

Implikationen eines flächendeckenden Glas- faserausbaus und sein Subventionsbedarf

Autoren:
Stephan Jay
Karl-Heinz Neumann
Thomas Plückebaum

Unter Mitarbeit von Konrad Zoz

Bad Honnef, Oktober 2011

Impressum

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

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

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

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

ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Zusammenfassung	VII
Summary	VIII
1 Ziel und Vorgehensweise	1
1.1 Problemstellung und Ziel	1
1.2 Methodische Vorgehensweise	2
2 Datenquellen und Modellierungsannahmen	4
2.1 Geodatenaufbereitung und modellendogene Trassenoptimierung	4
2.2 Clusterbildung	7
2.3 Schlüsselannahmen	15
2.3.1 Investitions- und Kostenrechnung im WIK-NGA Modell	15
2.3.2 Steady State, Kosten der Migration von Kupfer zu Glas und Anlaufverluste wegen temporärer Unterauslastung	17
2.3.3 Greenfieldansatz	18
2.3.4 Vollausbau	18
2.3.5 Röhrenkabelverlegung	19
2.3.6 Wesentliche Investitions- und Kostenwerte	20
2.3.7 WACC	21
2.3.8 Fiber-to-the-Road, Gebäudezuführung, Hausanschluss und Inhausverkabelung	21
2.3.9 Dienstnachfrage	22
2.3.10 Penetration und Umsatz pro Kunde	23
2.3.10.1 Penetration	23
2.3.10.2 ARPU	25
2.3.11 Retail- und Wholesale Geschäft	26
3 Die modellierten NGA-Architekturen	27
3.1 Netz-Topologien und Technologien	28
3.2 Erläuterung der modellierten NGA-Architekturen	29

3.2.1 FTTH/P2P Ethernet	29
3.2.2 FTTH/PON	30
3.2.3 FTTH GPON over P2P	31
3.2.4 FTTB	33
3.3 Zusammenfassung der modellierten Elemente im Anschlussnetz	34
4 Kosten, Investitionsvolumen und Profitabilität von NGA in Deutschland	36
4.1 Abhängigkeit der Kosten pro Kunde von der Penetration	36
4.1.1 Basis Szenario	36
4.1.2 Sensitivität mit ausgewählten Kostensteigerungen bei FTTH/P2P	39
4.1.3 Brownfield Sensitivität	40
4.2 Investitionen und Profitabilität	44
4.2.1 Basis Szenario	44
4.2.1.1 Investitionen und Kosten bei fixierter Penetration bei 70 %	44
4.2.1.2 Profitabilität und Reichweite bei fixiertem ARPU in Höhe von 38 €	49
4.2.2 Sensitivität mit ausgewählten Kostensteigerungen bei FTTH/P2P	52
4.2.3 Brownfield Sensitivität	55
4.3 Zwischenfazit	59
5 Erfordernisse eines flächendeckenden Glasfaserausbaus	62
5.1 Basis Szenario am Beispiel von FTTH / P2P ohne Inhausverkabelung	62
5.1.1 Preise	62
5.1.2 Interne Subventionierung defizitärer Cluster	64
5.1.3 Einmalige Investitionszuschüsse	66
5.2 Sensitivität mit ausgewählten Kostensteigerungen bei FTTH/P2P und Senkung der Penetration auf 60 % sowie Senkung des ARPU auf 35 €/ Monat	68
5.3 Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse für alle Architekturen	70
6 Schlussfolgerungen	73
Literaturverzeichnis	76

