussbereiche zu einem Dichtecenter aus 2009 übernommen. Die Zuordnung der Anschlüsse zu Anschlussbereichen haben wir dagegen den geocodierten Angaben des aktuellen Breitbandatlas entnommen. Daraus folgen gewisse Verschiebungen in der Zuordnung von Anschlüssen zu Dichtecentern, die allerdings überschaubar geblieben sind.

Nachfolgend tabellarisch dargestellt sind die nach abnehmender Dichte sortierten Cluster sowie die auf jedes Cluster entfallenden Anschlusszahlen und die Zahl der ihnen zuordenbaren Anschlussbereiche (Schaltzentralen). Die Summe über alle Cluster hinweg entspricht der Gesamtzahl aller potentiell anschließbaren Wohnungen und Arbeitsstätten bzw. Anschlussbereiche (siehe Tabelle 3-1).

Tabelle 3-1: Clusterung nach Anschlussdichte (Werte pro Cluster)

Cluster	Clusterdichte (pot. Anschlüsse pro km ²)	Anzahl (pro Cluster)			
		Potentielle Anschlüsse	in %	Anschlussbereiche	in %
1	7.000	159.153	3%	15	1%
2	4.000	270.729	5%	17	1%
3	2.500	235.814	5%	22	1%
4	1.600	290.004	6%	27	2%
5	1.150	346.506	7%	34	2%
6	800	333.740	6%	42	3%
7	600	323.514	6%	43	3%
8	470	276.336	5%	42	3%
9	370	335.124	7%	56	4%
10	280	306.115	6%	64	4%
11	220	284.540	6%	72	5%
12	150	403.159	8%	123	8%
13	100	427.831	8%	168	11%
14	60	412.701	8%	186	12%
15	30	397.187	8%	267	18%
16	<30	333.641	6%	313	21%
		5.136.094	100%	1.491	100%

Quelle: WIK, BAKOM

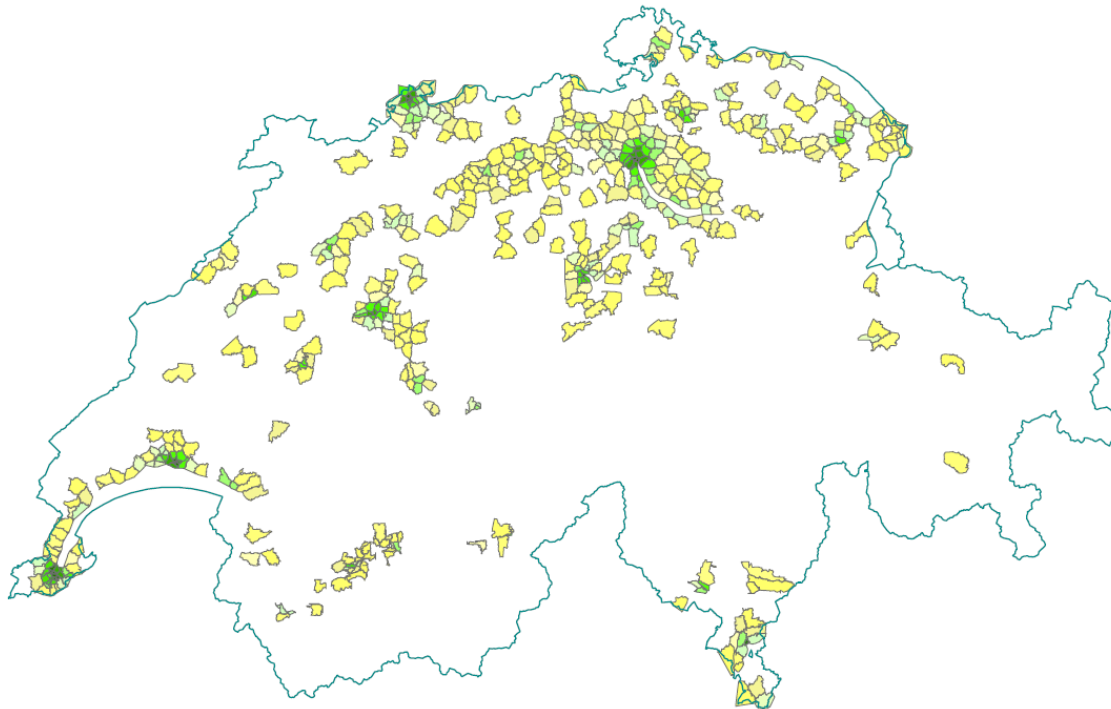
Kumulierte Anschluss- und Anschlussbereichszahlen sind in Tabelle 3-2 dargestellt. Diese Tabelle zeigt, dass an die dichtesten 298 Schaltzentralen, also etwa 20% aller Anschlussbereiche, bereits knapp die Hälfte der potentiellen Anschlüsse angebinden sind. Erschließt der Netzbetreiber dagegen die dichtesten 557 Anschlussbereiche (37% der Schaltzentralen), erreicht er damit knapp 69% der Bevölkerung. Die hier beschriebene Verdoppelung der Schaltzentralen führt zu einem unterproportionalen Anstieg der potentiell adressierbaren Haushalte. Der Effekt resultiert aus der Clusterstruktur, bei der Anschlussbereiche nach abnehmender Dichte sortiert sind.

Tabelle 3-2: Clusterung nach Anschlussdichte (kumulierte Werte)

Cluster	Clusterdichte (pot. Anschlüsse pro km ²)	Anzahl (kumuliert)			
		Potentielle Anschlüsse	in %	Anschlussbereiche	in %
1	7.000	159.153	3%	15	1%
2	4.000	429.882	8%	32	2%
3	2.500	665.696	13%	54	4%
4	1.600	955.700	19%	81	5%
5	1.150	1.302.206	25%	115	8%
6	800	1.635.946	32%	157	11%
7	600	1.959.460	38%	200	13%
8	470	2.235.796	44%	242	16%
9	370	2.570.920	50%	298	20%
10	280	2.877.035	56%	362	24%
11	220	3.161.575	62%	434	29%
12	150	3.564.734	69%	557	37%
13	100	3.992.565	78%	725	49%
14	60	4.405.266	86%	911	61%
15	30	4.802.453	94%	1.178	79%
16	<30	5.136.094	100%	1.491	100%

Quelle: WIK, BAKOM

Im Grundsatz erkennt man an der steigenden Zahl von Anschlussbereichen in den dünner besiedelten Clustern, dass diese auch einen immer größer werdenden Teil der Fläche einnehmen. Abbildung 3-2 veranschaulicht diesen Zusammenhang graphisch.

Abbildung 3-2: Flächenabdeckung der Cluster 1 – 12 (> 150 pot. Anschlüsse/km²)

Quelle: WIK-Consult

3.2.1.3 Anzahl der MPoP

Der Einsatz von Glasfasern im Anschlussnetz überwindet die Längenbeschränkungen der Kupferleitungen. Dies eröffnet Effizienzsteigerungen durch längere Anschlussleitungen als bisher und dadurch geänderte Netztopologien. Wir gehen davon aus, dass gegenüber den für (A)DSL bestehenden Längenbeschränkungen von ca. 4 km bei Kupferkabeln Glasfaserstrecken mit preiswerten Standardschnittstellen über eine Distanz bis ca. 40 km wirtschaftlich betrieben werden können⁴⁸. Um Skaleneffekte zu erreichen und die aktive Technik auf weniger Standorte zu konzentrieren, gehen wir daher davon aus, dass kleine Schaltzentralen mit 1'000 oder weniger Teilnehmern keinen MPoP bilden, sondern passive Netzknoten bleiben, so dass sich die Zahl der modellrelevanten MPoP um 490 Schaltzentralen verringert, deren Teilnehmer auf die nächstgelegene Schaltzentrale mit mehr als 1'000 Teilnehmern weitergeführt werden. Alle Schaltzentralen mit weniger als 1'001 Anschlüssen liegen in den weniger dicht besiedelten Gebieten der Schweiz (ab Cluster 9 mit weniger als 470 potentiellen Anschlüssen/km²), 449 davon sogar in Gebieten mit weniger als 100 potentiellen Anschlüssen/km². Wir haben im Rahmen eines Optimierungsansatzes diese insgesamt 490 Knotenpunkte auf nächstge-

⁴⁸ Mit entsprechend hochwertigen Schnittstellen für Glasfaserstrecken können heute bereits mehrere 100 km ohne Zwischenverstärker überbrückt werden, im Seekabelbereich über 1'000 km. Diese Schnittstellen sind aber für den Massenmarkt des Zugangsnetzes zu teuer.

legene MPoPs aggregiert. Diese Aggregation wird allen drei von uns betrachteten NGA-Architekturen gleichermaßen zugrunde gelegt.

Eine Kontrollprüfung ergab, dass in keinem Fall die daraus resultierende Gesamtlänge der Anschlussleitung zum nächstgelegenen MPoP mehr als 40 km beträgt. Die ergänzenden Glasfaserstrecken von den nun passiven Schaltzentralen zu den jeweils nächstgelegenen MPoPs werden entlang der kürzesten Straßenverbindung ermittelt und gehen als Backhaul-Verbindungen in unser Modell ein.

Eine Veräußerung der Standorte und ein Einbezug der Erlöse zur Investitionssenkung, wie dies in den Niederlanden im Jahr 2008 diskutiert wurde, ist von uns nicht vorgesehen, da die Standorte weiterhin als passive Netzknoten erhalten bleiben.⁴⁹

3.2.1.4 Trassenlängen

Die Trassenlängen in den drei zu betrachtenden Technologien (FTTC, FTTS und FTTH) sind wegen der verschiedenen Topologien unterschiedlich. Im Einzelnen geht es hier um die Parameter „Average trench length per Distribution Point“ und „Average drop cable length“. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden für FTTC die Längen je Cluster aus dem BAKOM Kupfer-Modell (2008) übernommen und für FTTH je Cluster aus dem Glasfaser-Modell 2009. Hieraus wurden dann die entsprechenden Längen für die neu zu berechnende Technologie FTTS interpoliert.

Für den Parameter „Average trench length per Distribution Point“ wurde hierbei davon ausgegangen, dass die physikalischen Grabenlängen bis zum Gebäude für FTTH und FTTS grundsätzlich identisch sind. Durch die unterschiedliche Positionierung der Distribution Points in beiden Technologien verändert sich die Aufteilung der Kabellängen und damit die anteilige Grabenlänge je Distribution Point, deren Anzahl bei FTTS ansteigt.

Für den Parameter „Average drop cable length“ wurde, unter Berücksichtigung der maximal erzielbaren Längen, die Länge aus FTTH um das Verhältnis der Anzahl Distribution Points FTTH zu FTTS linear angepasst.

3.2.1.5 Kabelgrößen, Leerrohre und Kabelgräben

Grundsätzlich ist ein Standardgraben vorgesehen, der bis zu acht Kabel in Rohrzügen aufnehmen kann. Hierbei wird standardmäßig von einer Verlegung in Leerrohren ausgegangen. Bei Mehrbedarf bestimmt das Modell endogen die entsprechenden Erweiterungen.⁵⁰

⁴⁹ Dieser Optimierungsansatz wurde bereits im Modell 2009 in gleicher Weise verwendet und hier auf die neuen Architekturen angepasst.

⁵⁰ Das Modell gleicht hierin dem von 2009.

Das Drop Kabel besteht bei den Architekturen FTTC und FTTS aus den noch bestehenden Kupferdoppeladern und wird im Modell durch die entsprechende regulierte Subloopmiete (FTTC) bzw. eines angemessenen Bruchteils davon (2/3) bei FTTS berücksichtigt. Bei FTTH wird im Drop Kabel im hier zugrunde gelegten Einfaserfall je Haushalt eine Faser vorgesehen. Entsprechend dem Faserbedarf auf einzelnen Netzsegmenten können mehrere Kabel benötigt werden, deren Anzahl das Modell endogen bestimmt.

3.2.1.6 Variable Kosten je Kunde

Generell gehen wir davon aus, dass ein Netzbetreiber ein Cluster zu 100% der adressierbaren Kunden ausbaut, denn jeder von ihnen könnte im Prinzip als Kunde gewonnen werden und sein Anschluss soll nicht durch lang anhaltende Baumassnahmen verzögert werden (100% homes passed). Dennoch ergeben sich zusätzlich variable Kosten für die Anschaltung der einzelnen Kunden. Der Netzbetreiber stellt ausschließlich für realisierte und angeschlossene Kunden aktives Equipment zur Verfügung (z.B. den Teilnehmerport im Ethernetswitch des MPoP (FTTH) bzw. im DSLAM (FTTC) oder der ONU (FTTS) und das CPE). Aufwendungen für diese Ausstattungen behandelt das Modell also als variable Investitionen. Variabel sind auch die Kosten für die Inhausverkabelung im Fall von FTTH und die Mietkosten für den Subloop bei FTTC und FTTS. Bei FTTH erfasst das Modell optische Verteiler im MPoP so, dass auf der Haushaltsseite jeder Haushalt auf Ports abgelegt wird. Die zur Netzseite zeigenden Ports wachsen hingegen mit der Anzahl tatsächlich realisierter Kunden. Die Betreiber installieren hier bei Bedarf einen Port sowie ein Patchkabel je Kunde. Die variablen Kosten je Kunde unterscheiden sich je nach der Architektur, sind aber im Vergleich mit den Kosten, die der Grundausbau (homes passed) im Ausbaugbiet erfordert, gering. Grundsätzlich sind sie umso größer, je weniger Glasfaserstrecke installiert ist und auf bestehende Kupferadern gesetzt wird.

3.2.2 Konzentrations- und Kernnetz

Kosten des Konzentrationsnetzes: Das Konzentrationsnetz verbindet das glasfaserbasierte Teilnehmeranschlussnetz und das Kernnetz und ist konzeptionell zwischen MPoP und dem Broadband Remote Access Server (BRAS) angesiedelt. Kosten für die Verkehrsübertragung sind als volumenbezogener, variabler Kostensatz je angefangene 10 Kbps im Modell dargestellt. Insgesamt ergeben sich monatliche Kosten pro Kunde als Produkt aus eben diesem Kostensatz und dem kundenbezogenen Verkehr in der Busy Hour. Der Busy Hour Verkehr ist der statistische Verkehr, den ein durchschnittlicher Kunde in der auslastungsbezogenen Hauptverkehrszeit verursacht und anhand dessen die konzeptionelle Netzdimensionierung erfolgt. Hinzu kommt ein angenommener Fixkostenanteil für das nationale Konzentrationsnetz, sowie ein über die pro IP-TV-Kanal benötigte Bandbreite berechneter Fixkostenanteil.

Kosten des Kernnetzes: Netzseitig vom BRAS befindet sich das Backbone-Netz, dessen volumengetriebene Übertragungskosten im Modell konzeptionell identisch sind mit denen im Konzentrationsnetz. Auch hier ergeben sich kundenbezogene Transmissionskosten aus Übertragungskosten je angefangene 10 Kbps und dem Busy Hour Verkehrsaufkommen eines angenommenen Durchschnittskunden. In Analogie zu den Übertragungskosten für das Konzentrationsnetz gehen auch Übertragungskosten für das Backbone-Netz als monatliche, kostenseitige Position in die Modellberechnung ein. Hinzu kommt hier ebenfalls ein angenommener Fixkostenanteil für das nationale Kernnetz, sowie ein über die pro IP-TV-Kanal benötigte Bandbreite berechneter Fixkostenanteil.

Dienste im Konzentrations- und Kern-Netz: Konzeptionell gleich sind die variablen Anteile beider Kostenpositionen auch darin, dass das zugrunde liegende Verkehrsaufkommen nur Voice- und Internet-Dienste (inkl. Video on Demand), jedoch kein IP-TV berücksichtigt. Der Grund verbirgt sich hinter den unterschiedlichen technischen Konzeptionen und Aussendungsarten des IP-TV Dienstes und der beiden anderen Dienste. IP-TV (inkl. PayTV) ist ein Broadcast-Dienst, das heißt er verteilt sich unabhängig von TV nachfragenden Kundenzahlen im NGN-Netz. Voice- und Internet-Dienste sind dagegen kundengetrieben. Weiter unterscheidet sich das Nutzungsverhalten von IP-TV gegenüber anderen Diensten darin, dass sich IP-TV backboneseitig fächerartig ausbreitet bis zur kundenededizierten Inhouseverkabelung, während sich Voice- oder Internet-Dienste nicht fächerartig, sondern mittels technischer Punkt-zu-Punkt Verbindungen ausbreiten. Voice- und Internet-Dienste erzeugen die gleiche Verkehrsbelastung je Kunde unabhängig von der betrachteten Netzebene. Ungleich ist sie dagegen beim IP-basierten Fernsehdienst, weil dessen fächerartige Ausbreitung zu unterschiedlichen IP-TV-Verkehrsvolumina je Kunde pro betrachteter Netzebene führt.

3.3 Wesentliche Modellparameter

3.3.1 ARPU

Profitabilität und Reichweite des Glasfaserausbaus werden ermittelt unter Rückgriff auf mit dem Ausbau verbundener Kosten einerseits und zu erwartender Erträge aus realisierten Diensten andererseits. Der hier angenommene Ertrag (Average Revenue per User (ARPU)) ist ein Mischwert, der sich anteilig aus Erträgen für Single Play (VoIP), Double Play (VoIP und Internetdatendienst) und Triple Play (VoIP, Internet, IP-TV) ergibt. Neben Privatkunden gehen auch Geschäftskunden bei der Ableitung des Durchschnittsertrags ein. Für diese berücksichtigen wir speziell auch Mietleitungsprodukte.

Mittels Informationen des BAKOM zum Markt in der Schweiz und eigenen Erfahrungswerten des WIK, wird für die Schweiz von einem ARPU in der Höhe von 101,9 CHF für FTTH-Netze und aufgrund der geringeren Leistungsfähigkeit von FTTS- und FTTC-

Netzen (insbesondere auch hinsichtlich der Erstellung von Mietleitungen) wird für diese Netze von einem ARPU von 85,70 CHF ausgegangen.

3.3.2 WACC

Der WACC (Weighted Average Cost of Capital) wird im Modell mit 5,5% angenommen. Dieser Wert liegt ein Prozentpunkt über dem letztmals von der ComCom im Jahr 2015 verfügbaren Wert bei regulierten Vorleistungspreisen für die Teilnehmeranschlussleitung von 15,20 CHF. In unserer Modellierung von 2009 hatten wir noch einen mit 8% deutlich höheren WACC angesetzt. Dies reflektiert die seitdem erfolgte Entwicklung auf den Kapitalmärkten.

Die Erhöhung gegenüber dem regulierten WACC begründen wir mit dem für derartige Breitbandinvestitionen höheren Risiko, das die Investoren zu tragen haben. Inwieweit dieses Risiko auf alle zu tätigen Investitionen anzuwenden ist, wird in Europa allerdings durchaus kontrovers diskutiert. So sieht etwa die NGA-Empfehlung der EU-Kommission von 2009 vor, Ersatzinvestitionen und für verschiedene Teilnehmeranschlussinfrastrukturen nutzbare Investitionen nur mit dem bisher für Telekommunikationsinvestitionen üblichen Zinssatz zu belegen. Diese Investitionen machen aber den Löwenanteil der insgesamt zu tätigen Investitionen aus. Dieser Sichtweise sind wir wegen des in der Schweiz schon weit fortgeschrittenen VDSL-Breitbandausbaus der Swisscom nicht gefolgt, denn das Risiko aus den zusätzlich zu tätigen Investitionen einen weiteren Mehrwert zu erzielen ist höher als das bei einem Upgrade von einem reinen Schmalband DSL-Netz. Zudem trifft diese Argumentation nur auf diejenigen Unternehmen zu, die bereits Infrastrukturen für andere Zwecke ausgebaut haben⁵¹, nicht jedoch für neu eintretende Unternehmen. Durchaus relevant bleibt das Argument aber hinsichtlich der Investitionen in FTTC und FTTS.

Spezifische Risiken, die im Rahmen des Aufbaus eines NGA-Netzes berücksichtigt werden können, sind das Risiko ausreichende Marktanteile erzielen zu können, das Risiko, dass Endnutzer eine hinreichende Zahlungsbereitschaft für Dienste haben, das regulatorische Risiko und ggf. weitere spezifische Risiken spezieller Geschäftsmodelle.

3.3.3 Retailkosten

Kosten für Customer Care, Order Management, Clearing und Kundensupport sind kostenmäßig im Modell erfasst. Unter dem Oberbegriff Retail Kosten sind diese Positionen zusammengefasst. Der hierfür angesetzte Wert in Höhe von 6,30 CHF ist als monatlich wiederkehrender Aufwand je Kunde im Modell implementiert. Seine Höhe orientiert sich

⁵¹ Hierzu zählen neben dem nationalen Incumbent auch die Elektrizitätswerke, die ihr Stromverteilnetz in die Haushalte in Röhrenverlegung ausgelegt haben und in den dadurch bereits finanzierten Leerrohrsystemen ergänzende Glasfasern für ein NGA Anschlussnetz aufnehmen können.

an den Retailkosten-Niveaus, die wir aus anderen Projekten kennen. 2009 hatten wir hier noch einen Wert von 7,5 CHF angenommen.

3.3.4 Kabelverlegung

Tiefbauarbeiten haben beim Neubau eines Netzes grundsätzlich den größten Anteil an den Investitionen. Für Modellergebnisse von hoher Qualität ist deshalb entscheidend, diese Position möglichst genau abzubilden. Eingang in die Berechnung der Tiefbauinvestitionen fanden Trassenlängen und Preise für Tiefbau- und Verlegearbeiten, die hierfür relevante Ausgangswerte darstellen. Aufwendungen für Abzweigmuffen, Kabelschächte sowie deren durchschnittlicher Abstand untereinander sind im Modell explizit als Investitionsparameter berücksichtigt.

Die ermittelte Höhe der Preise sowie die strukturellen Parameter der Tiefbauverlegung unterscheiden sich nach unserer Einschätzung von Cluster zu Cluster. Höher ist in dünn besiedelten Gebieten beispielsweise der relative Anteil nicht asphaltierter Flächen, was den durchschnittlichen Preis pro Verlegemeter gegenüber städtischen Gebieten senkt. Auszugehen ist auch von kleiner dimensionierten Kabelschächten in ländlichen Gebieten, weil hier die Anzahl Haushalte und damit auch die der Fasern pro km² sinkt.

Die Ermittlung der Trassenlängen erfolgte in einem Trassenlängenbestimmungsmodell, das auf einen Optimierungsalgorithmus⁵² zurückgreift. Entlang des Straßenverlaufs ermittelt dieser Algorithmus die optimale Trassenlänge zwischen Gebäude und Schaltzentrale bzw. Cabinet oder Schacht. Dabei optimiert er zudem die beidseitige und einseitige Verlegung entlang der Strasse. Zu kurz greift dabei die Überlegung, dass die günstigere Alternative immer die einseitige Verlegung ist. Befinden sich zum Beispiel Gebäude auf beiden Straßenseiten, könnte einseitige Verlegung die kostenintensivere Variante sein, weil hierbei Gebäude auf der anderen Straßenseite nur mit vergleichsweise kostenintensiven Straßenquerungen angebunden werden könnten. Überlegungen wie diese verdeutlichen mit welcher Genauigkeit Trassenlängen bestimmt wurden.

Die Ermittlung der Trassenlängen erfolgte für jeden Anschlussbereich des Netzes individuell, so dass insgesamt ca. 1.500 iterative Berechnungen in die Parametrisierung eingingen. Jeder Anschlussbereich ist gemäß seiner Anschlussdichte einem Cluster zugewiesen. Ableiten ließen sich so clusterindividuelle Durchschnittswerte, die auf einer ausgesprochen guten Ausgangsinformation basieren.

Tabelle 3-3 vergleicht die Cluster bezogenen Werte für die Tiefbaupreise im Modell 2009 mit den jetzt verwendeten. Im Durchschnitt haben wir einen um 46% höheren Wert (nach aktuellen Angaben des BAKOM) verwendet. Er reflektiert im Wesentlichen die überwiegend durch Lohnkosten sowie durch neue Bauvorschriften und -normen

⁵² Wir setzen dazu den Augmented Shortest Path Algorithmus ein.

bestimmten Kostensteigerungen über die letzten fünfzehn Jahre. Weiterhin sind einige Kostenbestandteile enthalten, die 2009 nicht berücksichtigt wurden.

Tabelle 3-3: Tiefbaukosten im Modell 2009 und 2017

Cluster	Grabenpreise	Grabenpreise
	2009 [CHF]	2017 [CHF]
1	212,88	309,86
2	206,16	300,08
3	200,53	291,88
4	191,81	279,19
5	188,25	274,01
6	173,25	252,17
7	171,47	249,58
8	161,99	235,78
9	160,61	233,78
10	160,61	233,78
11	148,48	216,12
12	128,76	187,42
13	126,29	183,82
14	126,29	183,82
15	126,29	183,82
16	122,73	178,64
Ø	162,90	237,11

Quelle: WIK, BAKOM

Luftkabel sind eine weitere Möglichkeit zur Glasfasererschließung von Gebäuden. Vergleichsweise geringe Investitionen sind mit dieser Verlegeart verbunden, was relevant aus Netzbetreibersicht ist. Nicht zu erwarten ist jedoch, dass in der Schweiz Genehmigungen für neue Masten ausgestellt werden, vielmehr ist ein gegenläufiger Trend zu erkennen. Die Studie berücksichtigt eine Nutzung von Luftkabeln für das Glasfasernetz im gleichen Umfang wie derzeit im Kupfernetz. Unserer Einschätzung zufolge existieren keine technologischen oder physikalischen Restriktionen, die dagegen sprächen. Den Trend zur Abschaffung existierender Luftkabel greift die Studie nicht auf und nimmt stattdessen an, dass alle gegenwärtigen Luftkabel auch in Zukunft weiter fortbestehen und Glasfaserkabel darüber verlegt wird. Die Höhe der abgeleiteten Investitionen ist diesbezüglich also eher als konservativ einzuschätzen.

3.3.5 Inhausverkabelung

Die Installation von Glasfasern innerhalb des Gebäudes, die Inhausverkabelung, berücksichtigt das Modell als Kosten des Glasfaserausbaus, die nach Absprache mit dem BAKOM in der vorgenommenen Modellierung als vom Netzbetreiber zu tragen angenommen wurde, die also vom ARPU zu decken sind. Sie fallen erst an, wenn der erste Kunde im Gebäude akquiriert ist, und nicht bereits beim flächendeckenden Erschließen

eines Ausbaugebietes. Diese Parametrierung des Modells reflektiert daher den für die Netzbetreiber wirtschaftlich ungünstigeren Fall, den worst case. Tabelle 3-4 zeigt die Investitionen je Kunde pro Cluster.

Tabelle 3-4: Investitionen für Hausverkabelung (in CHF) pro Kunde

Cluster	Hausverkabelungs-investition	Cluster	Hausverkabelungs-investition
1	593,00	9	477,20
2	593,00	10	457,90
3	593,00	11	438,60
4	573,70	12	419,30
5	554,40	13	400,00
6	535,10	14	400,00
7	515,80	15	400,00
8	496,50	16	400,00

Quelle: WIK, BAKOM

3.3.6 Kosten für die Inanspruchnahme des Kupferanschlussnetzes

Bei der FTTC- und der FTTS-Architektur wird das Drop-Kabel des Kupferanschlussnetzes ganz (bei FTTC) oder teilweise (bei FTTS) mitbenutzt. Nur bis zu den jeweiligen Knoten wird das Glasfasernetz ausgebaut. Für diesen Kupfernetzabschnitt sind keine (neuen) Investitionen zu tätigen. Sie werden vielmehr bei der Swisscom angemietet. Auch wenn die Opportunitätskosten der Swisscom andere sein mögen, unterstellen wir auch bei ihr eine entsprechende Anmietung. Diese Anmietungskosten gehen als OPEX in die relevanten Kosten der Erbringung der Breitbandzugangleistungen an.

Für das Kupfernetz gibt es für die gesamte TAL sowie die Sub-loop bis zum Cabinet der Regulierung unterliegende aktuelle Preise von Swisscom (siehe Tabelle 3-5). Den kürzeren SSLU-Abschnitt setzen wir, der Kostenstruktur folgend, mit zwei Drittel des Wertes der Sub-loop an (Annahme).

Tabelle 3-5: Mietkosten für das Drop-Kabel Segment

LLU:	12,70 CHF
SLU:	10,50 CHF
SSLU:	$2/3 * 10,50 \text{ CHF} = 7 \text{ CHF}$

Zusätzliche Kosten für die Inhausverkabelung entstehen in diesen Fällen nicht. Die Kosten für die Kupferverkabelung gehen nur dann in die Kosten des Netzes ein, wenn auf ihnen Kunden angeschaltet werden (variable Kosten).

3.3.7 Datenvolumen der Endkunden

Als durchschnittliche Bandbreite pro Kunde und Monat ergibt sich ein Mischwert der Verkehrsvolumina in der Busy Hour aus Single, Double und Triple Play Diensten, sowie der Geschäftskunden und Mietleitungen. Hierbei wird eine Bandbreite von 20 Kbps pro Kunde für Telefonie angenommen, 600 Kbps für jeweils Double- und Triple-Play, sowie 650 Kbps für Geschäftskunden und 87040 Kbps (entsprechend 85 Mbps) für Mietleitungen. Insgesamt ermittelt sich so eine durchschnittliche Busy Hour-Bandbreite von 4.839 Kbps je Kunde und Monat. In Tabelle 3-6 sind die entsprechenden Anteile und Bandbreiten je Dienst zusammengefasst, die bei der Berechnung angenommen werden. Die angenommene Bandbreite je Kunde reflektiert das erhebliche Wachstum des Datenvolumens in den letzten Jahren und weiter erwartetes Wachstum für die Zukunft.

Tabelle 3-6: Datenvolumen der Endkunden

	Verkehr in der Busy Hour pro Kunde (in Kbps)	Anteil der Kunden
Voice	20	15%
Voice and Broadband	600	40%
Voice, Broadband and IPTV	600	32%
Business customer	650	8%
Leased Lines	87040	5%

Quelle: BAKOM

3.4 Reconciliation der FTTH Modellergebnisse 2009 mit 2017

Um die Modelle miteinander zu vergleichen, haben wir im neuen Modell sukzessive wesentliche Veränderungen in den Parameterwerten rückgängig gemacht und stattdessen die Parameterwerte der Modellierung von 2009 eingesetzt. Im Endergebnis ergibt sich für den flächendeckenden Ausbau der Schweiz mit FTTH im neuen Modell mit den Parametern des Modells von 2009 im Vergleich zum alten Modell mit den alten Parametern ein Unterschied in den Gesamtinvestitionen in Höhe von (nur) 100 Mio. CHF. Dies ist ein Unterschied von weniger als 0,5%. Dieses Ergebnis bedeutet, dass die Ergebnisse von 2009 modellmäßig gut mit denen von 2017 verglichen werden können. Die neuen Ergebnisse lassen sich alle (im Kern) auf die geänderten Inputfaktoren zurückführen. Sie sind nicht die Folge eines geänderten Modellansatzes.

Abbildung 3-3: Reconciliation der FTTH Modelle 2009 und 2017

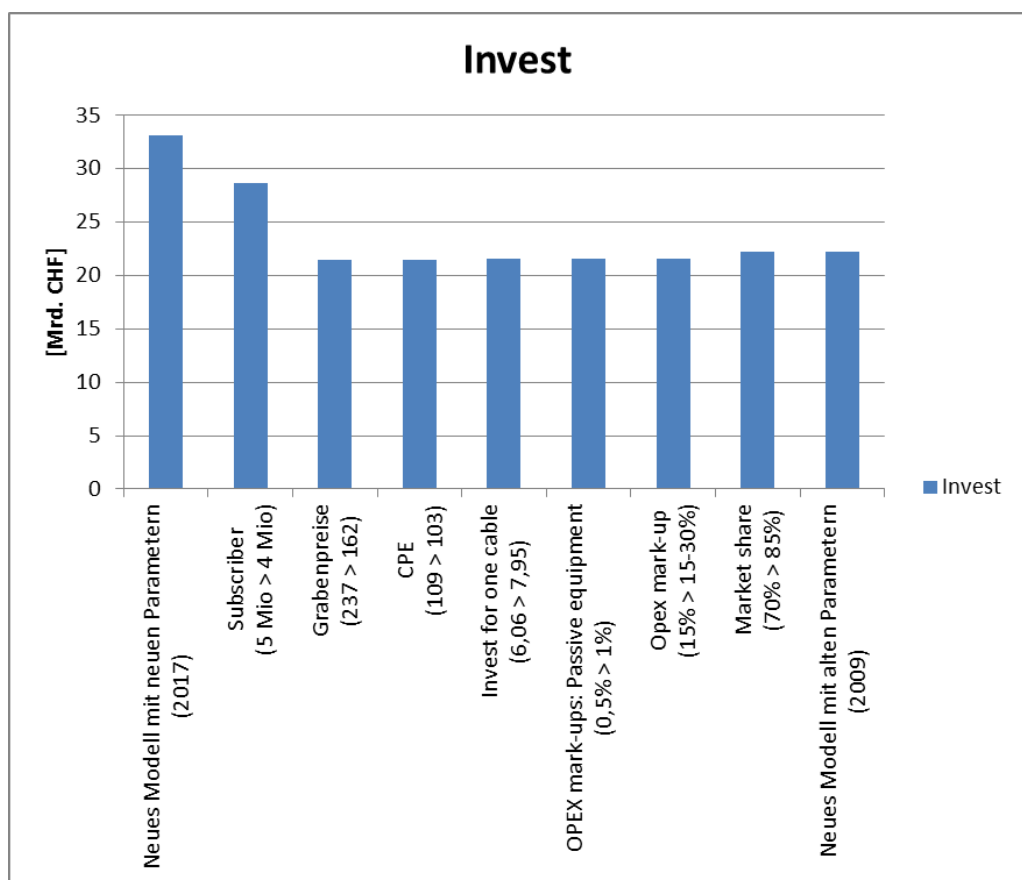
**Sukzessive Parameteranpassung von "neu nach alt" im neuen Modell 9.3.
Beobachtete Werte: Total Invest at XY%/OPEX, ohne Subsidy für FTTH/P2P**

<< Reihenfolge << in jedem Schritt ein weiterer Parameter geändert	(Alle Werte gerundet)	
	(neuer Wert > alter Wert)	
	Invest [Mrd. CHF]	OPEX [Mio. CHF]
	consider fixed market share: yes	
Neues Modell mit neuen Parametern (25.07.2017)	33,1	61,3
Subscriber (5 Mio > 4 Mio)	28,6	54,5
Grabenpreise (237 > 162)	21,4	44,1
CPE (109 > 103)	21,4	43,9
Invest for one cable (6,06 > 7,95)	21,6	44,2
OPEX mark-ups: Passive equipment (0,5% > 1%)	21,6	52,6
Opex mark-up (15% > 15-30%)	21,6	58,8
Market share (70% > 85%)	22,2	60,8
Neues Modell mit alten Parametern (2009)	22,2	
Altes Modell mit alten Parametern (2009)	22,3	

Quelle: WIK

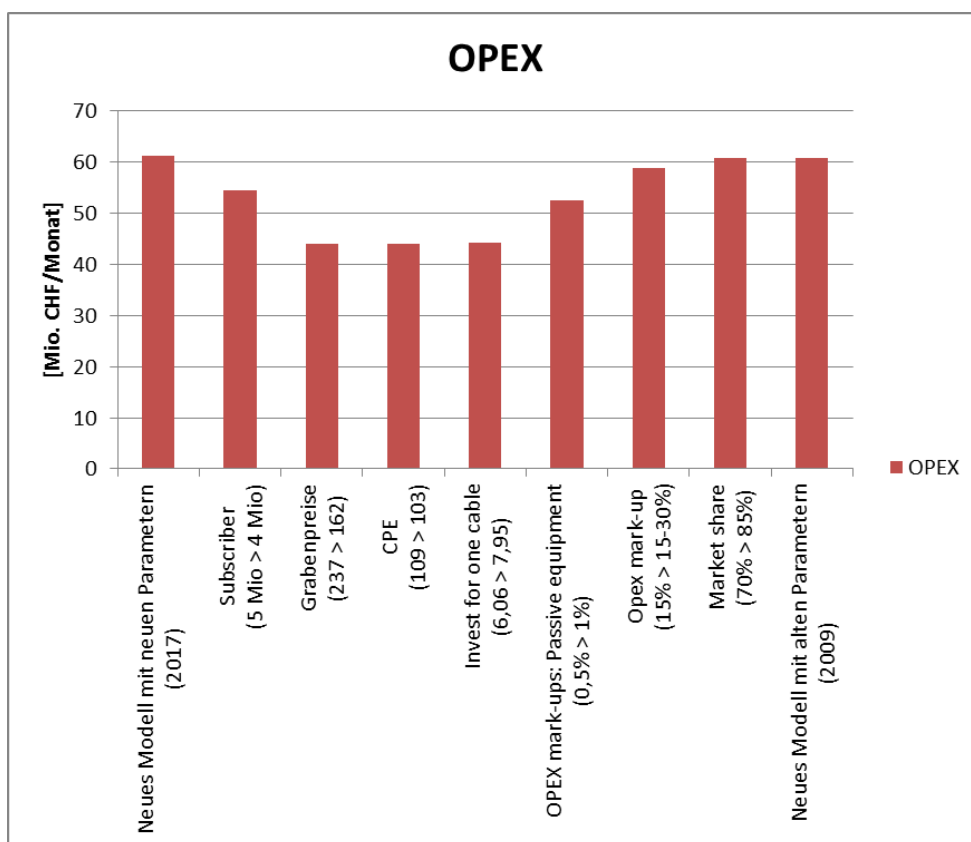
Der von uns vorgenommene Reconciliation-Ansatz der sukzessiven Parameteränderung erlaubt auch, den Effekt der einzelnen Parameteränderung abzuschätzen. Dies ist in Abbildung 3-4 für die Investitionen und in Abbildung 3-5 für die OPEX dargestellt.

Abbildung 3-4: Reconciliation - Investitionen



Quelle: WIK

Abbildung 3-5: Reconciliation - OPEX



Quelle: WIK

Die Steigerung der Anschlusszahl von 4,5 auf 5,1 Mio. erfordert Zusatzinvestitionen in Höhe von 4,5 Mrd. CHF. Die Steigerung der Tiefbaukosten um 46% erhöht den Investitionsaufwand (ceteris paribus) um 34%. Alle anderen Preisänderungen bei den Investitionswerten haben dagegen nur marginale Effekte.

Die erhöhten Tiefbaukosten und die Vergrößerung der Anschlusszahl wirken sich auch signifikant auf die OPEX aus. OPEX senkend wirken sich die auf neuen Erfahrungswerten basierenden geringeren Zuschläge auf aktive und passive Investitionen aus.

Für den WACC haben wir dann noch eine gesonderte Sensitivitätsrechnung durchgeführt. Wir haben also die Ergebnisse für 2017 statt mit einem WACC von 5,5% mit dem höheren Wert von 8% (aus 2009) berechnet. Es stellen sich folgende Ergebnisse für den jeweils flächendeckenden Ausbau des Netzes mit einer NGA-Architektur ein:

- (1) Der höhere WACC hat keinen Einfluss auf die erforderlichen Investitionen und die OPEX.

- (2) Die Gesamtkosten steigen jedoch bei FTTH um ca. 16%, bei FTTS um 10% und bei FTTC um 6%.
- (3) Die Gesamtkostensteigerung reduziert die profitable Ausbaugrenze:⁵³
- bei FTTH von Cluster 12 auf Cluster 9;
 - bei FTTS bleiben Cluster 15 und 16 unrentabel
 - bei FTTC bleibt das Cluster 16 unrentabel.

Die unterschiedlichen Effekte bei der Profitabilität folgen daraus, dass der Anteil der Kapitalkosten an den Gesamtkosten bei FTTH deutlich höher ist als bei FTTS und FTTC.

⁵³ Siehe hierzu Abschnitt 4.2.1.

4 Modellszenarien und Ergebnisse

4.1 Die bestehende Netzabdeckung mit Hochbreitband als Ausgangspunkt

4.1.1 Die Schweiz im europäischen Vergleich

Die Schweiz verfügt im Vergleich mit den Mitgliedstaaten der EU über eine hervorragende Versorgung und Netzabdeckung mit Breitband. Dies gilt auch für die Netzabdeckung mit besonders leistungsfähigen Hochbreitbandanschlüssen. Im Rahmen ihrer regelmäßigen Berichterstattung über die Digital Agenda for Europe (DAE) lässt die Europäische Kommission regelmäßig Daten über die Breitbandversorgung in den Mitgliedstaaten nach einem einheitlichen methodischen Raster erheben. Diese fließen dann mit einer Reihe anderer Indikatoren in den Digital Scoreboard zu einem Digital Economy and Society Index (DESI) zusammen. Dieser Index misst die digitale Performance in den Mitgliedstaaten und ihre digitale Wettbewerbsfähigkeit. Auch wenn die Datengenerierung der Breitbandindikatoren nicht immer in jeglicher Hinsicht transparent ist, haben diese Daten den Vorteil, dass sie nach einem einheitlichen methodischen Raster erstellt werden und so eine gewisse Vergleichbarkeit gewährleistet ist. Seit einigen Jahren werden auch die Daten der Breitbandversorgung in der Schweiz im Rahmen einer Zusatzerhebung von den Verfassern dieser Vergleichsstudie erhoben. Die aktuelle Broadband Coverage Studie zur Schweiz wurde von IHS (2017) im Mai 2017 vorgelegt. Die Ergebnisse beruhen auf einem Survey von Netzbetreibern und Regierungsbehörden. Die ausgewiesenen Ergebnisse beziehen sich auf den aktuellen Rand Ende Juni 2016.

Wir stellen im Folgenden die quantitativen Ergebnisse dieser Studie dar. Sie erscheint uns, wie gesagt, trotz einer z.T. fehlenden Transparenz der Datengenerierung im Detail für den europäischen Vergleich die beste Quelle zu sein.

Die Breitbandnetzabdeckung im Sinne von homes passed wird getrennt nach Technologien ausgewiesen. Die Ergebnisse werden jeweils auf nationaler Basis und zusätzlich für den ländlichen Raum ausgewiesen. Der ländliche Raum wird dabei spezifiziert über Gebiete mit einer Besiedlungsdichte von weniger als 100 Einwohner/km². Nach dieser Klassifizierung sind 12,7% der Schweizer Bevölkerung im ländlichen Raum angesiedelt.

Neben der technologiebezogenen Netzabdeckung weist die Studie die Breitbandversorgung auch kombiniert, d.h. im Technologiemix aus. Hierbei steht im Vordergrund, zu welchen Breitbandprodukten gemessen über die Übertragungsgeschwindigkeit Kunden Breitbandzugang erhalten können. Entsprechend den europäischen Breitbandzielen unterscheidet die Studie dabei drei Geschwindigkeitsklassen:

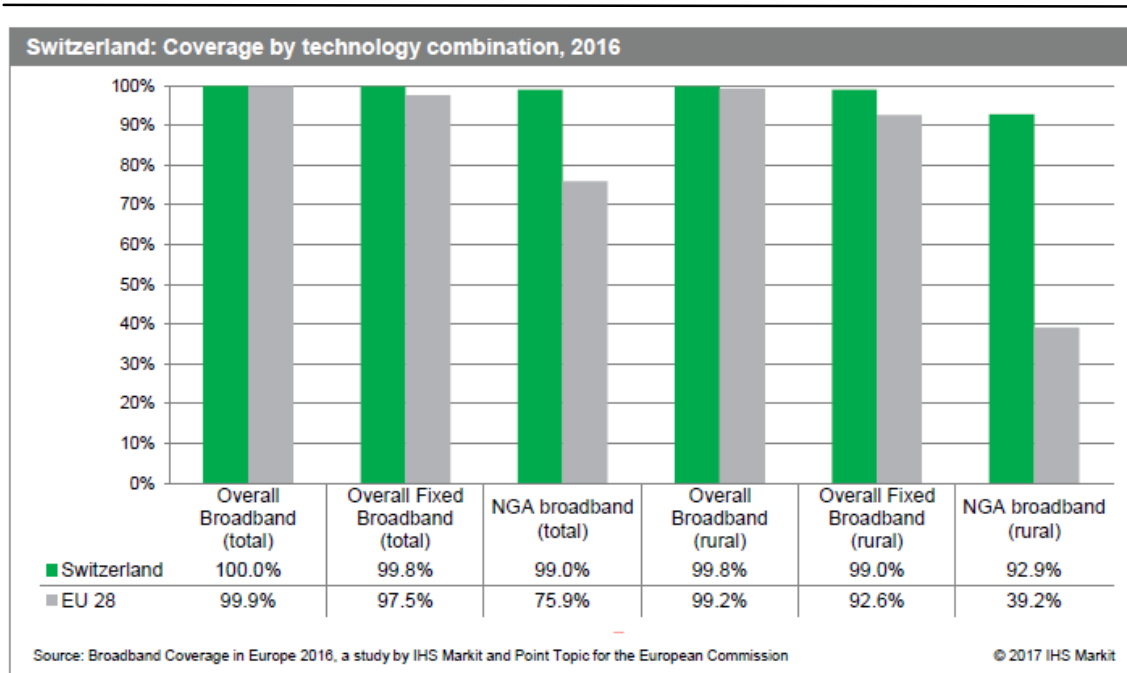
- Netzabdeckung durch Breitbandnetze mit einer Downloadgeschwindigkeit von wenigstens 2 Mbps,
- Netzabdeckung durch Breitbandnetze mit einer Downloadgeschwindigkeit von mindestens 30 Mbps,
- Netzabdeckung durch Breitbandnetze mit einer Downloadgeschwindigkeit von mindestens 100 Mbps.

Dieses Messkonzept trägt dem Umstand Rechnung, dass Breitbandtechnologien überlappend bzw. im Wettbewerb untereinander für den Endnutzer zur Verfügung stehen. In aller Regel haben Nutzer in städtischen und halbstädtischen Gebieten die Option, auf zwei oder mehr Breitbandtechnologien zugreifen können. In ländlichen Bereichen ist dagegen oft die Verfügbarkeit von Hochbreitband begrenzt oder auch nicht gegeben.

Wir haben in Kapitel 2 abgeleitet, welche Leistungsfähigkeit die verschiedenen Breitbandtechnologien aufzuweisen haben. Hochbreitband, begrifflich in der Schweiz synonym mit der NGA-Bandbreite von mindestens 30 Mbps, kann danach von FTTH, Kabel (soweit auf DOCSIS 3.0 aufgerüstet), FTTS und mit Einschränkungen von FTTC und mit noch mehr Einschränkungen von der Mobilfunktechnologie LTE dargestellt werden.

Nach den Ergebnissen der IHS-Studie bleibt die Schweiz auch in 2016 eines der führenden europäischen Länder bei der Breitbandverfügbarkeit in nahezu allen gemessenen Kategorien. Die Grundversorgung mit Breitbandzugang ist in der Schweiz flächendeckend gegeben. 99,8% der Haushalte haben Zugang zu wenigstens einem Breitbandzugangsdienst (siehe Abbildung 4-1). Nach den Daten von IHS, die sich hier allerdings nicht mit dem Breitbandatlas für die Schweiz decken, gibt es in der Schweiz auch mit 99% eine universelle Verfügbarkeit von NGA. Selbst im ruralen Bereich liegt die Verfügbarkeit von NGA-Breitband mit 92,9% deutlich über dem europäischen Durchschnitt von 39,2%.

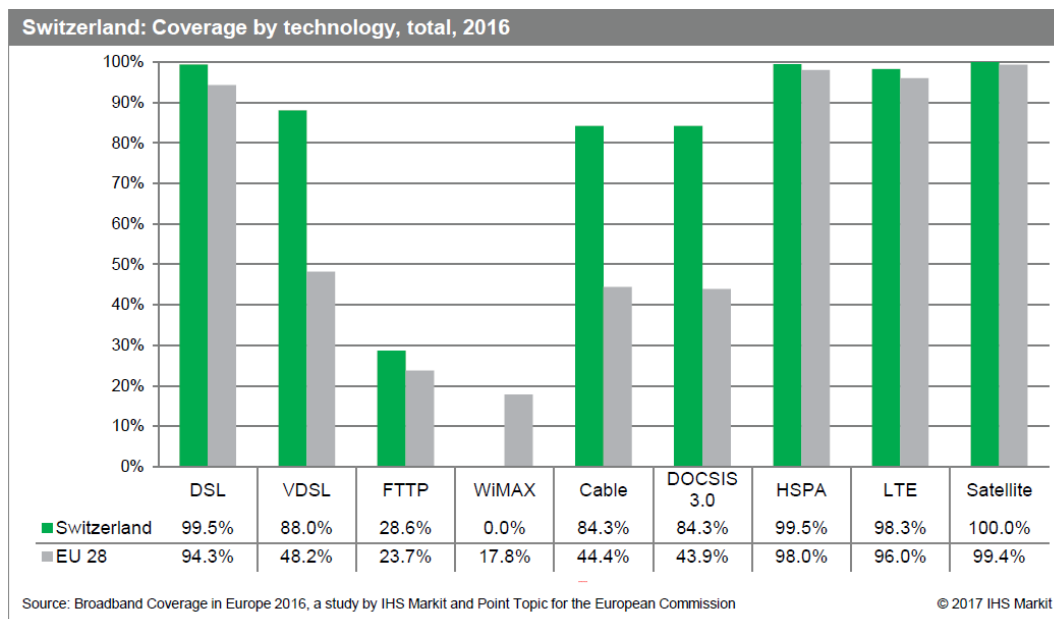
Abbildung 4-1: Breitbandabdeckung im Technologiemix



Quelle: IHS (2017), S. 17

DSL-Netze sind in 99,5% aller Haushalte in der Schweiz verfügbar (siehe Abbildung 4-2). Mit 88% ist die Netzabdeckung mit VDSL fast doppelt so hoch wie in der EU. Die Schweiz zählt damit zu den sechs europäischen Ländern mit einer VDSL-Abdeckung von mehr als 80%. Nur Belgien und Luxemburg weisen eine höhere VDSL-Abdeckung auf.

Abbildung 4-2: Nationale Netzabdeckung mit Breitbandtechnologien

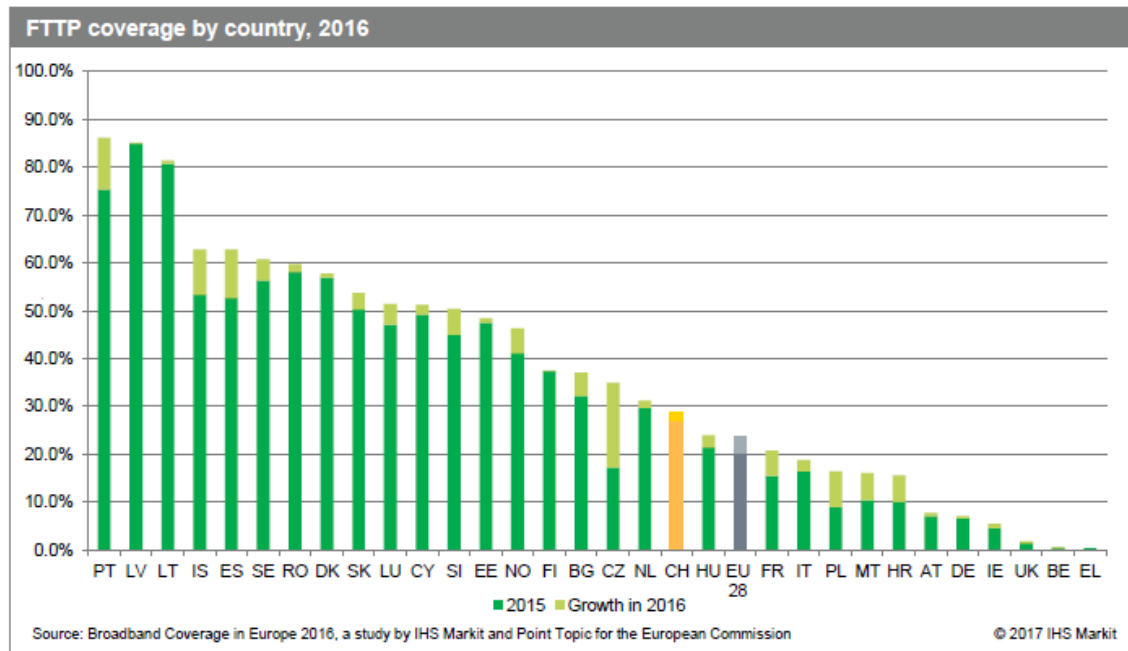


Quelle: IHS (2017), S. 18

Auch bei der Abdeckung mit Glasfasernetzen liegt die Schweiz mit 28,6% über dem EU-Durchschnitt von 23,7%. Wie Abbildung 4-3 zeigt, haben hier allerdings eine Reihe von Ländern größere Fortschritte erreicht. Die führenden Länder Portugal, Litauen und Lettland haben bereits eine Glasfaserabdeckung von mehr als 80% erreicht. Spanien als Flächenland hat bereits eine Abdeckung mit Fibre-to-the-premises (FTTP resp. FTTH/B) von 60%. Deutlich über der FTTP-Abdeckung in der Schweiz liegt auch Schweden mit 60% und Norwegen mit 57%.

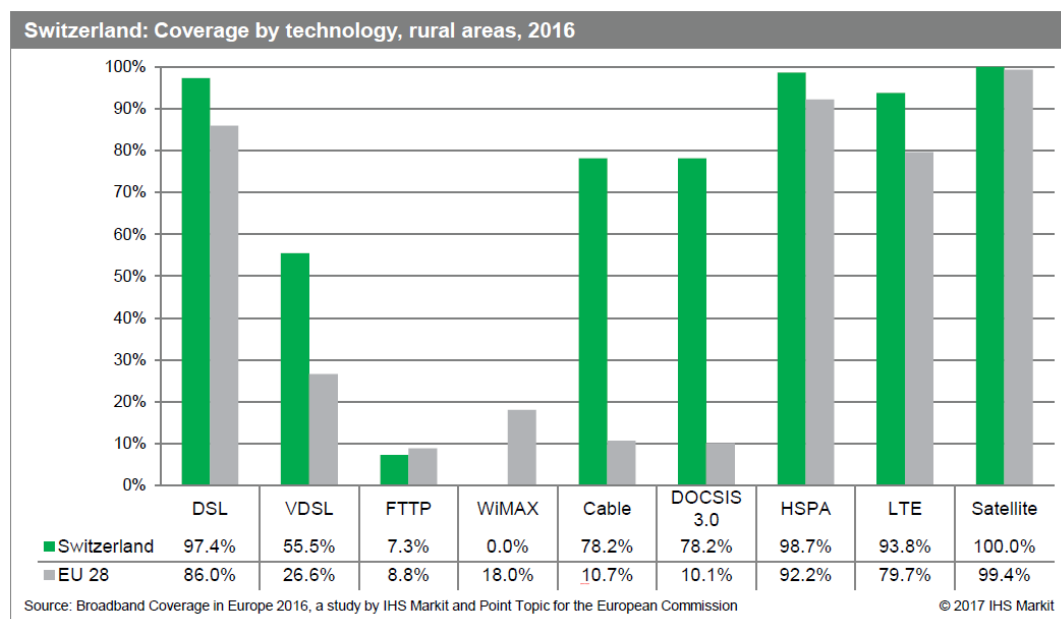
Besonders bemerkenswert ist in der Schweiz der Beitrag der Kabelnetze zur Verfügbarkeit von Hochbreitband im ländlichen Bereich. 78,2% aller Haushalte im ländlichen Bereich haben Zugang zu Hochbreitband über Kabel. In der EU insgesamt liegt dieser Beitrag der Kabelnetze bei nur 10,7%. In diesem Wert kommt zum Ausdruck, dass bei einer nationalen Kabelnetzabdeckung von 84,3% in der Schweiz die Verfügbarkeit von Kabelnetzen im ländlichen Bereich annähernd gleich hoch ist. Vor allem sind auch alle Kabelnetze in der Schweiz auf den Standard DOCSIS 3.0 aufgerüstet. Kabelnetze sind daher die führende NGA-Technologie im ländlichen Raum.

Abbildung 4-3: FTTP-Abdeckung 2016



Quelle: IHS (2017), S. 10

Abbildung 4-4: Netzabdeckung mit Breitbandtechnologien im ländlichen Bereich



Quelle: IHS (2017), S. 19

Tabelle 4-1: Gesamtüberblick Breitbandtechnologien 2014, 2015, 2016

Statistic	National	
Population	8,233,842	
Persons per household	2.3	
Rural proportion	12.7%	

Technology	Switzerland 2016		Switzerland 2015		Switzerland 2014		EU28 2016	
	Total	Rural	Total	Rural	Total	Rural	Total	Rural
DSL	99.5%	97.4%	99.5%	97.4%	99.4%	97.4%	94.3%	86.0%
VDSL	88.0%	55.5%	81.5%	39.7%	79.7%	38.7%	48.2%	26.6%
FTTP	28.6%	7.3%	27.0%	6.6%	25.9%	6.2%	23.7%	8.8%
WiMAX	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	17.8%	18.0%
Cable	84.3%	78.2%	84.1%	78.0%	83.9%	77.6%	44.4%	10.7%
DOCSIS 3.0	84.3%	78.2%	84.1%	78.0%	83.9%	77.6%	43.9%	10.1%
HSPA	99.5%	98.7%	99.4%	97.6%	99.0%	96.1%	98.0%	92.2%
LTE	98.3%	93.8%	92.3%	72.2%	91.8%	69.9%	96.0%	79.7%
Satellite	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	99.4%	99.4%
Overall broadband	100.0%	99.8%	99.9%	99.6%	99.9%	99.6%	99.9%	99.2%
Overall fixed broadband	99.8%	99.0%	99.8%	99.0%	99.8%	99.0%	97.5%	92.6%
NGA broadband	99.0%	92.9%	98.9%	92.7%	98.8%	91.6%	75.9%	39.2%
At least 2 Mbps	99.8%	-	99.8%	-	99.8%	-	96.7%	-
At least 30 Mbps	98.9%	-	98.9%	-	98.7%	-	75.1%	-
At least 100 Mbps	98.5%	-	98.4%	-	98.3%	-	50.8%	-

Quelle: IHS (2017), S. 21

4.1.2 Räumliche Netzabdeckung mit Hochbreitband nach dem Breitbandatlas

Um die in der Schweiz bereits vorhandene Versorgung und Netzabdeckung mit Hochbreitband in die modellmäßige Ermittlung des noch bestehenden Abdeckungsbedarfs einzubeziehen, ist die räumliche Abbildung der vorhandenen Netzabdeckung darzustellen. Wir haben uns dazu auf Daten des Breitbandatlas mit Stand vom 18.05.2017 abgestützt, die uns seitens des BAKOM zu diesem Zweck in Form der Rohdaten zur Verfügung gestellt wurden. Da das BAKOM bei jedem Netzbetreiber die Erlaubnis zur Verwendung der für den Breitbandatlas eingereichten Daten einholen musste, wurden nur die Netze von Swisscom, UPC, Quickline und 96 weiteren Kabelnetzbetreibern berücksichtigt. Damit wird aber der weitaus überwiegende Teil der Netzabdeckung in der Schweiz abgedeckt.

Die vom BAKOM zur Verfügung gestellten Rohdaten des Breitbandatlas liefern einen Datensatz, der für jedes Gebäude in der Schweiz folgende Angaben liefert:

1. Anslusstechologie, mit der ein Gebäude angeschlossen ist
 - FTTH
 - Kabelnetz
 - Festnetz (FTTS, FTTC oder reiner Kupferanschluss)
2. Netzbetreiber, der die jeweilige Anslusstechologie liefert (Swisscom oder ein Kabelnetzanbieter)
3. Bereitgestellte Anslusstgeschwindigkeit; insgesamt ca. 120 verschiedene Geschwindigkeiten, die wir folgenden Klassen zugeordnet haben:
 - von 0/0 bis 90/20 (DS/US), von uns als reiner Kupferanschluss mit ADSL gewertet
 - von 90/20 bis 100/25, von uns als FTTC gewertet
 - von 100/25 bis 550/140, von uns als FTTS gewertet
 - 1000/1000, von uns als FTTH gewertet
4. Wohnungen je Gebäude
5. Zuordnung des Gebäudes zu einem bestimmten Anslustbereich

Zur Ermittlung der versorgten Ansluste mit einzelnen Technologien haben wir folgende Zuordnungskonventionen vorgenommen:

1. Jeder Wohnung eines Gebäudes wurde ein Anslust in der jeweiligen Technologie zugerechnet.
2. Beim Anslust eines Gebäudes an eine Breitbandtechnologie wurde angenommen, dass alle Wohnungen in diesem Gebäude mit dieser Technologie angeschlossen sind.

3. Gebäuden ohne Wohnung (dies wird i.d.R. eine Arbeitsstätte sein) wurde ein Anschluss zugeordnet.

Die Grunddaten des Breitbandatlas verbunden mit den hier beschriebenen Zuordnungskonventionen ergeben eine Gesamtzahl von 5,136 Millionen zu versorgender Anschlüsse in der Schweiz.

Für die Anwendung des NGA-Modells ist die bestehende Ausgangsversorgung der Anschlüsse auf die 16 nach Anschlussdichte in den Anschlussbereichen strukturierten Cluster der Schweiz zuzuordnen. Diese haben wir gegenüber dem FTTH-Modell von 2009 zur Sicherung von Vergleichbarkeit unverändert gelassen (siehe hierzu Abschnitt 3.2.1.2). Diese Zuordnung hat im übrigen technologiebezogen zu erfolgen, da dies der Modellstruktur entspricht. Für FTTH und Kabel liefert der Breitbandatlas diese Informationen unmittelbar. Für FTTC und FTTS weist der Breitbandatlas diese Zuordnung nicht aus. FTTC- und FTTS-Anschlüsse sind in der Summenkategorie „Festnetzanschlüsse“ zusammen mit ADSL-Anschlüssen, die als reine Kupferanschlüsse realisiert sind, dargestellt. Ausgehend von den Anschlusszahlen der Swisscom haben wir diese den folgende Geschwindigkeitsklassen des Breitbandatlas zugeordnet⁵⁴:

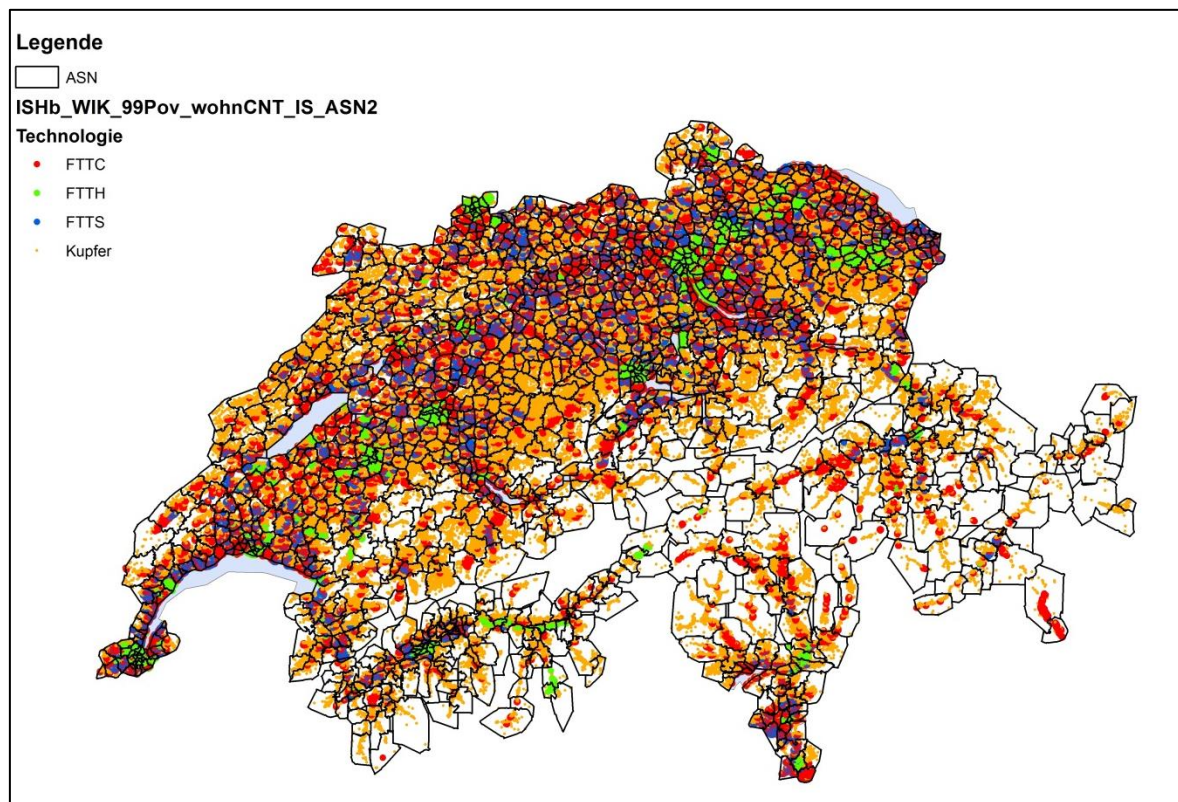
- Reine Kupferanschlüsse: >2 Mio. Anschlüsse von 0/0 bis 90/20 (DS/US)
- FTTC: <1 Mio. Anschlüsse: von 90/20 bis 100/25
- FTTS: <1 Mio. Anschlüsse: von 100/25 bis 550/140
- FTTH: >1 Mio. Anschlüsse: 1000/1000

Die Abdeckungszahlen der Swisscom wurden so auf die aus dem Breitbandatlas ermittelten Anschlüsse räumlich projiziert. Die reinen Kupferanschlüsse bildeten dann die Restmenge der (noch) nicht verteilten Anschlüsse. Die Verteilung der zahlreichen Anschlüsse der Geschwindigkeitsklasse 100/25 auf FTTS- und FTTC-Anschlüsse erfolgte der ökonomischen Ausbaulogik folgend von den weniger dicht besiedelten Clustern her. Dabei wurde in den Clustern 15 und 16 die Geschwindigkeitsklasse 100/25 den FTTC-Anschlüssen zugeordnet, da sich der FTTS-Ausbau in sehr dünn besiedelten Gebieten als überaus teuer darstellt.

Abbildung 4-5 stellt die Technologiezuordnung der Festnetzanschlüsse graphisch in einem GIS-System dar.

⁵⁴ Zur Wahrung von Geschäftsgeheimnissen von Swisscom werden vorliegend nur Grössenordnungen angegeben.

Abbildung 4-5: Räumliche Verfügbarkeit von Hochbreitband in der Schweiz nach Technologie (gemäss WIK-Zuordnung)



Quelle: WIK

Tabelle 4-2 stellt das Ergebnis unserer Zuordnung der Anschlüsse nach Technologie und Cluster dar. Auf eine Abbildung der berücksichtigten Abdeckung von Swisscom wird zur Wahrung von Geschäftsgeheimnissen verzichtet. Da auch Kabelanbieterinnen in einem begrenzten Umfang FTTH-Anschlüsse errichtet haben, haben wir dies im Technologiemix „Swisscom und FTTH-Kabelanbieterinnen“ in der rechten Tabelle dargestellt. Die linke Tabelle repräsentiert die gesamte Marktverteilung der Anschlüsse unter Berücksichtigung der Netzabdeckung mit Kabel. Dargestellt ist jeweils die beste für einen Haushalt verfügbare Anschlusstechnologie in folgender Selektionshierarchie:

FTTH>COAX>FTTS>FTTC>COPP,

wobei „COAX“ den Breitbandanschluss über ein Kabelnetz und „COPP“ den Breitbandanschluss über ein reines Kupferanschlussnetz repräsentiert. Dabei ist unterstellt, dass jeder Haushalt über einen Kupfernetzanschluss erreicht wird und dies insofern auch eine Back-up Lösung darstellt.

Tabelle 4-2: Verfügbarkeit von Breitbandanschlüssen nach Betreibern, Clustern und Technologie

Technologiemix je Cluster Gesamt						Technologiemix je Cluster Kabelanbieterinnen						Technologiemix je Cluster Swisscom & FTTH Kabelanbieterinnen					
Cluster	COPP	FTTC	FTTS	COAX	FTTH	Cluster	COPP	FTTC	FTTS	COAX	FTTH	Cluster	COPP	FTTC	FTTS	COAX	FTTH
1	2,1%	0,1%	0,0%	16,3%	81,5%	1	0,0%	0,0%	0,0%	91,5%	0,0%	1	18,0%	0,5%	0,0%	0,0%	81,5%
2	6,4%	0,9%	0,0%	19,1%	73,6%	2	0,0%	0,0%	0,0%	86,6%	0,1%	2	22,8%	3,6%	0,0%	0,0%	73,6%
3	3,7%	1,7%	0,0%	32,8%	61,7%	3	0,0%	0,0%	0,0%	86,5%	3,4%	3	28,3%	9,9%	0,1%	0,0%	61,7%
4	5,6%	1,3%	0,0%	31,4%	61,7%	4	0,0%	0,0%	0,0%	86,6%	0,3%	4	30,0%	8,3%	0,0%	0,0%	61,7%
5	6,9%	4,0%	0,1%	54,0%	34,9%	5	0,0%	0,0%	0,0%	86,1%	0,1%	5	38,0%	26,3%	0,8%	0,0%	34,9%
6	7,8%	3,2%	0,0%	49,6%	39,4%	6	0,0%	0,0%	0,0%	79,5%	6,0%	6	39,9%	20,6%	0,0%	0,0%	39,4%
7	7,3%	4,3%	0,0%	66,7%	21,6%	7	0,0%	0,0%	0,0%	85,0%	1,1%	7	46,8%	31,5%	0,1%	0,0%	21,6%
8	7,6%	3,7%	0,0%	71,7%	17,0%	8	0,0%	0,0%	0,0%	85,6%	0,4%	8	55,9%	27,0%	0,1%	0,0%	17,0%
9	8,1%	1,1%	3,0%	64,2%	23,7%	9	0,0%	0,0%	0,0%	80,2%	4,6%	9	50,0%	6,7%	19,6%	0,0%	23,7%
10	8,1%	1,0%	2,7%	74,3%	14,0%	10	0,0%	0,0%	0,0%	86,0%	1,5%	10	52,6%	7,0%	26,4%	0,0%	14,0%
11	12,7%	1,9%	3,5%	70,1%	11,8%	11	0,0%	0,0%	0,0%	78,6%	2,4%	11	53,2%	10,2%	24,8%	0,0%	11,8%
12	12,3%	2,1%	3,6%	70,2%	11,8%	12	0,0%	0,0%	0,0%	76,5%	2,9%	12	51,5%	9,7%	27,0%	0,0%	11,8%
13	15,7%	2,2%	4,0%	72,7%	5,4%	13	0,0%	0,0%	0,0%	73,9%	3,6%	13	61,0%	10,0%	23,6%	0,0%	5,4%
14	22,9%	3,2%	4,9%	65,1%	4,0%	14	0,0%	0,0%	0,0%	67,6%	0,4%	14	63,9%	9,9%	22,3%	0,0%	4,0%
15	32,6%	8,9%	0,0%	55,1%	3,5%	15	0,0%	0,0%	0,0%	55,3%	2,1%	15	73,9%	22,6%	0,1%	0,0%	3,5%
16	58,3%	12,1%	0,1%	27,2%	2,3%	16	0,0%	0,0%	0,0%	27,4%	1,3%	16	80,3%	17,3%	0,1%	0,0%	2,3%

Quelle: WIK

Folgendes Lesebeispiel für den „Technologiemix je Cluster Gesamt“ soll den Kontext der in Tabelle 4-2 vorgenommenen Zuordnung erläutern. Im Cluster 1, dem dichtest besiedelten Teil der Schweiz, gilt: Für 81,5% der Wohnungen und Arbeitsstätten ist hier die beste verfügbare Anslusstechologie ein FTTH-Anschluss. Für 16,3% der Wohnungen und Arbeitsstätten ist die beste verfügbare Anslusstechologie ein Kabelanschluss. Dies ist nicht zu verwechseln mit dem Gesamtanteil der in diesem Cluster verfügbaren Kabelanschlüsse. Dieser ist weitaus höher. Insofern kann der weitaus meiste Teil der Wohnungen und Arbeitsstätten zwischen Kabel und FTTH wählen. Für 0,1% ist FTTC die beste noch verfügbare Breitband-Technologie und 2,1% der Wohnungen und Arbeitsstätten in Cluster 1 haben „nur“ Zugang zu einem rein kupferbasierten Breitbandanschluss. Die Zeilensumme beträgt hier jeweils 100%, da die Gesamtmarktversorgung abgebildet ist. Die Verfügbarkeit von FTTH nimmt nahezu kontinuierlich mit der Anschlussdichte (Cluster mit steigender Ordnungszahl) ab. Aber auch im am wenigsten dicht besiedelten Cluster 16 gibt es noch eine geringe Anzahl von Glasfaseranschlüssen. Von den 2,3% der hier verfügbaren Glasfaseranschlüsse werden dabei von Swisscom weniger als von Kabelanbieterinnen dargestellt.

Die Tatsache, dass Swisscom keine Kabelanschlüsse bereitstellt, ändert nichts am relativen Anteil der FTTH-Verfügbarkeit durch Swisscom in Cluster 1. Geringfügig steigt der Anteil der Wohnungen und Arbeitsstätten mit FTTC als beste verfügbarer Technologie. Wegen der universellen Verfügbarkeit der Kupferanschlüsse steigt dieser Anteil (wegen der mangelnden Berücksichtigung von Kabel) deutlich an.

Der Technologiemix der Kabelanbieterinnen besteht überwiegend aus Kabelnetzanschlüssen. Hierzu kommen geringe Anteile von FTTH-Anschlüssen.

Die räumliche Zuordnung („das Mapping“) der verfügbaren Netzabdeckung, wie sie in Tabelle 4-2 dargestellt ist, bildet den zentralen Ausgangspunkt für die späteren Szenarienrechnungen für Investitionen und Kosten einer flächendeckenden Abdeckung mit bestimmten Technologien bzw. einem Technologiemix.

4.2 Flächendeckende Netzabdeckung mit einer Technologie im Festnetz (ohne Berücksichtigung der bestehenden Netzabdeckung)

Im Folgenden sollen zunächst in einem ersten Analyseschritt die Ergebnisse für eine flächendeckende Versorgung der Schweiz mit einer Festnetztechnologie dargestellt werden. Die Ergebnisse spiegeln die Greenfieldbetrachtung wieder, dass noch kein Ausbau in der entsprechenden Technologie stattgefunden hat und alle Investitionen noch zu tätigen wären.

4.2.1 Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTH

Tabelle 4-3 stellt die Modellergebnisse für einen flächendeckenden Netzausbau mit FTTH dar. Die Ergebnisse sind für jedes Cluster disjunkt bestimmt und können insofern für jedes einzelne Cluster, die Summe mehrerer Cluster und schließlich schweizweit in Summe aller Dichtecluster interpretiert werden. Zur Erläuterung der Ergebnisse sollen die Werte des Cluster 1 hier verbalisiert werden. Zum Cluster 1 zählen Anschlussbereiche mit einer Anschlussdichte von mehr als 7.000 Anschlüssen pro km².

Dies sind insgesamt 159.153 oder 3% aller Anschlüsse in der Schweiz. Insofern repräsentieren diese Zahlen die homes passed in diesem Cluster. Für das Festnetz sind maximal 70% der (potenziellen) Anschlüsse als Kunden gewinnbar. Der komplementäre Anteil entfällt auf Kabelanschlüsse und Mobile-only Anschlüsse. Um alle Anschlüsse in diesem Cluster zu versorgen, sind Investitionen in Höhe von 288,8 Mio. CHF erforderlich. Dies entspricht Investitionen in Höhe von 1.815 CHF pro home passed und 2.592 CHF pro home connected. Für den Betrieb des Netzes im Cluster 1 muss der Betreiber operative Aufwendungen in Höhe von 1,6 Mio. CHF pro Monat erbringen. Im Cluster 1 ergeben sich für den Netzbetreiber Gesamtkosten in Höhe von 44,32 CHF pro Kunde und Monat. Bei einem angenommenen ARPU in Höhe 101,90 CHF ergeben sich für den Anbieter demnach Überschüsse in Höhe von 57,58 CHF pro Kunde und Monat. Im Cluster 1 ist ein Marktanteil von allen Anschlüssen in Höhe von (nur) 16% erforderlich, um das Glasfasernetz hier profitabel betreiben zu können.

Entsprechend können die Werte für die folgenden Cluster interpretiert werden. Darüber hinaus sind auch die über die Cluster kumulierten Werte für Anschlüsse, Kunden, Investitionen, OPEX, Kosten und Gewinn ausgewiesen.

Die Investitionen steigen, wie zu erwarten, mit abnehmender Anschlussdichte kontinuierlich an. Pro Anschluss sind sie im Cluster 16 fast 9-mal so hoch wie in Cluster 1. In Cluster 16 erfordert ein FTTH-Anschluss im Durchschnitt Investitionen in Höhe von 18.112 CHF; im Cluster 12 liegen die durchschnittlichen Investitionen bei 6.150 CHF. Dieser Wert liegt geringfügig unter dem schweizweiten Durchschnitt von 6.441 CHF pro Anschluss. Ein flächendeckendes Glasfasernetz für die gesamte Schweiz erfordert Investitionen in Höhe von insgesamt 33,1 Mrd CHF.

Tabelle 4-3: Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTH (Greenfield)

FTTH/P2P

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Market Share	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Crit. Market Share	Invest Delta [CHF]
1	159.153	3%	70%	111.407	3%	288.800.950	288.800.950	2.592	1.815	1.598.782	1.598.782	44,32	4.937.793	4.937.793	101,90	6.414.591	57,58	6.414.591	16%	0
2	270.729	8%	70%	189.510	8%	617.055.073	905.856.023	3.256	2.279	2.715.711	4.314.493	48,94	9.274.664	14.212.456	101,90	10.036.436	52,96	16.451.027	20%	0
3	235.814	13%	70%	165.070	13%	648.568.768	1.554.424.791	3.929	2.750	2.600.266	6.914.759	55,33	9.133.197	23.345.653	101,90	7.687.416	46,57	24.138.442	27%	0
4	290.004	19%	70%	203.003	19%	891.630.382	2.446.055.173	4.392	3.075	3.239.208	10.153.967	58,80	11.936.259	35.281.912	101,90	8.749.727	43,10	32.888.169	30%	0
5	346.506	25%	70%	242.554	25%	1.290.124.321	3.736.179.494	5.319	3.723	4.223.507	14.377.474	66,98	16.247.230	51.529.142	101,90	8.469.043	34,92	41.357.212	38%	0
6	333.740	32%	70%	233.618	32%	1.270.791.179	5.006.970.673	5.440	3.808	4.172.405	18.549.879	68,38	15.974.132	67.503.274	101,90	7.831.542	33,52	49.188.754	39%	0
7	323.514	38%	70%	226.460	38%	1.400.669.873	6.407.640.547	6.185	4.330	4.329.132	22.879.010	75,06	16.998.997	84.502.271	101,90	6.077.257	26,84	55.266.011	45%	0
8	276.336	44%	70%	193.435	44%	1.288.874.873	7.696.515.420	6.663	4.664	4.042.301	26.921.311	80,65	15.600.855	100.103.126	101,90	4.110.192	21,25	59.376.202	51%	0
9	335.124	50%	70%	234.587	50%	1.641.860.531	9.338.375.951	6.999	4.899	4.881.626	31.802.937	82,79	19.421.712	119.524.838	101,90	4.482.683	19,11	63.858.885	53%	0
10	306.115	56%	70%	214.281	56%	1.626.223.489	10.964.599.440	7.589	5.312	4.801.129	36.604.066	88,86	19.040.991	138.565.829	101,90	2.794.192	13,04	66.653.077	58%	0
11	284.540	62%	70%	199.178	62%	1.722.079.540	12.686.678.979	8.646	6.052	5.029.375	41.633.441	99,73	19.864.141	158.429.970	101,90	432.097	2,17	67.085.175	68%	0
12	403.159	69%	70%	282.211	69%	2.479.611.242	15.166.290.222	8.786	6.150	7.297.825	48.931.266	101,50	28.643.227	187.073.197	101,90	114.104	0,40	67.199.279	70%	0
13	427.831	78%	70%	299.482	78%	3.203.439.624	18.369.729.845	10.697	7.488	8.911.750	57.843.015	119,45	35.771.697	222.844.894	101,90	-5.254.512	-17,55	61.944.768	87%	631.571.500
14	412.701	86%	70%	288.891	86%	3.757.336.556	22.127.066.401	13.006	9.104	9.397.536	67.240.551	138,51	40.015.366	262.860.260	101,90	-10.577.404	-36,61	51.367.364	0%	925.675.934
15	397.187	94%	70%	278.031	94%	4.913.503.891	27.040.570.292	17.673	12.371	11.817.305	79.057.856	182,81	50.827.685	313.687.945	101,90	-22.496.336	-80,91	28.871.027	0%	2.200.713.048
16	333.641	100%	70%	233.549	100%	6.042.881.394	33.083.451.685	25.874	18.112	14.411.787	93.469.644	263,10	61.447.768	375.135.713	101,90	-37.649.156	-161,20	-8.778.128	0%	3.791.117.114
Σ Ø	5.136.094			3.595.266		33.083.451.685		9.202	6.441	93.469.644		104,34	375.135.713		-8.778.128	-2,44			7.549.077.596	

Quelle: WIK

Tabelle 4-3 erlaubt auch abzulesen, wie weit die Schweiz profitabel mit FTTH ausgebaut werden kann. Profitabel ausbaubar sind die Cluster 1 bis 12. Erst im Cluster 13 ergeben sich Verluste für den Netzbetreiber für den FTTH-Ausbau auch in diesem Cluster. Verluste ergeben sich natürlich auch für den Ausbau in den folgenden Clustern 14 bis 16. D.h. für insgesamt 69% der Bevölkerung ist ein FTTH-Ausbau profitabel darstellbar. Im Cluster 13 würde der Betreiber pro Kunde und Monat Verluste in Höhe von 17,55 CHF erwirtschaften. Diese steigen aufgrund der progressiv steigenden Kosten in den folgenden Clustern bis auf 161,20 CHF pro Kunde und Monat in Cluster 16 an.

In den Clustern 13 bis 16 oder für 31% der Schweizer Bevölkerung ist eigenwirtschaftlich kein FTTH-Ausbau darstellbar. Sollen diese Anschlussbereiche auch erschlossen werden, wäre dies nur zu deutlich höheren Endnutzerpreisen möglich oder der Netzbetreiber müsste einen staatlichen Investitionszuschuss erhalten. Für einen eigenwirtschaftlichen FTTH-Ausbau müssten die Endnutzerpreise von 101,90 auf bis zu 263,10 CHF in Cluster 16 ansteigen. Für den Ausbau von Cluster 13 wäre ein (einmaliger) Investitionszuschuss in Höhe von 631,6 Mio. CHF erforderlich. Dieser steigt auf 3,8 Mrd. CHF in Cluster 16 an. Für den flächendeckenden FTTH-Ausbau in der Schweiz wäre ein Investitionszuschuss in Höhe von insgesamt 7,5 Mrd. CHF erforderlich.

4.2.2 Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTS

Wir haben mit dem NGA-Modell auch eine flächendeckende Netzabdeckung der Schweiz (ausschließlich) mit FTTS gerechnet. Mit dieser Breitbandtechnologie lassen sich Übertragungsraten von bis zu 500 Mbps darstellen.⁵⁵

Wie sich bereits aus der Technologiebeschreibung in Kapitel 2 gezeigt hat, ist es bei FTTS nicht erforderlich, in den besonders teuren Netzabschnitt des "Drop" zu investieren. Für diesen Abschnitt kann weiterhin das bestehende Kupferanschlussnetz genutzt werden. Hierfür sind natürlich entsprechende Nutzungsgebühren auf der Kostenseite zu berücksichtigen. Tabelle 4-4 zeigt die Ergebnisse für die FTTS-Netzabdeckung mit den gleichen strukturellen Angaben wie bei FTTH.

Um die Gesamtschweiz flächendeckend mit FTTS auszubauen sind im Greenfield-Ausbau 12,2 Mrd CHF Investitionen erforderlich. Dies ist etwas mehr als ein Drittel der für den FTTH-Ausbau erforderlichen Investitionen. Mit geringen Schwankungen gilt dieser Faktor drei auch in allen einzelnen Clustern. Im Cluster 1 erfordert FTTS pro Anschluss Investitionen in Höhe von 745 CHF, in Cluster 16 in Höhe von 8.625 CHF und im Durchschnitt über alle Cluster 2.371 CHF. Näher beieinander liegen die Kosten im Vergleich zu den Investitionen. Dies ist auf einen relativ geringeren Anteil der Kapitalkosten bei FTTS zurückzuführen. Im schweizweiten Durchschnitt liegen die Kosten eines FTTS-Anschlusses um 40% unter denen eines FTTH-Anschlusses. Die Kostenun-

⁵⁵ Siehe hierzu Abschnitt 2.3.3.

terschiede sind am geringsten in den dichtbesiedelten Anschlussbereichen und nehmen dann relativ stetig zu.

Unterstellt man den gleichen ARPU bei FTTS wie bei FTTH, liegt die profitable Ausbaugrenze von FTTS bei Cluster 14. Das heißt, die profitable Ausbaugrenze bei FTTS erhöht sich gegenüber FTTH um 2 Cluster bzw. um 16,4% der Bevölkerung. Nur in den letzten beiden Clustern entstehen Verluste. Das bedeutet, mit FTTS können 86% der Bevölkerung profitabel versorgt werden; bei FTTH sind dies (nur) 69%. Die Schließung der Wirtschaftlichkeitslücke in den letzten beiden Clustern ist mit einem Investitionsbeitrag von insgesamt 1,116 Mrd. CHF darstellbar.

Wir halten jedoch den gleichen ARPU bei FTTS und FTTH für so nicht realisierbar. Es gibt Qualitätsunterschiede, die sicherlich auch ihre Reflektion bei der Preissetzung haben sollten. Insbesondere lassen sich mit FTTS Mietleitungen für Geschäftskunden so nicht darstellen wie bei FTTH. Wir haben den ARPU daher um diese Komponente herabgesetzt auf 85,70 CHF. Diese Veränderung hat jedoch keinen Einfluss auf die Profitabilitätsgrenze von FTTS auf der Clusterebene, allerdings wohl auf die Zahl der profitablen Anschlussbereiche innerhalb eines Clusters. Dies ist daran zu erkennen, dass die Kosten pro Kunde in Cluster 14 mit 72,34 CHF nach wie vor unterhalb des geänderten ARPU-Wertes von 85,70 CHF liegt. Allerdings wird die Wirtschaftlichkeitslücke in den verbleibenden 2 Clustern größer. Es ist nun ein Investitionskostenbeitrag in Höhe von 1,911 Mrd. CHF erforderlich, um die Lücke zu schließen.

Tabelle 4-4: Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTS

FTTStreet

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Market Share	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Crit. Market Share	Invest Delta [CHF]
1	159.153	3%	70%	111.407	3%	118.567.405	118.567.405	1.064	745	1.451.794	1.451.794	41,32	4.603.871	4.603.871	85,70	4.943.717	44,38	4.943.717	19%	0
2	270.729	8%	70%	189.510	8%	201.421.634	319.989.039	1.063	744	2.195.295	3.647.089	38,81	7.355.218	11.959.089	85,70	8.885.815	46,89	13.829.532	16%	0
3	235.814	13%	70%	165.070	13%	214.032.345	534.021.385	1.297	908	2.046.025	5.693.114	41,66	6.877.490	18.836.579	85,70	7.268.992	44,04	21.098.524	20%	0
4	290.004	19%	70%	203.003	19%	302.654.506	836.675.891	1.491	1.044	2.532.099	8.225.213	43,46	8.821.935	27.658.514	85,70	8.575.405	42,24	29.673.929	22%	0
5	346.506	25%	70%	242.554	25%	401.478.993	1.238.154.884	1.655	1.159	3.113.265	11.338.478	45,33	10.995.399	38.653.913	85,70	9.791.496	40,37	39.465.425	24%	0
6	333.740	32%	70%	233.618	32%	397.862.088	1.636.016.973	1.703	1.192	2.980.038	14.318.516	44,92	10.493.191	49.147.104	85,70	9.527.871	40,78	48.993.296	23%	0
7	323.514	38%	70%	226.460	38%	422.203.481	2.058.220.454	1.864	1.305	2.977.968	17.296.485	46,69	10.572.844	59.719.948	85,70	8.834.761	39,01	57.828.057	25%	0
8	276.336	44%	70%	193.435	44%	431.785.322	2.490.005.776	2.232	1.563	2.772.982	20.069.466	51,47	9.956.476	69.676.424	85,70	6.620.921	34,23	64.448.978	31%	0
9	335.124	50%	70%	234.587	50%	550.970.818	3.040.976.594	2.349	1.644	3.440.790	23.510.256	52,98	12.427.437	82.103.861	85,70	7.676.652	32,72	72.125.630	33%	0
10	306.115	56%	70%	214.281	56%	551.363.341	3.592.339.935	2.573	1.801	3.303.104	26.813.360	55,68	11.931.391	94.035.252	85,70	6.432.448	30,02	78.558.077	36%	0
11	284.540	62%	70%	199.178	62%	546.874.144	4.139.214.079	2.746	1.922	3.202.223	30.015.583	57,81	11.513.638	105.548.890	85,70	5.555.917	27,89	84.113.994	38%	0
12	403.159	69%	70%	282.211	69%	813.252.437	4.952.466.516	2.882	2.017	4.717.486	34.733.070	60,06	16.949.416	122.498.306	85,70	7.236.092	25,64	91.350.086	41%	0
13	427.831	78%	70%	299.482	78%	1.064.330.231	6.016.796.747	3.554	2.488	5.462.089	40.195.158	66,96	20.052.900	142.551.206	85,70	5.612.682	18,74	96.962.768	49%	0
14	412.701	86%	70%	288.891	86%	1.252.350.332	7.269.147.078	4.335	3.035	5.462.059	45.657.217	72,34	20.899.164	163.450.370	85,70	3.858.769	13,36	100.821.538	55%	0
15	397.187	94%	70%	278.031	94%	2.031.913.527	9.301.060.605	7.308	5.116	6.795.994	52.453.211	102,79	28.579.037	192.029.407	85,70	-4.751.789	-17,09	96.069.749	90%	468.170.450
16	333.641	100%	70%	233.549	100%	2.877.719.965	12.178.780.570	12.322	8.625	7.499.663	59.952.874	149,01	34.801.849	226.831.256	85,70	-14.786.725	-63,31	81.283.023	0%	1.443.182.206
Σ Ø	5.136.094			3.595.266		12.178.780.570		3.387	2.371	59.952.874		63,09	226.831.256			81.283.023	22,61			1.911.352.656

Quelle: WIK

4.2.3 Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTC

Strukturell ähnliche Effekte zeigt die modellmässige Abbildung einer flächendeckenden Versorgung mit FTTC. Hiermit sind immerhin Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 70 Mbps downstream darstellbar.

Der flächendeckende Ausbau mit FTTC erfordert mit 5,5 Mrd. CHF weniger als die Hälfte der für FTTS erforderlichen Investitionen und etwa ein Sechstel der Investitionen für FTTH (siehe Tabelle 4-5). Die durchschnittlichen Investitionen pro Anschluss sinken auf 1.080 CHF und liegen bis zum Cluster 12 unterhalb von 1000 CHF. Bei einem ARPU von 101,90 CHF wäre die Schweiz flächendeckend profitabel mit FTTC zu versorgen.

Noch mehr als für FTTS gilt jedoch hier, dass ein ARPU in der für FTTH angenommenen Höhe hier unrealistisch ist. Nimmt man hier wieder wie bei FTTS einen niedrigeren ARPU von 85,70 CHF an, ändert sich die Profitabilitätsgrenze. Das Cluster 16 könnte dann nicht mehr profitabel versorgt werden. Es entstünde hier eine Wirtschaftlichkeitslücke in Höhe von 227,1 Mio. CHF.

Tabelle 4-5: Flächendeckende Netzabdeckung mit FTTC

FTTCurb

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Market Share	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Crit. Market Share	Invest Delta [CHF]
1	159.153	3%	70%	111.407	3%	34.118.884	34.118.884	306	214	1.197.812	1.197.812	34,87	3.884.957	3.884.957	85,70	5.662.632	50,83	5.662.632	8%	0
2	270.729	8%	70%	189.510	8%	65.699.451	99.818.335	347	243	1.862.480	3.060.292	34,11	6.463.667	10.348.624	85,70	9.777.366	51,59	15.439.997	7%	0
3	235.814	13%	70%	165.070	13%	57.311.285	157.129.620	347	243	1.674.147	4.734.439	34,46	5.688.986	16.037.610	85,70	8.457.496	51,24	23.897.493	7%	0
4	290.004	19%	70%	203.003	19%	81.880.922	239.010.542	403	282	2.003.846	6.738.285	34,60	7.024.484	23.062.094	85,70	10.372.856	51,10	34.270.349	8%	0
5	346.506	25%	70%	242.554	25%	117.154.233	356.164.775	483	338	2.411.902	9.150.187	35,24	8.548.621	31.610.715	85,70	12.238.274	50,46	46.508.623	8%	0
6	333.740	32%	70%	233.618	32%	127.885.484	484.050.259	547	383	2.398.817	11.549.004	36,11	8.436.516	40.047.231	85,70	11.584.547	49,59	58.093.170	9%	0
7	323.514	38%	70%	226.460	38%	138.291.158	622.341.417	611	427	2.361.291	13.910.295	36,75	8.322.655	48.369.885	85,70	11.084.950	48,95	69.178.120	10%	0
8	276.336	44%	70%	193.435	44%	132.278.594	754.620.012	684	479	2.084.432	15.994.727	37,74	7.299.448	55.669.334	85,70	9.277.948	47,96	78.456.068	11%	0
9	335.124	50%	70%	234.587	50%	193.993.889	948.613.901	827	579	2.575.420	18.570.147	38,97	9.142.463	64.811.797	85,70	10.961.625	46,73	89.417.694	13%	0
10	306.115	56%	70%	214.281	56%	193.954.110	1.142.568.011	905	634	2.429.881	21.000.028	39,90	8.549.527	73.361.324	85,70	9.814.312	45,80	99.232.006	14%	0
11	284.540	62%	70%	199.178	62%	221.587.091	1.364.155.103	1.113	779	2.392.472	23.392.499	42,21	8.406.775	81.768.099	85,70	8.662.779	43,49	107.894.785	17%	0
12	403.159	69%	70%	282.211	69%	320.393.134	1.684.548.237	1.135	795	3.466.689	26.859.189	42,85	12.092.850	93.860.949	85,70	12.092.658	42,85	119.987.443	18%	0
13	427.831	78%	70%	299.482	78%	501.968.289	2.186.516.525	1.676	1.173	4.013.023	30.872.211	47,98	14.370.553	108.231.503	85,70	11.295.028	37,72	131.282.472	24%	0
14	412.701	86%	70%	288.891	86%	684.231.885	2.870.748.410	2.368	1.658	4.226.079	35.098.290	54,63	15.781.771	124.013.273	85,70	8.976.162	31,07	140.258.634	32%	0
15	397.187	94%	70%	278.031	94%	1.034.753.838	3.905.502.248	3.722	2.605	4.422.501	39.520.792	65,35	18.168.948	142.182.222	85,70	5.658.300	20,35	145.916.934	45%	0
16	333.641	100%	70%	233.549	100%	1.642.251.081	5.547.753.330	7.032	4.922	4.725.657	44.246.449	94,05	21.965.834	164.148.056	85,70	-1.950.710	-8,35	143.966.223	81%	227.130.601
Σ Ø	5.136.094			3.595.266		5.547.753.330		1.543	1.080	44.246.449		45,66	164.148.056		143.966.223	40,04				227.130.601

Quelle: WIK

4.2.4 Flächendeckende Netzabdeckung im Technologiemark des Festnetzes

Wir haben in Tabelle 4-6 ein Szenario des Technologiemarkes der Breitbandtechnologien im Festnetz dargestellt. Eingesetzt wird in diesem Szenario FTTH, FTTS und FTTC. Die leistungsstärkste Technologie wird hierbei bis zu ihrer jeweiligen Profitabilitätsgrenze ausgebaut. Danach folgt die nächst leistungsstärkste Technologie. In den Clustern 1 bis 12 wird demnach FTTH ausgebaut, in den Clustern 13 und 14 FTTS und in den dünnbesiedelten Clustern 15 und 16 FTTC.

Für FTTS und FTTC haben wir wieder den niedrigeren ARPU-Wert von 85,70 CHF unterstellt. Von daher gibt es im Technologiemark noch einen Subventionsbedarf in Cluster 16 in Höhe von 227,1 Mio. CHF. Im Vergleich zu einem flächendeckenden FTTH-Ausbau sinkt der Investitionsbedarf von 33,1 Mrd. CHF auf 20,2 Mrd. CHF, mithin um fast 40%. Der Subventionsbedarf sinkt von 7,5 Mrd. CHF auf den nur noch relativ geringen Betrag von 227,1 Mio. CHF, mithin um 97%.

Tabelle 4-6: Flächendeckende Netzabdeckung im Technologiemarkt

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Market Share	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	FTTH			FTTS			FTTC			Crit. Market Share	Invest Delta [CHF]
																Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]		
1	159.153	3%	70%	111.407	3%	288.800.950	288.800.950	2.592	1.815	1.598.782	1.598.782	44,32	4.937.793	4.937.793	101,90	6.414.591	57,58	6.414.591	16%	0						
2	270.729	8%	70%	189.510	8%	617.055.073	905.856.023	3.256	2.279	2.715.711	4.314.493	48,94	9.274.664	14.212.456	101,90	10.036.436	52,96	16.451.027	20%	0						
3	235.814	13%	70%	165.070	13%	648.568.768	1.554.424.791	3.929	2.750	2.600.266	6.914.759	55,33	9.133.197	23.345.653	101,90	7.687.416	46,57	24.138.442	27%	0						
4	290.004	19%	70%	203.003	19%	891.630.382	2.446.055.173	4.392	3.075	3.239.208	10.153.967	58,80	11.936.259	35.281.912	101,90	8.749.727	43,10	32.888.169	30%	0						
5	346.506	25%	70%	242.554	25%	1.290.124.321	3.736.179.494	5.319	3.723	4.223.507	14.377.474	66,98	16.247.230	51.529.142	101,90	8.469.043	34,92	41.357.212	38%	0						
6	333.740	32%	70%	233.618	32%	1.270.791.179	5.006.970.673	5.440	3.808	4.172.405	18.549.879	68,38	15.974.132	67.503.274	101,90	7.831.542	33,52	49.188.754	39%	0						
7	323.514	38%	70%	226.460	38%	1.400.669.873	6.407.640.547	6.185	4.330	4.329.132	22.879.010	75,06	16.998.997	84.502.271	101,90	6.077.257	26,84	55.266.011	45%	0						
8	276.336	44%	70%	193.435	44%	1.288.874.873	7.696.515.420	6.663	4.664	4.042.301	26.921.311	80,65	15.600.855	100.103.126	101,90	4.110.192	21,25	59.376.202	51%	0						
9	335.124	50%	70%	234.587	50%	1.641.860.531	9.338.375.951	6.999	4.899	4.881.626	31.802.937	82,79	19.421.712	119.524.838	101,90	4.482.683	19,11	63.858.885	53%	0						
10	306.115	56%	70%	214.281	56%	1.626.223.489	10.964.599.440	7.589	5.312	4.801.129	36.604.066	88,86	19.040.991	138.565.829	101,90	2.794.192	13,04	66.653.077	58%	0						
11	284.540	62%	70%	199.178	62%	1.722.079.540	12.686.678.979	8.646	6.052	5.029.375	41.633.441	99,73	19.864.141	158.429.970	101,90	432.097	2,17	67.085.175	68%	0						
12	403.159	69%	70%	282.211	69%	2.479.611.242	15.166.290.222	8.786	6.150	7.297.825	48.931.266	101,50	28.643.227	187.073.197	101,90	114.104	0,40	67.199.279	70%	0						
13	427.831	78%	70%	299.482	78%	1.064.330.231	16.230.620.453	3.554	2.488	5.462.089	54.393.354	66,96	20.052.900	207.126.097	85,70	5.612.682	18,74	72.811.961	49%	0						
14	412.701	86%	70%	288.891	86%	1.252.350.332	17.482.970.784	4.335	3.035	5.462.059	59.855.413	72,34	20.899.164	228.025.260	85,70	3.858.769	13,36	76.670.731	55%	0						
15	397.187	94%	70%	278.031	94%	1.034.753.838	18.517.724.622	3.722	2.605	4.422.501	64.277.914	65,35	18.168.948	246.194.209	85,70	5.658.300	20,35	82.329.030	45%	0						
16	333.641	100%	70%	233.549	100%	1.642.251.081	20.159.975.704	7.032	4.922	4.725.657	69.003.571	94,05	21.965.834	268.160.043	85,70	-1.950.710	-8,35	80.378.320	81%	227.130.601						
Σ Ø	5.136.094			3.595.266		20.159.975.704		9.202	6.441	69.003.571		74,59	268.160.043		80.378.320	22,36				227.130.601						

Quelle: WIK

4.3 Flächendeckende Versorgung mit FTTH unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung

Die bisherigen Modellszenarien waren insofern reine Greenfield-Betrachtungen als sie nicht berücksichtigt haben, dass es bereits einen bestimmten Ausbaustand mit FTTH in der Schweiz gibt. Wir haben jedoch bereits in Abschnitt 4.1.2 aufgezeigt, dass FTTH bereits für mehr als 25% der Wohnungen und Arbeitsstätten verfügbar ist. Für diese bestehende Netzabdeckung sind keine neuen Investitionen mehr erforderlich. In den folgenden Szenarien geht diese bestehende Versorgung nun in die Berechnungen ein. Wir bestimmen demnach den zur bestehenden Netzabdeckung hinaus noch erforderlichen Netzabdeckungsbedarf, um zu einer flächendeckenden FTTH-Versorgung zu gelangen. Hierbei werden wir zwei verschiedene Szenarien darstellen: In Abschnitt 4.3.1 beziehen wir die Kabelnetze nicht in die Betrachtung ein. Wir ermitteln also die noch erforderlichen Investitionen in den einzelnen Clustern, um zu einem flächendeckenden FTTH-Netz zu kommen. In Abschnitt 4.3.2 beziehen wir dagegen die Kabelnetze ein. Wir betrachten sie ebenso wie FTTH als Teil der angestrebten Breitbandversorgung. Die Performanceunterschiede zwischen Kabel und FTTH sind im Einzelnen in Kapitel 2 dargestellt. Netzausbau wäre in diesem Szenario nur noch dort zu leisten, wo weder ein FTTH- noch ein Kabelnetz verfügbar ist⁵⁶.

4.3.1 Flächendeckende FTTH-Abdeckung bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

In der Schweiz haben bereits fast 1,3 Mio. Wohnungen und Arbeitsstätten Zugang zu einem FTTH-Netz. Für etwa drei Viertel der Wohnungen und Arbeitsstätten sind noch Glasfasernetze zu errichten, um eine volle Flächendeckung mit FTTH zu erreichen. In Tabelle 4-2 ist die bestehende Netzabdeckung auch für die einzelnen Dichtecluster dargestellt.

In Tabelle 4-7 ist aufgezeigt, welche Anschlüsse in den einzelnen Clustern noch mit FTTH für eine volle Flächendeckung zu errichten sind. Dieser Anteil steigt relativ kontinuierlich mit abnehmender Anschlussdichte an, von 19% in Cluster 1 bis auf 98% in Cluster 16. Im Cluster 1 ist für die Restversorgung mit FTTH noch ein Investitionsvolumen von 53,5 Mio. CHF erforderlich. In Cluster 7 sind bereits mehr als 1 Mrd CHF erforderlich und in Cluster 16 noch 5,9 Mrd. CHF. Insgesamt für die Schweiz würde noch ein Investitionsvolumen von 28,2 Mrd. CHF erbracht werden müssen, um eine volle Flächendeckung des Landes mit FTTH zu erreichen.

⁵⁶ Dies ist insoweit eine vereinfachende Betrachtung, weil die Kabelnetze heute kein mit FTTH vergleichbares Leistungspotential aufweisen, sondern dafür auf DOCSIS 3.1 FD aufgerüstet werden müssten. Dies erfordert allerdings für die Kabelnetze noch ein nicht unerhebliches zusätzliches Investitionsvolumen (neue CMTS, Verstärker, Fibre Nodes und Kabelmodems, Echounderdrücker in den Fibre-Nodes, die näher an die Endkunden rücken müssen, d.h. Deep Fibre Netzausbau).

In den Clustern 1 bis 12 wäre diese FTTH-Abdeckung von den Netzbetreibern profitabel und damit eigenwirtschaftlich darstellbar.

In den letzten vier Clustern wären noch ca. 1,5 Mio Anschlüsse mit einem Investitionsbudget für FTTH von insgesamt 17,3 Mrd. CHF zu errichten. Hierfür müsste dem ausbauenden Netzbetreiber eine Investitionsbeihilfe in Höhe von 7,3 Mrd. CHF extern bereitgestellt werden, um die bestehende Wirtschaftlichkeitslücke auszugleichen.

Einschränkend gilt es darauf hinzuweisen, dass die hier vorgestellten Modellberechnungen den oberen Rand der für eine Flächendeckung mit FTTH noch erforderlichen Investitionen abbilden. Die vorgestellten Berechnungsergebnisse berücksichtigen nicht, dass in einer Vielzahl von Anschlussbereichen bereits bestimmte Glasfaserstrecken, die für FTTC und FTTS errichtet wurden, auch für eine Migration des Netzes auf FTTH genutzt werden können. Dadurch können Investitionen in einer Größenordnung von 10% bis 15% der für FTTH erforderlichen Investitionen eingespart werden. Diese Einsparungen würden sich auch in einer entsprechenden Verminderung der ausgleichsbedürftigen Wirtschaftlichkeitslücke niederschlagen.

Tabelle 4-7: Flächendeckung FTTH bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	29.497	1%	19%	20.648	1%	53.525.611	53.525.611	2.592	1.815	296.314	296.314	44,32	915.158	915.158	101,90	1.188.863	57,58	1.188.863	0
2	71.483	3%	26%	50.038	3%	162.926.572	216.452.183	3.256	2.279	717.054	1.013.368	48,94	2.448.873	3.364.030	101,90	2.650.010	52,96	3.838.873	0
3	90.338	5%	38%	63.237	5%	248.460.250	464.912.433	3.929	2.750	996.136	2.009.504	55,33	3.498.837	6.862.867	101,90	2.944.973	46,57	6.783.846	0
4	111.190	8%	38%	77.833	8%	341.858.672	806.771.104	4.392	3.075	1.241.940	3.251.444	58,80	4.576.463	11.439.330	101,90	3.354.720	43,10	10.138.565	0
5	225.551	14%	65%	157.886	14%	839.780.064	1.646.551.168	5.319	3.723	2.749.206	6.000.649	66,98	10.575.802	22.015.132	101,90	5.512.751	34,92	15.651.316	0
6	202.281	19%	61%	141.597	19%	770.231.050	2.416.782.218	5.440	3.808	2.528.909	8.529.558	68,38	9.681.978	31.697.111	101,90	4.746.725	33,52	20.398.041	0
7	253.501	26%	78%	177.451	26%	1.097.545.125	3.514.327.343	6.185	4.330	3.392.246	11.921.805	75,06	13.320.174	45.017.284	101,90	4.762.053	26,84	25.160.094	0
8	229.354	32%	83%	160.548	32%	1.069.743.384	4.584.070.726	6.663	4.664	3.355.038	15.276.843	80,65	12.948.434	57.965.719	101,90	3.411.386	21,25	28.571.481	0
9	255.743	38%	76%	179.020	38%	1.252.952.154	5.837.022.881	6.999	4.899	3.725.312	19.002.156	82,79	14.821.281	72.786.999	101,90	3.420.867	19,11	31.992.348	0
10	263.349	45%	86%	184.344	45%	1.399.030.853	7.236.053.734	7.589	5.312	4.130.384	23.132.540	88,86	16.380.857	89.167.856	101,90	2.403.827	13,04	34.396.176	0
11	250.839	52%	88%	175.587	52%	1.518.115.940	8.754.169.674	8.646	6.052	4.433.694	27.566.234	99,73	17.511.426	106.679.282	101,90	380.920	2,17	34.777.095	0
12	355.614	61%	88%	248.930	61%	2.187.187.865	10.941.357.538	8.786	6.150	6.437.184	34.003.418	101,50	25.265.299	131.944.581	101,90	100.648	0,40	34.877.743	0
13	404.885	71%	95%	283.420	71%	3.031.628.498	13.972.986.037	10.697	7.488	8.433.783	42.437.201	119,45	33.853.142	165.797.723	101,90	-4.972.695	-17,55	29.905.049	597.698.219
14	396.338	82%	96%	277.437	82%	3.608.363.575	17.581.349.612	13.006	9.104	9.024.937	51.462.138	138,51	38.428.815	204.226.537	101,90	-10.158.025	-36,61	19.747.024	888.974.217
15	383.412	92%	97%	268.388	92%	4.743.096.712	22.324.446.324	17.673	12.371	11.407.464	62.869.602	182,81	49.064.910	253.291.447	101,90	-21.716.132	-80,91	-1.969.108	2.124.389.246
16	326.027	100%	98%	228.219	100%	5.904.977.182	28.229.423.506	25.874	18.112	14.082.897	76.952.499	263,10	60.045.472	313.336.920	101,90	-36.789.967	-161,20	-38.759.075	3.704.600.272
Σ Ø	3.849.402			2.694.581		28.229.423.506		10.476	7.333	76.952.499		116,28	313.336.920		-38.759.075	-14,38		7.315.661.953	

Quelle: WIK

4.3.2 Flächendeckende FTTH-Abdeckung bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

In der folgenden Modellrechnung beziehen wir die Verfügbarkeit von Kabel als relevanter Breitbandtechnologie ein. Es werden jetzt also die noch erforderlichen Investitionen für eine flächendeckende Versorgung mit Kabel oder FTTH ermittelt. Wir beziehen uns demnach in Tabelle 4-2 auf eine Netzverfügbarkeit, die sich aus der Summe von FTTH und Kabel (linke Tabelle "Technologiemix Gesamt") ergibt. In Cluster 1 sind demnach 81,5% der Anschlüsse mit FTTH und 16,3% mit Kabel als best verfügbarer Breitbandtechnologie versorgt. Es sind in diesem Cluster demnach noch 3.494 Anschlüsse (entsprechend 2% aller Anschlüsse) mit FTTH für eine Flächendeckung zu versorgen (siehe Tabelle 4-8).

Der Beitrag des Kabels zur Versorgung mit Hochbreitband zahlt sich insbesondere in den weniger dicht besiedelten Gebieten der Schweiz aus. So ist etwa in Cluster 12 nur noch ein Anteil von 18% der Anschlüsse mit FTTH zu versorgen. Ohne Berücksichtigung von Kabel wären dies 88% der Anschlüsse gewesen (siehe Tabelle 4-7). Kabel trägt hier also zu mehr als 70% der Anschlüsse zur Versorgung mit Hochbreitband bei. Selbst in dem am wenigsten dicht besiedelten und am teuersten zu versorgenden Cluster 16 sind schon bereits mehr als 27% der Anschlüsse mit Kabel versorgt, aber nur 2% mit FTTH.

Entsprechend deutlich wirkt sich die Berücksichtigung von Kabel bei den noch erforderlichen Investitionen für den restlichen FTTH-Ausbau aus. Diese sinken von 28,2 Mrd. auf 10,1 Mrd. CHF, d.h. um 64%. Ähnliche Einsparungen stellen sich bei den erforderlichen Investitionszuschüssen zum Ausgleich der Wirtschaftlichkeitslücke ein. Diese sinken von 7,3 Mrd. auf 4 Mrd. CHF, d.h. um 45%.

Wir haben hier nur die für eine flächendeckende Versorgung mit FTTH erforderlichen Investitionen bestimmt. Betrachtet man das Kabel im Sinne des zu erreichenden Breitbandziels als gleichwertig zu FTTH⁵⁷, wie wir dies bei der Berücksichtigung des Kabels bei der bestehenden Versorgung implizit getan haben, könnte die erweiterte Netzabdeckung nicht nur durch FTTH, sondern auch durch Erweiterung des Footprints des Kabels erfolgen. Da dies in der benutzten Modellsoftware nicht abgebildet ist, war dies in dieser Studie so nicht leistbar. Wir möchten in diesem Zusammenhang aber auf die Ergebnisse der Studie des WIK von Nett und Jay (2014) aufmerksam machen, in der sowohl die Investitionskosten für flächendeckende Kabel- als auch für FTTH-Netze für Deutschland bestimmt worden sind. Danach zeigt die Greenfieldbetrachtung des Aufbaus von FTTH und von Kabelnetzen keinen wesentlichen Unterschied bei den erforderlichen Investitionen. Dieses Ergebnis ist vor dem Hintergrund, dass jedes Anschlussnetz im Drop-Kabel architekturell annähernd gleich aufgebaut ist, auch sehr plausibel. Wir gehen davon aus, dass dieses Ergebnis strukturell auch für die Schweiz

⁵⁷ Vgl. hierzu Fussnote 56.

gilt: Der Aufbau eines FTTH-Netzes und die Erweiterung des Footprints eines Kabelnetzes verursacht im gleichen Anschlussbereich annähernd die gleichen Investitionskosten.

Tabelle 4-8: Flächendeckung FTTH bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	3.494	0%	2%	2.446	0%	6.340.254	6.340.254	2.592	1.815	35.099	35.099	44,32	108.403	108.403	101,90	140.824	57,58	140.824	0
2	19.849	2%	7%	13.894	2%	45.240.540	51.580.794	3.256	2.279	199.107	234.207	48,94	679.989	788.392	101,90	735.840	52,96	876.664	0
3	12.898	4%	5%	9.029	4%	35.473.890	87.054.685	3.929	2.750	142.223	376.430	55,33	499.546	1.287.938	101,90	420.468	46,57	1.297.132	0
4	20.020	6%	7%	14.014	6%	61.552.393	148.607.078	4.392	3.075	223.614	600.044	58,80	824.002	2.111.940	101,90	604.025	43,10	1.901.157	0
5	38.412	9%	11%	26.888	9%	143.017.020	291.624.098	5.319	3.723	468.198	1.068.242	66,98	1.801.090	3.913.031	101,90	938.838	34,92	2.839.994	0
6	36.709	13%	11%	25.696	13%	139.777.891	431.401.989	5.440	3.808	458.935	1.527.176	68,38	1.757.040	5.670.070	101,90	861.413	33,52	3.701.408	0
7	37.586	17%	12%	26.310	17%	162.730.447	594.132.436	6.185	4.330	502.960	2.030.137	75,06	1.974.951	7.645.021	101,90	706.058	26,84	4.407.466	0
8	31.103	20%	11%	21.772	20%	145.069.318	739.201.754	6.663	4.664	454.981	2.485.118	80,65	1.755.954	9.400.976	101,90	462.623	21,25	4.870.089	0
9	40.733	24%	12%	28.513	24%	199.561.670	938.763.424	6.999	4.899	593.342	3.078.460	82,79	2.360.632	11.761.608	101,90	544.852	19,11	5.414.941	0
10	36.001	27%	12%	25.201	27%	191.253.848	1.130.017.273	7.589	5.312	564.642	3.643.102	88,86	2.239.337	14.000.945	101,90	328.614	13,04	5.743.555	0
11	51.307	32%	18%	35.915	32%	310.517.800	1.440.535.073	8.646	6.052	906.875	4.549.977	99,73	3.581.814	17.582.760	101,90	77.914	2,17	5.821.469	0
12	72.628	39%	18%	50.840	39%	446.695.238	1.887.230.311	8.786	6.150	1.314.683	5.864.660	101,50	5.160.000	22.742.759	101,90	20.556	0,40	5.842.025	0
13	93.812	48%	22%	65.668	48%	702.429.412	2.589.659.723	10.697	7.488	1.954.111	7.818.771	119,45	7.843.785	30.586.544	101,90	-1.152.175	-17,55	4.689.850	138.486.892
14	127.843	61%	31%	89.490	61%	1.163.915.710	3.753.575.433	13.006	9.104	2.911.089	10.729.860	138,51	12.395.619	42.982.164	101,90	-3.276.578	-36,61	1.413.272	286.748.005
15	164.642	77%	41%	115.249	77%	2.036.746.186	5.790.321.619	17.673	12.371	4.898.511	15.628.370	182,81	21.069.098	64.051.261	101,90	-9.325.184	-80,91	-7.911.912	912.239.821
16	235.214	100%	70%	164.650	100%	4.260.178.767	10.050.500.387	25.874	18.112	10.160.185	25.788.555	263,10	43.320.141	107.371.403	101,90	-26.542.327	-161,20	-34.454.239	2.672.704.556
Σ Ø	1.022.251			715.576		10.050.500.387		14.045	9.832	25.788.555		150,05	107.371.403			-34.454.239	-48,15		4.010.179.274

Quelle: WIK

4.4 Flächendeckende Versorgung mit FTTS unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung

In diesem Abschnitt betrachten wir ein Szenario, das sich von dem in Abschnitt 4.3 (nur) dadurch unterscheidet, dass nunmehr die Breitbandstrategie eine flächendeckende Netzabdeckung mit FTTS und nicht mehr mit FTTH anstrebt. Oder anders ausgedrückt, die durch FTTS bereitgestellte Breitbandgeschwindigkeit und Performance wird im Sinne der Breitbandzielsetzung als äquivalent zu der mit FTTH angesehen. Entsprechend wird natürlich hinsichtlich der bestehenden Netzabdeckung nicht nur die mit FTTS, sondern auch die bestehende FTTH-Netzabdeckung berücksichtigt. Wir unterscheiden wieder ein Szenario ohne und eines mit Berücksichtigung der Abdeckung mit Kabelnetzen.

4.4.1 Flächendeckende FTTS-Abdeckung bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

Mit FTTH und FTTS als jeweils bester Breitbandtechnologie sind insgesamt 1,811 Mio. Wohnungen und Arbeitsstätten in der Schweiz versorgt. Für eine Flächendeckung mit FTTS als bester Breitbandtechnologie ist mithin noch ein Netzausbau für 3,325 Mio. Wohnungen und Arbeitsstätten mit FTTS in der Schweiz zu leisten (siehe Tabelle 4-9). Der noch zu leistende Netzausbau macht in Cluster 1 19% aller Anschlüsse aus, in Cluster 10 60%, in Cluster 14 74% und in Cluster 16 noch 98%.

Für den noch zu leistenden Netzausbau mit FTTS sind 9,4 Mrd. CHF Investitionen zu erbringen. Dies sind 2,8 Mrd. CHF weniger als notwendig wären, falls die bestehende Netzabdeckung nicht berücksichtigt worden wäre.

Der Netzausbau mit FTTS ist bis zum Cluster 14 profitabel. Insofern bedarf es einer Investitionsbeihilfe in Höhe von 1,86 Mrd. CHF, um die für den Netzbetreiber im Cluster 15 und 16 entstehende Wirtschaftlichkeitslücke zu schliessen.

Tabelle 4-9: Flächendeckung FTTS bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	29.481	1%	19%	20.637	1%	21.963.052	21.963.052	1.064	745	268.926	268.926	41,32	852.807	852.807	85,70	915.759	44,38	915.759	0
2	71.483	3%	26%	50.038	3%	53.183.156	75.146.208	1.063	744	579.643	848.569	38,81	1.942.064	2.794.871	85,70	2.346.201	46,89	3.261.960	0
3	90.196	6%	38%	63.137	6%	81.864.781	157.010.989	1.297	908	782.580	1.631.149	41,66	2.630.557	5.425.427	85,70	2.780.301	44,04	6.042.261	0
4	111.190	9%	38%	77.833	9%	116.040.312	273.051.301	1.491	1.044	970.828	2.601.977	43,46	3.382.405	8.807.832	85,70	3.287.883	42,24	9.330.144	0
5	222.612	16%	64%	155.828	16%	257.929.276	530.980.577	1.655	1.159	2.000.110	4.602.087	45,33	7.063.970	15.871.802	85,70	6.290.524	40,37	15.620.669	0
6	202.159	22%	61%	141.511	22%	241.000.186	771.980.762	1.703	1.192	1.805.122	6.407.210	44,92	6.356.125	22.227.926	85,70	5.771.394	40,78	21.392.063	0
7	253.149	29%	78%	177.204	29%	330.373.304	1.102.354.067	1.864	1.305	2.330.254	8.737.463	46,69	8.273.228	30.501.154	85,70	6.913.181	39,01	28.305.244	0
8	229.030	36%	83%	160.321	36%	357.867.930	1.460.221.996	2.232	1.563	2.298.275	11.035.738	51,47	8.252.025	38.753.179	85,70	5.487.485	34,23	33.792.728	0
9	190.041	42%	57%	133.029	42%	312.442.694	1.772.664.690	2.349	1.644	1.951.191	12.986.930	52,98	7.047.310	45.800.488	85,70	4.353.250	32,72	38.145.978	0
10	182.433	48%	60%	127.703	48%	328.591.766	2.101.256.456	2.573	1.801	1.968.525	14.955.455	55,68	7.110.659	52.911.148	85,70	3.833.496	30,02	41.979.475	0
11	180.306	53%	63%	126.214	53%	346.540.695	2.447.797.151	2.746	1.922	2.029.170	16.984.625	57,81	7.295.909	60.207.057	85,70	3.520.648	27,89	45.500.122	0
12	246.958	60%	61%	172.871	60%	498.163.740	2.945.960.891	2.882	2.017	2.889.731	19.874.356	60,06	10.382.489	70.589.546	85,70	4.432.521	25,64	49.932.644	0
13	303.755	70%	71%	212.629	70%	755.662.000	3.701.622.892	3.554	2.488	3.878.019	23.752.375	66,96	14.237.324	84.826.870	85,70	3.984.938	18,74	53.917.582	0
14	304.316	79%	74%	213.021	79%	923.453.647	4.625.076.538	4.335	3.035	4.027.593	27.779.968	72,34	15.410.551	100.237.421	85,70	2.845.366	13,36	56.762.948	0
15	383.136	90%	96%	268.195	90%	1.960.031.978	6.585.108.516	7.308	5.116	6.555.577	34.335.546	102,79	27.568.017	127.805.438	85,70	-4.583.688	-17,09	52.179.259	451.608.320
16	325.550	100%	98%	227.885	100%	2.807.933.481	9.393.041.997	12.322	8.625	7.317.792	41.653.337	149,01	33.957.883	161.763.321	85,70	-14.428.138	-63,31	37.751.121	1.408.184.147
Σ Ø	3.325.795			2.328.057		9.393.041.997		4.035	2.824	41.653.337		69,48	161.763.321		37.751.121	16,22		1.859.792.467	

Quelle: WIK

4.4.2 Flächendeckende FTTS-Abdeckung bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

In hier dargestellten Szenario berücksichtigen wir im Unterschied zu Abschnitt 4.4.1 nun auch den Beitrag des Kabels für die Breitbandversorgung. Die Breitbandperformance des Kabels wird demnach hier als im Sinne der Breitbandstrategie äquivalent zu der von FTTH und FTTS angesehen. Es gilt also, die noch erforderliche Netzabdeckung, die noch nicht über FTTH, FTTS und Kabel verfügbar ist, darzustellen und zu berechnen.

Die weite Verfügbarkeit von Kabel reduziert wiederum den noch erforderlichen Netzausbau erheblich. Für nur noch 0,94 Mio. oder 18,3% aller Wohnungen und Arbeitsstätten ist noch ein Netzausbau darzustellen. Dies sind 2,38 Mio. Anschlüsse weniger als im FTTS-Szenario ohne Berücksichtigung von Kabel. Besonders in den teuer mit FTTS zu erschliessenden ländlich strukturierten Clustern macht sich die hohe Verfügbarkeit von Kabel positiv bemerkbar. So sind etwa im Cluster 13 nur noch 18% aller Anschlüsse neu zu erschliessen. Vorher waren dies noch 71%. Im Cluster 16 sind es noch 70%; vorher waren es 98%.

Der für eine Flächendeckung mit FTTS noch zu leistende Investitionsbedarf in diesem Szenario sinkt auf 3,9 Mrd. CHF (von vorher 9,4 Mrd. CHF). Die erforderliche Investitionsbeihilfe in den Clustern 15 und 16 sinkt auf 1,21 Mrd. CHF (von zuvor 1,86 Mrd. CHF).

Tabelle 4-10: Flächendeckung FTTS bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	3.490	0%	2%	2.443	0%	2.600.015	2.600.015	1.064	745	31.836	31.836	41,32	100.956	100.956	85,70	108.409	44,38	108.409	0
2	19.849	2%	7%	13.894	2%	14.767.602	17.367.617	1.063	744	160.952	192.788	38,81	539.261	640.218	85,70	651.480	46,89	759.889	0
3	12.898	4%	5%	9.029	4%	11.706.638	29.074.255	1.297	908	111.909	304.697	41,66	376.169	1.016.387	85,70	397.582	44,04	1.157.471	0
4	20.020	6%	7%	14.014	6%	20.893.309	49.967.564	1.491	1.044	174.800	479.496	43,46	609.009	1.625.396	85,70	591.990	42,24	1.749.461	0
5	37.897	10%	11%	26.528	10%	43.909.339	93.876.903	1.655	1.159	340.494	819.991	45,33	1.202.555	2.827.951	85,70	1.070.886	40,37	2.820.347	0
6	36.702	14%	11%	25.691	14%	43.753.624	137.630.527	1.703	1.192	327.720	1.147.711	44,92	1.153.955	3.981.907	85,70	1.047.797	40,78	3.868.145	0
7	37.436	18%	12%	26.205	18%	48.856.029	186.486.556	1.864	1.305	344.601	1.492.312	46,69	1.223.456	5.205.362	85,70	1.022.330	39,01	4.890.475	0
8	31.086	21%	11%	21.760	21%	48.573.036	235.059.593	2.232	1.563	311.942	1.804.254	51,47	1.120.039	6.325.401	85,70	744.810	34,23	5.635.285	0
9	30.701	24%	9%	21.491	24%	50.474.914	285.534.507	2.349	1.644	315.214	2.119.468	52,98	1.138.488	7.463.889	85,70	703.265	32,72	6.338.550	0
10	27.684	27%	9%	19.379	27%	49.863.426	335.397.933	2.573	1.801	298.722	2.418.190	55,68	1.079.034	8.542.924	85,70	581.729	30,02	6.920.279	0
11	41.380	32%	15%	28.966	32%	79.530.653	414.928.586	2.746	1.922	465.692	2.883.882	57,81	1.674.402	10.217.326	85,70	807.984	27,89	7.728.263	0
12	58.018	38%	14%	40.613	38%	117.033.924	531.962.510	2.882	2.017	678.886	3.562.768	60,06	2.439.165	12.656.490	85,70	1.041.335	25,64	8.769.598	0
13	76.588	46%	18%	53.612	46%	190.530.662	722.493.173	3.554	2.488	977.794	4.540.562	66,96	3.589.762	16.246.252	85,70	1.004.752	18,74	9.774.350	0
14	107.504	58%	26%	75.253	58%	326.223.271	1.048.716.443	4.335	3.035	1.422.805	5.963.367	72,34	5.443.999	21.690.251	85,70	1.005.166	13,36	10.779.516	0
15	164.563	75%	41%	115.194	75%	841.864.879	1.890.581.322	7.308	5.116	2.815.725	8.779.091	102,79	11.840.901	33.531.153	85,70	-1.968.767	-17,09	8.810.749	193.972.949
16	234.847	100%	70%	164.393	100%	2.025.602.071	3.916.183.393	12.322	8.625	5.278.948	14.058.039	149,01	24.496.719	58.027.872	85,70	-10.408.248	-63,31	-1.597.498	1.015.843.411
Σ Ø	940.663			658.464		3.916.183.393		5.947	4.163	14.058.039		88,13	58.027.872			-1.597.498	-2,43		1.209.816.360

Quelle: WIK

4.5 Flächendeckende Versorgung mit FTTC unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung

In diesem Abschnitt erfolgt wiederum die gleiche Darstellungs- und Berechnungslogik wie in den Abschnitten 4.3 und 4.4. Die Breitbandstrategie strebt hier allerdings als Zielversorgung eine flächendeckende Netzabdeckung mit FTTC an. Anschlussbereiche, die also bislang weder durch FTTH, noch durch FTTS oder FTTC erschlossen sind, werden jetzt zur Herbeiführung der Flächendeckung mit Hochbreitband mit FTTC als Festnetztechnologie versorgt.

4.5.1 Flächendeckende FTTC-Abdeckung bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

Mit FTTC, FTTS oder FTTH sind 2,55 Mio. oder knapp 50% aller Anschlüsse versorgt. Insofern sind schweizweit noch ca. 50% aller Anschlüsse mit FTTC für die Herbeiführung von Flächendeckung mit Hochbreitband zu versorgen. In Cluster 1 sind dies noch 18% aller Anschlüsse, in Cluster 10 53% und in Cluster 16 noch 80% (siehe Tabelle 4-11).

Für die Flächendeckung mit FTTC sind noch Investitionen in Höhe von 3,6 Mrd. CHF erforderlich. Der weitaus meiste Teil dieser Investitionen ist eigenwirtschaftlich und profitabel durch die Betreiber darstellbar. Nur in Cluster 16 entsteht ein Verlust. Der Ausgleich der Wirtschaftlichkeitslücke erfordert hier eine Investitionsbeihilfe in Höhe von 182 Mio. CHF.

Tabelle 4-11: Flächendeckung FTTC bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	28.670	1%	18%	20.069	1%	6.146.214	6.146.214	306	214	215.775	215.775	34,87	699.840	699.840	85,70	1.020.073	50,83	1.020.073	0
2	61.667	3%	23%	43.167	3%	14.965.105	21.111.320	347	243	424.238	640.013	34,11	1.472.302	2.172.143	85,70	2.227.101	51,59	3.247.174	0
3	66.826	6%	28%	46.778	6%	16.241.122	37.352.441	347	243	474.427	1.114.440	34,46	1.612.170	3.784.313	85,70	2.396.722	51,24	5.643.896	0
4	87.131	9%	30%	60.992	9%	24.600.925	61.953.366	403	282	602.051	1.716.491	34,60	2.110.489	5.894.802	85,70	3.116.500	51,10	8.760.395	0
5	131.607	15%	38%	92.125	15%	44.496.537	106.449.904	483	338	916.069	2.632.560	35,24	3.246.865	9.141.667	85,70	4.648.239	50,46	13.408.634	0
6	133.322	20%	40%	93.325	20%	51.087.519	157.537.422	547	383	958.276	3.590.836	36,11	3.370.208	12.511.875	85,70	4.627.779	49,59	18.036.413	0
7	151.297	26%	47%	105.908	26%	64.674.287	222.211.710	611	427	1.104.299	4.695.135	36,75	3.892.236	16.404.111	85,70	5.184.071	48,95	23.220.484	0
8	154.388	31%	56%	108.072	31%	73.903.609	296.115.318	684	479	1.164.565	5.859.700	37,74	4.078.177	20.482.288	85,70	5.183.559	47,96	28.404.043	0
9	167.646	38%	50%	117.352	38%	97.045.570	393.160.888	827	579	1.288.355	7.148.055	38,97	4.573.523	25.055.811	85,70	5.483.560	46,73	33.887.603	0
10	161.057	44%	53%	112.740	44%	102.045.529	495.206.417	905	634	1.278.439	8.426.494	39,90	4.498.182	29.553.994	85,70	5.163.627	45,80	39.051.230	0
11	151.279	50%	53%	105.895	50%	117.809.354	613.015.771	1.113	779	1.271.985	9.698.480	42,21	4.469.560	34.023.554	85,70	4.605.667	43,49	43.656.897	0
12	207.821	58%	52%	145.475	58%	165.156.728	778.172.500	1.135	795	1.787.014	11.485.494	42,85	6.233.640	40.257.194	85,70	6.233.541	42,85	49.890.439	0
13	261.059	68%	61%	182.741	68%	306.296.971	1.084.469.471	1.676	1.173	2.448.714	13.934.208	47,98	8.768.795	49.025.989	85,70	6.892.135	37,72	56.782.573	0
14	263.592	78%	64%	184.514	78%	437.018.692	1.521.488.163	2.368	1.658	2.699.195	16.633.403	54,63	10.079.812	59.105.801	85,70	5.733.072	31,07	62.515.645	0
15	293.336	90%	74%	205.335	90%	764.200.621	2.285.688.783	3.722	2.605	3.266.166	19.899.569	65,35	13.418.381	72.524.182	85,70	4.178.845	20,35	66.694.491	0
16	267.777	100%	80%	187.444	100%	1.318.054.639	3.603.743.422	7.032	4.922	3.792.766	23.692.336	94,05	17.629.563	90.153.746	85,70	-1.565.621	-8,35	65.128.870	182.292.796
Σ Ø	2.588.475			1.811.933		3.603.743.422		1.989	1.392	23.692.336		49,76	90.153.746			65.128.870	35,94		182.292.796

Quelle: WIK

4.5.2 Flächendeckende FTTC-Abdeckung bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

Im hier dargestellten Szenario wird neben der bestehenden Festnetzabdeckung auch die Abdeckung mit Kabelnetzen für die Bereitstellung von Hochbreitband berücksichtigt. Hochbreitband wird demnach durch FTTC, FTTS, FTTH und Kabel bereitgestellt. In dieser Abgrenzung haben 4,37 Mio. oder mehr als 85% aller Wohnungen und Arbeitsstätten Zugang zu Hochbreitband in der Schweiz. Nur für 14,9% der Anschlüsse ist das Netz noch mit FTTC auszubauen. In den ersten 10 Clustern liegt die fehlende Netzabdeckung bei jeweils weniger als 10% der Anschlüsse, in Cluster 14 sind dies 23% und in Cluster 16 58%.

Der noch erforderliche Investitionsbedarf sinkt auf 1,68 Mrd. CHF und damit auf weniger als die Hälfte im Vergleich zum Szenario ohne Berücksichtigung von Kabel. Auch der in Cluster 16 noch erforderliche Investitionszuschuss sinkt auf 133 Mio. CHF (zuvor 182 Mio. CHF).

Tabelle 4-12: Flächendeckung FTTC bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	3.408	0%	2%	2.386	0%	730.600	730.600	306	214	25.649	25.649	34,87	83.190	83.190	85,70	121.256	50,83	121.256	0
2	17.388	3%	6%	12.172	3%	4.219.652	4.950.251	347	243	119.621	145.270	34,11	415.139	498.329	85,70	627.967	51,59	749.223	0
3	8.843	4%	4%	6.190	4%	2.149.167	7.099.419	347	243	62.780	208.050	34,46	213.336	711.666	85,70	317.155	51,24	1.066.378	0
4	16.377	6%	6%	11.464	6%	4.623.950	11.723.368	403	282	113.160	321.211	34,60	396.684	1.108.350	85,70	585.772	51,10	1.652.150	0
5	24.045	9%	7%	16.832	9%	8.129.653	19.853.021	483	338	167.369	488.579	35,24	593.212	1.701.562	85,70	849.247	50,46	2.501.397	0
6	25.957	13%	8%	18.170	13%	9.946.436	29.799.457	547	383	186.571	675.150	36,11	656.159	2.357.721	85,70	901.001	49,59	3.402.398	0
7	23.666	16%	7%	16.566	16%	10.116.405	39.915.862	611	427	172.735	847.885	36,75	608.827	2.966.548	85,70	810.897	48,95	4.213.295	0
8	20.986	18%	8%	14.690	18%	10.045.736	49.961.598	684	479	158.300	1.006.185	37,74	554.348	3.520.896	85,70	704.602	47,96	4.917.898	0
9	27.082	22%	8%	18.957	22%	15.677.011	65.638.609	827	579	208.125	1.214.309	38,97	738.820	4.259.715	85,70	885.830	46,73	5.803.727	0
10	24.691	25%	8%	17.284	25%	15.644.189	81.282.798	905	634	195.992	1.410.302	39,90	689.598	4.949.314	85,70	791.615	45,80	6.595.342	0
11	36.105	30%	13%	25.274	30%	28.116.967	109.399.765	1.113	779	303.578	1.713.880	42,21	1.066.727	6.016.041	85,70	1.099.212	43,49	7.694.554	0
12	49.588	36%	12%	34.712	36%	39.407.913	148.807.678	1.135	795	426.398	2.140.278	42,85	1.487.404	7.503.445	85,70	1.487.380	42,85	9.181.934	0
13	67.168	45%	16%	47.018	45%	78.807.300	227.614.978	1.676	1.173	630.031	2.770.309	47,98	2.256.128	9.759.572	85,70	1.773.281	37,72	10.955.214	0
14	94.374	58%	23%	66.062	58%	156.466.061	384.081.039	2.368	1.658	966.395	3.736.703	54,63	3.608.881	13.368.454	85,70	2.052.615	31,07	13.007.830	0
15	129.366	75%	33%	90.556	75%	337.025.041	721.106.080	3.722	2.605	1.440.433	5.177.136	65,35	5.917.727	19.286.180	85,70	1.842.940	20,35	14.850.769	0
16	194.638	100%	58%	136.247	100%	958.049.119	1.679.155.199	7.032	4.922	2.756.833	7.933.969	94,05	12.814.330	32.100.511	85,70	-1.137.997	-8,35	13.712.772	132.502.438
Σ Ø	763.682			534.577		1.679.155.199		3.141	2.199	7.933.969		60,05	32.100.511			13.712.772	25,65		132.502.438

Quelle: WIK

4.6 Flächendeckende Versorgung im Technologiemix unter Berücksichtigung der bestehenden Versorgung

Wir folgen in diesem Abschnitt der gleichen Darstellungs- und Berechnungslogik wie in Abschnitt 4.3. Wir berücksichtigen für die flächendeckende Versorgung mit Hochbreitband allerdings nicht nur FTTH, sondern einen Technologiemix FTTH/FTTS/FTTC. Jede Technik wird bis zu ihrer jeweiligen Profitabilitätsgrenze wie in Abschnitt 4.2.4 abgeleitet, berücksichtigt. D.h. in den Clustern, in denen FTTH profitabel ausbaubar ist (Cluster 1 bis 12), wird auch die noch fehlende Netzabdeckung in FTTH erbracht. In den Clustern 13 und 14 kann als leistungsstärkste Architektur noch FTTS ausgebaut werden. Entsprechend wird die in den Clustern 13 und 14 noch fehlende FTTS-Abdeckung ermittelt und entsprechend ausgebaut. In den Clustern 15 und 16 wird FTTC berücksichtigt. Wir unterscheiden auch hier wieder ein Szenario mit Berücksichtigung und eines ohne Berücksichtigung von Kabel.

4.6.1 Flächendeckender Technologiemix mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

Ausgangspunkt der Versorgung ist wiederum die bestehende Netzabdeckung, wie sie in Tabelle 4-2 dargestellt ist. Relevant für das hier berechnete Szenario ist der rechte Teil der Tabelle „Technologiemix Swisscom & FTTH Kabelanbieterinnen“, der die durch Swisscom und andere FTTH-Betreiber bereitgestellte Festnetzversorgung darstellt.

Tabelle 4-9 stellt die quantitativen Ergebnisse dieses Modellszenarios dar. Wir wollen die Ergebnisse für einzelne Cluster zunächst verbalisieren und dann vergleichen. Im Cluster 1 sind bereits 81,5% der insgesamt 159.153 Anschlüsse mit FTTH versorgt. Es sind demnach in diesem Cluster noch 29.497 Anschlüsse mit FTTH auszubauen. Hierfür sind Investitionen in Höhe von insgesamt 53,5 Mio. CHF erforderlich.

In den weniger dicht besiedelten Clustern sind für eine Flächendeckung noch größere Anteile der Anschlüsse zu errichten. Dies sind etwa 88% aller Anschlüsse im gerade noch für FTTH profitablen Cluster 12.

In den Clustern 13 und 14 gilt es bei der bestehenden Versorgung neben FTTH auch FTTS zu berücksichtigen. So sind im Cluster 13 5,4% der Anschlüsse bereits mit FTTH und 23,6% mit FTTS als jeweils bester Festnetztechnologie versorgt. Es sind also noch 303.755 oder 71% der Anschlüsse in diesem Cluster mit FTTS zu versorgen. Hierfür fallen Investitionen in Höhe von 755,7 Mio. CHF an.

In Cluster 15 und 16 gilt es, auch die bestehende FTTC-Versorgung mit zu berücksichtigen. FTTC ist in diesen Clustern die unter Beachtung der Profitabilität für den Netzbetreiber darstellbare bestmögliche Versorgung mit Hochbreitband. In Cluster 15 gilt es daher die Versorgung der Gesamtzahl der Anschlüsse dieses Cluster mit 3,5% FTTH,

0,1% FTTS und 22,6% FTTC zu berücksichtigen. Es sind also noch 293.336 oder 74% aller Anschlüsse mit FTTC zu versorgen. Hierfür fallen Investitionen in Höhe von 764,2 Mio. CHF an.

Ähnliches gilt für das am wenigsten dicht besiedelte Cluster 16. Hier sind noch 80% der Anschlüsse neu mit FTTC zu versorgen. Hier gilt es nur zu berücksichtigen, dass bei unserer ARPU-Annahme von 85,70 CHF keine profitable Versorgung mehr dargestellt werden kann. Es ist vielmehr ein Investitionskostenzuschuss in Höhe von 181,7 Mio. CHF erforderlich, um die Wirtschaftlichkeitslücke zu schließen.

Die bisher vorgenommene Cluster spezifische Betrachtung kann auch schweizweit aggregiert betrachtet werden. Schweizweit sind bereits 1,63 Mio. Anschlüsse im hier definierten Technologiemix versorgt. Es sind also noch 69,3% aller Anschlüsse mit einer geeigneten Hochbreitbandtechnologie des Festnetzes zu versorgen nach Massgabe ihrer profitablen Erbringung. Hierfür sind Investitionen in Höhe von noch 14,7 Mrd. CHF zu erbringen. Die bisher erbrachte Netzabdeckung im Technologiemix entspricht demnach einem Investitionswert in Höhe von 5,5 Mrd. CHF. Für die flächendeckende Versorgung im Technologiemix unter Berücksichtigung eines profitablen Ausbaus ist nur ein vergleichsweise relativ geringer Investitionszuschuss in Höhe von 182,3 Mio. CHF erforderlich.

Tabelle 4-13: Flächendeckender Technologiemark mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (ohne Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	29.497	1%	19%	20.648	1%	53.525.611	53.525.611	2.592	1.815	296.314	296.314	44,32	915.158	915.158	101,90	1.188.863	57,58	1.188.863	0
2	71.483	3%	26%	50.038	3%	162.926.572	216.452.183	3.256	2.279	717.054	1.013.368	48,94	2.448.873	3.364.030	101,90	2.650.010	52,96	3.838.873	0
3	90.338	5%	38%	63.237	5%	248.460.250	464.912.433	3.929	2.750	996.136	2.009.504	55,33	3.498.837	6.862.867	101,90	2.944.973	46,57	6.783.846	0
4	111.190	9%	38%	77.833	9%	341.858.672	806.771.104	4.392	3.075	1.241.940	3.251.444	58,80	4.576.463	11.439.330	101,90	3.354.720	43,10	10.138.565	0
5	225.551	15%	65%	157.886	15%	839.780.064	1.646.551.168	5.319	3.723	2.749.206	6.000.649	66,98	10.575.802	22.015.132	101,90	5.512.751	34,92	15.651.316	0
6	202.281	21%	61%	141.597	21%	770.231.050	2.416.782.218	5.440	3.808	2.528.909	8.529.558	68,38	9.681.978	31.697.111	101,90	4.746.725	33,52	20.398.041	0
7	253.501	28%	78%	177.451	28%	1.097.545.125	3.514.327.343	6.185	4.330	3.392.246	11.921.805	75,06	13.320.174	45.017.284	101,90	4.762.053	26,84	25.160.094	0
8	229.354	35%	83%	160.548	35%	1.069.743.384	4.584.070.726	6.663	4.664	3.355.038	15.276.843	80,65	12.948.434	57.965.719	101,90	3.411.386	21,25	28.571.481	0
9	255.743	42%	76%	179.020	42%	1.252.952.154	5.837.022.881	6.999	4.899	3.725.312	19.002.156	82,79	14.821.281	72.786.999	101,90	3.420.867	19,11	31.992.348	0
10	263.349	49%	86%	184.344	49%	1.399.030.853	7.236.053.734	7.589	5.312	4.130.384	23.132.540	88,86	16.380.857	89.167.856	101,90	2.403.827	13,04	34.396.176	0
11	250.839	57%	88%	175.587	57%	1.518.115.940	8.754.169.674	8.646	6.052	4.433.694	27.566.234	99,73	17.511.426	106.679.282	101,90	380.920	2,17	34.777.095	0
12	355.614	67%	88%	248.930	67%	2.187.187.865	10.941.357.538	8.786	6.150	6.437.184	34.003.418	101,50	25.265.299	131.944.581	101,90	100.648	0,40	34.877.743	0
13	303.755	75%	71%	212.629	75%	755.662.000	11.697.019.539	3.554	2.488	3.878.019	37.881.437	66,96	14.237.324	146.181.905	85,70	3.984.938	18,74	38.862.682	0
14	304.316	84%	74%	213.021	84%	923.453.647	12.620.473.186	4.335	3.035	4.027.593	41.909.030	72,34	15.410.551	161.592.456	85,70	2.845.366	13,36	41.708.047	0
15	293.336	92%	74%	205.335	92%	764.200.621	13.384.673.806	3.722	2.605	3.266.166	45.175.197	65,35	13.418.381	175.010.837	85,70	4.178.845	20,35	45.886.893	0
16	267.777	100%	80%	187.444	100%	1.318.054.639	14.702.728.445	7.032	4.922	3.792.766	48.967.963	94,05	17.629.563	192.640.401	85,70	-1.565.621	-8,35	44.321.272	182.292.796
Σ Ø	3.507.924			2.455.547		14.702.728.445		5.988	4.191	48.967.963		78,45	192.640.401		44.321.272	18,05		182.292.796	

Quelle: WIK

4.6.2 Flächendeckender Technologiemark mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

Das nun abgebildete Szenario unterscheidet sich zu dem in Abschnitt 4.6.1 dargestellten nur dadurch, dass jetzt auch die bestehende Breitbandversorgung über Kabelnetze mit einbezogen wird. Referenzpunkt für die bestehende Versorgung ist demnach in diesem Szenario der linke Teil von Tabelle 4-2 „Technologiemark Gesamt“. Die über Kabelnetze dargestellte Breitbandversorgung wird demnach als entsprechend den Versorgungszielen äquivalent mit der Festnetzversorgung über FTTH, FTTS und FTTC angesehen. Der noch zu erbringende Netzausbau des Festnetzes erfolgt wieder im Technologiemark unter Berücksichtigung der Profitabilitätsgrenze der jeweiligen Festnetztechnologie.

Im Cluster 1 sind nun (wieder) 81,5% der Anschlüsse mit FTTH und 16,3% mit Kabel als jeweils bester Breitbandtechnologie versorgt (siehe Tabelle 4-2). In diesem Cluster besteht also (nur) noch ein Restversorgungsbedarf für 3.494 oder 2,2% der Anschlüsse mit FTTH. Der Investitionsbedarf sinkt hier auf 6,3 Mio. CHF.

Im Cluster 13 gilt es, jetzt eine Versorgung mit 5,4% FTTH, 72,7% Kabel und 4% FTTS zu berücksichtigen. Für die Flächendeckung sind noch 76.588 Anschlüsse (entspricht 18%) in diesem Cluster mit FTTS zu versorgen.

Im Cluster 15 ist darüber hinaus noch die bestehende Versorgung mit FTTC zu berücksichtigen. Hier sind demnach noch 33% der Anschlüsse mit FTTC zu versorgen. Dies erfordert noch Investitionen in Höhe von 337 Mio. CHF.

Die hohe Verfügbarkeit von Kabelnetzen in der Schweiz senkt den noch erforderlichen Ausbaubedarf erheblich, wenn man die Qualität der Kabelanschlüsse als äquivalent zu denen des Festnetzes ansieht. Für nur noch 17,7% aller Anschlüsse (0,9 Mio.) wäre bei dieser Betrachtung noch ein Netzausbau erforderlich. Insbesondere der Ausbaubedarf mit der besonders investitionsintensiven FTTH-Technologie sinkt drastisch. Insgesamt ist in diesem Szenario noch ein Investitionsbedarf in Höhe von 3,7 Mrd. CHF für die flächendeckende Verfügbarkeit von Hochbreitband zu leisten. Auch der Bedarf an Zuschüssen sinkt auf nunmehr nur noch 132,5 Mio. CHF.

Tabelle 4-14: Flächendeckender Technologiemix mit Hochbreitband bei bestehender Versorgung (mit Kabel)

Cluster	Anschlüsse	Ansl. Kum.	Anteil	Subscriber	Subs. Kum.	Invest [CHF]	Invest kumuliert [CHF]	Invest/Subscriber [CHF]	Invest/Anschluss [CHF]	OPEX [CHF/Monat]	OPEX kumuliert [CHF/Monat]	Kosten/Subscriber [CHF/Monat]	Kosten [CHF/Monat]	Kosten kumuliert [CHF/Monat]	ARPU [CHF/Monat]	Profit Loss [CHF/Monat]	Profit Loss/Subscriber [CHF/Monat]	Profit Loss kumuliert [CHF/Monat]	Invest Delta [CHF]
1	3.494	0%	2%	2.446	0%	6.340.254	6.340.254	2.592	1.815	35.099	35.099	44,32	108.403	108.403	101,90	140.824	57,58	140.824	0
2	19.849	3%	7%	13.894	3%	45.240.540	51.580.794	3.256	2.279	199.107	234.207	48,94	679.989	788.392	101,90	735.840	52,96	876.664	0
3	12.898	4%	5%	9.029	4%	35.473.890	87.054.685	3.929	2.750	142.223	376.430	55,33	499.546	1.287.938	101,90	420.468	46,57	1.297.132	0
4	20.020	6%	7%	14.014	6%	61.552.393	148.607.078	4.392	3.075	223.614	600.044	58,80	824.002	2.111.940	101,90	604.025	43,10	1.901.157	0
5	38.412	10%	11%	26.888	10%	143.017.020	291.624.098	5.319	3.723	468.198	1.068.242	66,98	1.801.090	3.913.031	101,90	938.838	34,92	2.839.994	0
6	36.709	14%	11%	25.696	14%	139.777.891	431.401.989	5.440	3.808	458.935	1.527.176	68,38	1.757.040	5.670.070	101,90	861.413	33,52	3.701.408	0
7	37.586	19%	12%	26.310	19%	162.730.447	594.132.436	6.185	4.330	502.960	2.030.137	75,06	1.974.951	7.645.021	101,90	706.058	26,84	4.407.466	0
8	31.103	22%	11%	21.772	22%	145.069.318	739.201.754	6.663	4.664	454.981	2.485.118	80,65	1.755.954	9.400.976	101,90	462.623	21,25	4.870.089	0
9	40.733	26%	12%	28.513	26%	199.561.670	938.763.424	6.999	4.899	593.342	3.078.460	82,79	2.360.632	11.761.608	101,90	544.852	19,11	5.414.941	0
10	36.001	30%	12%	25.201	30%	191.253.848	1.130.017.273	7.589	5.312	564.642	3.643.102	88,86	2.239.337	14.000.945	101,90	328.614	13,04	5.743.555	0
11	51.307	36%	18%	35.915	36%	310.517.800	1.440.535.073	8.646	6.052	906.875	4.549.977	99,73	3.581.814	17.582.760	101,90	77.914	2,17	5.821.469	0
12	72.628	44%	18%	50.840	44%	446.695.238	1.887.230.311	8.786	6.150	1.314.683	5.864.660	101,50	5.160.000	22.742.759	101,90	20.556	0,40	5.842.025	0
13	76.588	53%	18%	53.612	53%	190.530.662	2.077.760.973	3.554	2.488	977.794	6.842.454	66,96	3.589.762	26.332.521	85,70	1.004.752	18,74	6.846.777	0
14	107.504	64%	26%	75.253	64%	326.223.271	2.403.984.244	4.335	3.035	1.422.805	8.265.259	72,34	5.443.999	31.776.520	85,70	1.005.166	13,36	7.851.943	0
15	129.366	79%	33%	90.556	79%	337.025.041	2.741.009.285	3.722	2.605	1.440.433	9.705.692	65,35	5.917.727	37.694.247	85,70	1.842.940	20,35	9.694.883	0
16	194.638	100%	58%	136.247	100%	958.049.119	3.699.058.403	7.032	4.922	2.756.833	12.462.525	94,05	12.814.330	50.508.577	85,70	-1.137.997	-8,35	8.556.886	132.502.438
Σ Ø	908.836			636.185		3.699.058.403		5.814	4.070	12.462.525		79,39	50.508.577			8.556.886	13,45		132.502.438

Quelle: WIK

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

1. Der Glasfaserausbau mit FTTH kommt in der Schweiz derzeit scheinbar nur noch wenig voran, nachdem er eine Bevölkerungsabdeckung von knapp 30% erreicht hat. Nach der Arrondierung des bisherigen Ausbaus startet die Swisscom kaum noch grössere neue Ausbauprojekte. Sie setzt stattdessen auf die weitere Aufrüstung des Kupfernetzes mit der G.fast-Technologie.⁵⁸ Auch von lokalen Energieversorgungsunternehmen konnte in letzter Zeit kaum neue FTTH-Initiativen beobachtet werden. Vor diesem Hintergrund gibt es in der Schweiz erneut eine intensive politische und öffentliche Diskussion über die Erreichung eines landesweiten Ausbaus der Hochbreitbandnetze. Zwar verfügt die Schweiz in den Statistiken der OECD über einen Spitzenplatz in der Verfügbarkeit von Hochbreitband. Trotz dieser positiven Entwicklungen ist die Schweiz landesweit jedoch noch weit von einer flächendeckenden Verfügbarkeit von Hochbreitband mit Geschwindigkeiten von mehr als 100 Mbps entfernt. Die derzeitige Netzabdeckung weist zudem erhebliche regionale Disparitäten innerhalb und zwischen Kantonen auf.

Der Gutachtauftrag

2. Im Auftrag der Kommission für Verkehr und Fernmeldewesen des Nationalrates hat das BAKOM zu den genannten Fragen einen Bericht zu erstellen. Dieser Bericht soll Optionen prüfen, wie die bestehenden Lücken bei der Netzabdeckung geschlossen werden können. Dabei sollen die am besten realisierbaren Technologien eingesetzt werden. Zur Unterstützung der eigenen Berichterstattung hat das BAKOM im Juni 2017 bei WIK-Consult ein Gutachten in Auftrag gegeben. Als konkrete Untersuchungsfragen für das WIK-Gutachten benannte das BAKOM die Folgenden:

- Welche Breitbandtechnologien erlauben heutzutage welche Leistungen, insbesondere punkto Bandbreiten, Symmetrie der Bandbreiten sowie weiteren Leistungsparametern (Latenz etc.)? Welche Leistungen, insbesondere Bandbreiten, könnten diese Technologien voraussichtlich in fünf Jahren erbringen?
- Wieviel würde ein landesweiter Ausbau von Hochbreitband in der Schweiz kosten, ausgehend vom aktuellen Ausbaustand der Netze und unter Berücksichtigung der technologischen Entwicklung?
- Wie weit kann ein marktgetriebener, profitabler Hochbreitbandausbau gehen?

Ausgangspunkt der Betrachtung soll das FTTH-Modell sein, das das WIK 2009 für das BAKOM entwickelt hat.

Performance der Breitbandtechnologien

3. FTTC-Architekturen nutzen eine Glasfaser zwischen dem MPoP und dem Cabinet am Strassenrand und verkürzen so die Kupferanschlussleitung auf die Strecke zwi-

⁵⁸ Siehe Swisscom (2017).

schen dem Cabinet und dem Endkunden. Unter Verwendung von VDSL2 DSLAMs im Cabinet und unter Einsatz des das Nebensprechen zwischen den Kupferdoppeladern unterdrückenden Vectoring-Verfahrens können Übertragungsraten bis zu 100 Mbps Downstream (Profil 17a) bzw. 250 Mbps (Profil 35b, neu) erreicht werden. Die VDSL Übertragungsverfahren sind grundsätzlich asymmetrisch designed. Upstream werden daher 40 Mbps (Profil 17a) bzw. 100 Mbps (Profil 35b) erreicht. Die Bandbreiten nehmen über die Leitungslänge ab. Nach ca. 600m bricht diese bereits deutlich ein.

Tabelle 5-1: Typische FTTC VDSL Vectoring Verfahren

VDSL Profil	Downstream	Upstream	Einsatzbereich
17a	max. 100 Mbps	max. 40 Mbps	max. 600 – 1000 m
35b	max. 250 Mbps	max. 100 Mbps	max. 600 – 1000 m

4. FTTS-Architekturen nutzen eine längere Glasfaser als FTTC, die vom MPoP zu Schächten am Strassenrand reichen und so die Kupferdoppeladern noch einmal verkürzen. Typischerweise wird ab hier die G.fast Übertragungstechnik eingesetzt, die zur Unterdrückung des Nebensprechens gleichfalls ein Vectoring-Verfahren einsetzt. G.fast kann wahlweise symmetrisch mit gleicher Kapazität in beide Übertragungsrichtungen oder aber beliebig asymmetrisch eingestellt werden, wobei die Summenübertragungsraten immer gleich bleibt. Diese Einstellung ist nur je ONU möglich, nicht je individueller Anschlussleitung. Der Einsatzbereich erstreckt sich auf maximal ca. 200 m Leitungslänge. Bei größeren Längen ist VDSL Vectoring performanter.

Tabelle 5-2: G.fast Verfahren

Symmetrie	Downstream	Upstream	Einsatzbereich
symmetrisch	max. 500 Mbps	max. 500 Mbps	max. 200 m
asymmetrisch (Bsp.)	max. 900 Mbps	max. 100 Mbps	max. 200 m

5. FTTH P2P Architekturen bieten eine transparente Glasfaser zwischen der Wohnung des Endkunden und dem MPoP, die beliebige Übertragungsraten symmetrisch zu übertragen erlaubt. In der Tabelle 5-3 geben wir die höchsten derzeit marktverfügbaren Ethernet Schnittstellen an. Die geringste marktübliche Bandbreite ist derzeit 1 Gbps.

Tabelle 5-3: FTTH Punkt-zu-Punkt Übertragungsverfahren

Symmetrie	Downstream	Upstream	Einsatzbereich
symmetrisch	1000 Mbps	1000 Mbps	> 40 km

6. DOCSIS Architekturen wurden für die bidirektional Übertragung von Daten und Telefonie auf Kabel-TV Netzen entwickelt. Sie sind derzeit grundsätzlich für eine asymmetrische Datenübertragung ausgelegt. Eine symmetrische Übertragung ist angekündigt, jedoch noch nicht standardisiert. Wir gehen derzeit für die Schweiz von den

DOCSIS Release-Ständen 3.0 und 3.1 aus. Für die heute üblichen Glasfaser Segmente zwischen den zentralen CMTS und den Fibre Nodes in der Fläche bestehen die nur geringen Längenrestriktionen der Glasfaserkabel. In den Koaxialkabelsegmenten vom Fibre Node zum Endkunden besteht im Grundsatz eine Begrenzung der Übertragungslänge, die über Zwischenverstärker überwunden wird. Die Koaxialkabelsegmente sind ein geteiltes Medium, dessen Übertragungskapazität sich alle angeschlossenen Kunden teilen.

Tabelle 5-4: Aktuelle DOCSIS Übertragungsverfahren (geteilte Bandbreiten)

Release	Downstream	Upstream	Einsatzbereich
3.0	max. 1000 Mbps	max. 120 Mbps	> 100 km
3.1	max. 10.000 Mbps	max. 1.000 Mbps	> 100 km

7. Bereits in 2009 hatten wir für das BAKOM Szenarien einer nationalen Glasfaserausbaustrategie in der Schweiz mit einem FTTH-Modell abgebildet und berechnet. Der damals entwickelte Modellansatz basierte auf einer Bottom-up Netzmodellierung, bei der alle Netzelemente des Glasfasernetzes entsprechend der Kundenverteilung in der Fläche berücksichtigt wurden. Das Modell war als Greenfield-Ansatz angelegt und hat deshalb alle benötigten Netzelemente nach ihren aktuellen Wiederbeschaffungswerten bewertet. Allerdings wurden für das Glasfasernetz die bestehenden Schaltzentralen der Swisscom als feste Bestandteile des im Übrigen effizient optimierten Netzes berücksichtigt.

8. Alle 1.491 Anschlussbereiche des Schweizer Netzes wurden insgesamt 16 Clustern in Abhängigkeit von der jeweiligen Anschlussdichte je km² zugeordnet. Die Modellberechnungen ergaben, dass in der Schweiz ein Glasfaserausbau für ca. 60% der Bevölkerung wirtschaftlich profitabel darstellbar ist. Seinerzeit kam es insbesondere auch darauf an, die verschiedenen Varianten des Netzausbaus im Multifaseransatz und die Nutzung des Netzes durch verschiedene Kooperationspartner im Rahmen eines Co-Investment-Modells darzustellen. Hierauf wollen wir verabredungsgemäß an dieser Stelle nicht näher eingehen und verweisen dazu auf die seinerzeitige Studie. Das Glasfasernetz wird im jetzigen Modellansatz in seiner kostengünstigsten Variante, dem Einfasernetz modelliert.

9. In der hier vorliegenden Studie stützen wir uns auf das NGA-Modell des WIK ab, das die Abbildung verschiedener Breitbandtechnologien erlaubt und das auf demselben Modellansatz aufbaut wie das Modell aus dem Jahr 2009. Die Abbildung der verschiedenen Breitbandtechnologien ist mit dem seinerzeit entwickelten FTTH-Modell für die Schweiz nicht möglich. Weiterhin haben wir für die vorliegenden Berechnungen neue Parameterwerte am aktuellen Rand ermittelt und benutzt. Wir haben eine Reconciliation des FTTH-Modells von 2009 mit dem hier benutzten Modell für FTTH vorgenommen, dargestellt mit den alten Parametern. Diese zeigt, dass die FTTH-Modelle 2009 und 2017 (bei gleichen Parametern) zu ähnlichen Ergebnissen führen. D.h. die Ergebnisse

von 2009 können modellmäßig gut mit denen von 2017 verglichen werden. Die neuen Ergebnisse lassen sich alle (im Kern) auf die geänderten Inputfaktoren zurückführen; sie sind nicht die Folge eines geänderten Modellansatzes.

10. Gegenüber der Parametrierung von 2009 haben wir in Abstimmung mit dem BAKOM aufgrund von Aktualisierungen und neuen Erkenntnissen folgende wesentliche Parameteränderungen durchgeführt:

- Insbesondere durch Berücksichtigung von Mietleitungsprodukten haben wir für FTTH einen um ca. 15% höheren durchschnittlichen ARPU angenommen; für FTTC und FTTS aber annähernd den früheren Wert.
- Angesichts der Kapitalmarktentwicklung gilt ein niedrigerer WACC von 5,5% anstelle von 8%.
- Infolge von Kostensteigerungen und neuen Bauvorschriften und -normen wurden um 46% höhere Tiefbaukosten als 2009 angenommen.
- Für den Verkehr in der Busy Hour wurde ein deutlich höheres Datenvolumen der Endkunden angenommen.

Modellszenarien und Ergebnisse

11. Wir haben drei Klassen von Szenarien berechnet:

11.1. Die erste Klasse von Szenarien bezieht sich auf die flächendeckende Versorgung der Schweiz mit Festnetztechnologien in einer Greenfield-Betrachtung, d.h. dass noch kein Ausbau in der entsprechenden Technologie stattgefunden hat und alle Investitionen noch zu tätigen wären. Wir stellen zunächst Ergebnisse für FTTH, FTTS und FTTC vor. Als viertes Szenario betrachten wir das eines Technologiemies, bei dem die höherwertigste Technologie bis zu ihrer jeweiligen Profitabilitätsgrenze ausgebaut wird und danach die nächst leistungsstärkste Technologie eingesetzt wird.

11.2. Eine zweite Klasse von Szenarien bezieht die bestehende Netzabdeckung mit ein und ermittelt den noch für eine Flächendeckung erforderlichen Ausbau. Hierbei wird die Versorgung über Kabelnetze nicht einbezogen. Es werden wieder die Szenarien wie in Ziffer 11.1 unterschieden.

11.3. In der dritten Klasse von Szenarien wird für die bestehende Versorgung auch die bestehende Netzabdeckung über Kabelnetze einbezogen.

12. Tabelle 5-5 zeigt die Ergebnisse der berechneten Greenfieldszenarios (erste Klasse). Ein flächendeckendes Glasfasernetz für die Schweiz erfordert danach 33,1 Mrd. CHF Investitionen. Für FTTS vermindert sich dieser Investitionsbedarf auf etwa ein Drittel und für FTTC auf etwa ein Sechstel der Investitionen für FTTH. Angesichts der hohen erreichbaren ARPU's kann ein Glasfasernetz in der Schweiz für 69% der Wohnun-

gen und Arbeitsstätten profitabel ausgebaut werden. Für FTTS steigt diese Grenze auf 86% und für FTTC auf 94%. Nur im letzten Cluster ist bei FTTC für den Netzbetreiber eine relativ geringe Investitionsbeihilfe zur Deckung der Wirtschaftlichkeitslücke erforderlich. Diese steigt für FTTH auf 7,5 Mrd. CHF an.

Tabelle 5-5: Flächendeckende Netzabdeckung mit Festnetztechnologien (ohne Berücksichtigung der bestehenden Netzabdeckung)

	Investitionsbedarf (CHF)	Profitables Angebot*	Investitionsbeihilfe (CHF)
FTTH	33,1 Mrd.	Cluster 1-12 ≙ 69%	7,5 Mrd.
FTTS	12,2 Mrd.	Cluster 1-14 ≙ 86%	1,9 Mrd.
FTTC	5,6 Mrd.	Cluster 1-15 ≙ 94%	0,23 Mrd.
Technologiemix	20,2 Mrd.	Cluster 1-15 ≙ 94%	0,23 Mrd.

* Entspricht Anteil der Anschlüsse an allen adressierbaren Anschlüssen.

Quelle: WIK

13. Um die in der Schweiz bereits vorhandene Versorgung und Netzabdeckung mit Hochbreitband in die modellmäßige Ermittlung des noch bestehenden Abdeckungsbedarfs einzubeziehen (zweite Klasse), haben wir uns auf die Daten des Breitbandatlas mit Stand vom 18.05.2017 abgestützt. Um die gebäudebezogenen Daten Anschluss-technologien und den 16 räumlichen Dichteclustern zuzuordnen, haben wir einige Zuordnungskonventionen vorgenommen. Wir ermitteln so die beste für einen Haushalt verfügbare Anschluss-technologie in folgender Selektionshierarchie:

FTTH>COAX>FTTS>FTTC>COPP,

wobei „COAX“ den Breitbandanschluss über ein Kabelnetz und „COPP“ den Breitbandanschluss über ein reines Kupferanschlussnetz repräsentiert. Dabei ist unterstellt, dass jede Wohnung und jede Arbeitsstätte über einen Kupfernetzanschluss erreicht wird und dieser insofern auch eine Back-up Lösung darstellt. Die räumliche Zuordnung der verfügbaren Netzabdeckung bildet den zentralen Ausgangspunkt für die Szenariorechnung bei bestehender Netzabdeckung.

Tabelle 5-6: Flächendeckende Netzabdeckung mit Festnetztechnologien bei Berücksichtigung der bestehenden Versorgung (ohne Kabel)

Technologie	Investitionsbedarf (CHF)	Profitabelstes Angebot*	Investitionsbeihilfe (CHF)
FTTH	28,2 Mrd.	Cluster 1-12 ≙ 69%	7,3 Mrd.
FTTS	9,4 Mrd.	Cluster 1-14 ≙ 86%	1,86 Mrd.
FTTC	3,6 Mrd.	Cluster 1-15 ≙ 94%	0,18 Mrd.
Technologiemix	14,7 Mrd.	Cluster 1-15 ≙ 94%	0,18 Mrd.

* Entspricht Anteil der Anschlüsse an allen adressierbaren Anschlüssen.

Quelle: WIK

14. Die bestehende Netzabdeckung senkt den noch für die Flächendeckung mit Hochbreitband erforderlichen Investitionsaufwand erheblich, wie Tabelle 5-6 ausweist. Die Profitabilitätsgrenze ist durch die Berücksichtigung der bestehenden Versorgung nicht tangiert. Nur relativ gering wirkt sich die bestehende Netzabdeckung im Festnetz auf die erforderlichen Investitionsbeihilfen zum Ausgleich der Wirtschaftlichkeitslücke aus. Diese bleibt auf dem dünner besiedelten Bereich der Schweiz konzentriert, bei dem die Ausgangsversorgung auch begrenzt ist.

15. Wesentlich stärker als die bestehende Festnetzabdeckung wirkt sich die Berücksichtigung des Beitrags der Kabelnetze für das Angebot von Hochbreitband aus (dritte Klasse). Die hohe Verfügbarkeit der Kabelnetze führt dazu, dass in allen betrachteten Szenarien die noch erforderliche Restversorgung auf weniger als 20% aller Anschlüsse sinkt. Besonders bemerkenswert ist auch die hohe Verbreitung des Kabels im dünn besiedelten ländlichen Raum. Dadurch sinkt der Investitionsbedarf vor allem auch in den teuer zu versorgenden dünner besiedelten Gebieten. Für Flächendeckung mit FTTH sinkt der Investitionsbedarf auf fast ein Drittel im Vergleich dazu, dass Kabel nicht berücksichtigt wird; bei FTTS und FTTC auf jeweils weniger als die Hälfte und im Technologiemix auf weniger als ein Drittel. Etwas abgeschwächer aber gleichwohl erheblich sind die Effekte auf die erforderlichen Investitionsbeihilfen.

Tabelle 5-7: Flächendeckende Netzabdeckung mit Festnetztechnologien bei Berücksichtigung der bestehenden Versorgung (mit Kabel)

Technologie	Anteil der bestehenden Netzabdeckung	Investitionsbedarf (CHF)	Profitabelstes Angebot*	Investitionsbeihilfe (CHF)
FTTH	80,1%	10,1 Mrd.	Cluster 1-12 ≙ 69%	4,0 Mrd.
FTTS	81,7%	3,9 Mrd.	Cluster 1-14 ≙ 86%	1,21 Mrd.
FTTC	85,1%	1,7 Mrd.	Cluster 1-15 ≙ 94%	0,13 Mrd.
Technologiemix	82,3%	3,7 Mrd.	Cluster 1-15 ≙ 94%	0,13 Mrd.

* Entspricht Anteil der Anschlüsse an allen adressierbaren Anschlüssen.

Quelle: WIK

16. Bei den berechneten Ergebnissen für den Investitionsbedarf und die Wirtschaftlichkeitslücke gilt es darauf hinzuweisen, dass alle Modellergebnisse darauf basieren, dass alle Netzelemente/ -trassen neu investiert werden müssen. In allen Szenarien ist jedoch davon auszugehen, dass bestehende Netzinfrastruktur für die Erweiterung der Festnetze genutzt werden kann. Dies senkt in der Realität den Investitionsbedarf. Die Quantität des Effekts hängt von lokalen Gegebenheiten ab. Wir schätzen das Kostensenkungspotenzial auf 10 - 25%. Kostensenkend wirkt sich auch die Benutzung der Glasfaserstrecken bei Migration auf eine höherwertigere Technologie aus. Diesen Effekt schätzen wir auf 10 - 15% der Investitionen.

Schlussfolgerungen

17. Unsere Analyse der Performance der Breitbandtechnologien hat gezeigt, dass mit den Festnetztechnologien FTTS und FTTH sowie mit den Kabelnetzen Datenraten von mehr als 100 Mbps darstellbar sind. Diese Breitbandtechnologien qualifizieren sich daher uneingeschränkt für Hochbreitband. Vor diesem Hintergrund hat das in Abschnitt 4.4.2 beschriebene Szenario am ehesten Relevanz für den noch zu leistenden Investitionsbedarf für eine Flächendeckung mit Hochbreitband. Der in diesem Szenario noch zu leistende Netzausbau könnte in FTTS als kostengünstigere Technologie erfolgen. Denkbar wären aber auch ein weiterer FTTH-Ausbau und/oder eine Erweiterung des Footprints der Kabelnetze. Letztere Ausbauvarianten würden allerdings (deutlich) höhere Kosten verursachen, weil ein neuer Trassenausbau bis in die Gebäude hinein erfolgen müsste.

18. Der flächendeckende Ausbau mit FTTS ist in den Clustern 15 und 16 eigenwirtschaftlich nicht darstellbar. Hierbei sind Beihilfen in Höhe von 1,2 Mrd. CHF zur Deckung der Wirtschaftlichkeitslücke erforderlich. Diese Beihilfen liessen sich deutlich vermindern, falls die noch erforderliche Netzabdeckung mit FTTC oder über Mobilfunk dargestellt wird. Wir halten es für möglich, dass es in den genannten Clustern auch

einzelne Anschlussbereiche gibt, in denen die Kupferleitungslängen auch mit FTTC/Vectoring noch Datenraten von 100 Mbps und mehr ermöglichen. Diese sind aber nur über eine detaillierte Netzplanung identifizierbar.

19. Für bestimmte abgelegene Gebiete kann der Mobilfunk mit 4G Hochbreitband kostengünstiger darstellen als FTTC. Unter Kostengesichtspunkten kann diese Option zumindest temporär breitbandpolitisch auch insofern sehr relevant sein, als sich die erforderlichen Netzinstallationen im Mobilfunk schneller umsetzen lassen als über einen Ausbau des Festnetzes.

20. Wir sehen die letzt genannten Einschätzungen auch unterstützt durch den von der Swisscom für ihren eigenen Netzausbau angestrebten TechnologiemiX. Sie strebt in ihrer Netzausbauplanung bis 2021 folgenden TechnologiemiX an:⁵⁹

- 30% FTTH
- 40% FTTS G.fast
- 20% FTTS/C Vectoring
- 10% FTTC/DSL-LTE Bonding.

Mit diesem TechnologiemiX sollen für mehr als 85% der Bevölkerung Datenraten über 100 Mbps angeboten werden und für mehr als 90% der Bevölkerung von mehr als 80 Mbps.

⁵⁹ Siehe hierzu Swisscom (2017).

6 Literaturverzeichnis

- Elixmann, D., Ilic, D., Neumann, K.-H., Plückebaum, T. (2008): The Economics of Next Generation Access, Study for the European Competitive Telecommunication Association (ECTA), 10 September 2008
- IHS (2017): Broadband Coverage in Europe 2016: Coverage in Switzerland, 22 May 2017
- Ilic, D., Neumann, K.-H., Plückebaum, T. (2009): Szenarien einer nationalen Glasfaserausbaustategie in der Schweiz, Studie für das BAKOM, Dezember 2009
- Jay, S., Neumann, K.-H., Plückebaum, T. (2011): Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf, WIK Diskussionsbeitrag Nr. 359, Oktober 2011
- Jay, S., Neumann, K.-H., Vogelsang, I., et al. (2011): Architectures and competitive models in fibre networks, in: Vodafone, The Policy Paper Series, Nummer 13, June 2011, S. 3 ff.
- Jay, S.; Plückebaum, T.; Ilic, D.; Stamm, P. (2013): Migrationsoptionen für Breitbandkabelnetze und ihr Investitionsbedarf, WIK Diskussionsbeitrag Nr. 380, Bad Honnef, September 2013
- Kroon, P.; Plückebaum, T.; Sanchez Gracia, J.; Sabeva, D.; Zoz, K. (2017): Study into current and future technological access options to all fixed telecommunications infrastructures in the Netherlands, den Haag, 21. June 2017, <https://www.acm.nl/nl/publicaties/publicatie/17463/Onderzoek-toegang-tot-vaste--telecommunicatienetwerken/>
- Nett, L., Jay, S. (2014): Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, WIK Diskussionsbeitrag Nr. 388, September 2014
- Neumann, K.-H. (2013): Der dynamische Investitionswettbewerb als Leitbild der Entwicklung des Telekommunikationsmarktes, Studie für den BREKO, November 2013
- Plückebaum, T.; Jay, S.; Neumann, K.-H. (2014): Benefits and regulatory challenges of VDSL vectoring (and VULA), Florence School of Regulation, Communications Media 2014 Scientific Seminar, March 28 – 29, 2014, Florence, EUI Working Papers RSCAS 2014/69, <http://fsr.eui.eu/Publications/WORKINGPAPERS/ComsnMedia/2014/WP201469.aspx>
- Strube Martins, Wernick, Plückebaum, Henseler-Unger (2017): Die Privatkundennachfrage nach hochbitratigem Breitbandinternet im Jahr 2025, Bad Honnef, März 2017, <http://www.wik.org/index.php?id=871>
- Swisscom (2017): FY 2016 analyst presentation, Analyst meeting in Zurich – 8 February 2017