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Gebäudeanschlussleitung ("Lotlängen")	5
Abbildung 2-2:	Konzentration von Teilnehmern und Fläche (kumulierte Anteile an Gesamt)	9
Abbildung 2-3:	Clusterung der deutschen Anschlussbereiche	10
Abbildung 2-7:	Kostenrechnung des WIK-NGA Modells	16
Abbildung 2-8:	Monatliche Gesamtkosten pro Kunde bei unterschiedlicher Penetration (Beispiel)	16
Abbildung 3-1:	NGN/NGA-Netzarchitektur in der Übersicht	27
Abbildung 3-2:	Generische Struktur eines Next-Generation-Access-Netzes	27
Abbildung 3-3:	FTTH/P2P-Netzarchitektur	30
Abbildung 3-4:	FTTH/PON-Netzarchitektur	31
Abbildung 3-5:	FTTH/GPON über P2P Netzarchitektur	31
Abbildung 3-6:	FTTB über eine P2P-Topologie	34
Abbildung 4-1:	Basis Szenario: Kosten pro Kunde für FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung in Abhängigkeit von der Penetrationsrate	37
Abbildung 4-2:	Basis Szenario: Kosten pro Kunde für FTTH/PON ohne Inhausverkabelung	38
Abbildung 4-3:	Alternativszenario mit erhöhten Kosten am Beispiel FTTH/P2P: Kosten pro Kunde pro Monat	40
Abbildung 4-4:	Annahme zum Anteil existierender Leerrohre im Feeder Abschnitt mit ausreichend Platz in Abhängigkeit von der Architektur.	41
Abbildung 4-5:	Basis Szenario, aber mit Brownfield statt Greenfield-Hypothese am Beispiel FTTH/P2P ohne Inhaus: Kosten pro Kunde pro Monat	43
Abbildung 4-6:	Gesamtinvestitionen in Milliarden Euro bei 70 % Penetration	44
Abbildung 4-7:	Konzentration von Investition und Teilnehmer am Beispiel FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung	45
Abbildung 4-8:	Investitionen pro Kunde bei 70 % Penetration (Cluster 1-20)	46
Abbildung 4-9:	Investitionen für Gesamtausbau als Greenfield und Brownfield (Cluster 1-10)	55
Abbildung 4-10:	Investitionen für Gesamtausbau als Greenfield und Brownfield (Cluster 1-20)	56
Abbildung 4-11:	Monatliche Kosten pro Kunde bei unterschiedlicher Penetration (für Cluster 1-10), FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung	59

Abbildung 4-12: Gesamtinvestitionen für den Aufbau und Betrieb bei 70 % Penetration (in Milliarden Euro)	60
Abbildung 5-1: Kosten pro Kunde und Monat bei 70 % Penetration: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung	63
Abbildung 5-2: Notwendige monatliche Preissteigerung für alle Kunden bei sukzessivem Ausbau bis zum betrachteten Cluster: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung bei 70 % Penetration und 38 € Basis-ARPU	64
Abbildung 5-3: Monatlicher Gewinn und Verlust pro Cluster: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung, 38 € ARPU, 70 % Penetration	65
Abbildung 5-4: Gewinn und Verlust pro Kunde und Monat: FTTH/P2P mit Inhausverkabelung, 38 € ARPU, 70 % Penetration	66
Abbildung 5-5: Investitionen und Investitionszuschuss in Euro pro Kunde: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung bei 70 % Penetration	67
Abbildung 5-6: Gesamtinvestition und Investitionszuschuss je Cluster, sowie kumuliertes Zuschussvolumen in Milliarden Euro: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung bei 70 % Penetration	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Gebäude- und Anschlusszahlen	6
Tabelle 2-2:	Datenquellen	7
Tabelle 2-4:	Annahmen zu direkten Investitionen für Geräte- und Tiefbau sowie zur Lebensdauer	20
Tabelle 2-5:	Annahmen zu direkten Kosten und anderen Parametern	20
Tabelle 2-6:	Annahmen zur Bandbreitennachfrage	23
Tabelle 2-7:	Aktuelle Endkundenpreise inkl. MwSt. ohne Vergünstigungen und ohne Umrechnung von Einmalentgelten (jeweils mit Festnetzflatrate)	25
Tabelle 2-8:	Annahmen zum ARPU (exkl. MwSt.)	26
Tabelle 3-1:	Modellierte Glasfaserarchitekturen	29
Tabelle 3-2:	Überblick über die bei der bottom-up Modellierung berücksichtigten Netzebenen und –Elemente des Anschlussnetzes	34
Tabelle 4-1:	Reduktionsfaktoren auf Tiefbauinvestitionen wegen Mitnutzung existierender Infrastruktur	42
Tabelle 4-2:	Aufschlüsselung der Investitionen nach wesentlichen Komponenten (in Mrd. €)	47
Tabelle 4-3:	Anteile an den monatlichen Gesamtkosten bei 70 % Penetration	48
Tabelle 4-4:	Kritische Penetrationsraten je Cluster bei ARPU von 38 €	50
Tabelle 4-5:	Effekt einer ARPU-Senkung von 38 € auf 35 € auf die profitable Reichweite	51
Tabelle 4-6:	Kritische Penetrationsraten FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung: Base Case und Sensitivität	53
Tabelle 4-7:	Gesamtkosten pro Kunde und Monat: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung	54
Tabelle 4-8:	Kritische Penetrationsraten im Brownfieldfall	57
Tabelle 4-9:	Vergleich von kritischen Penetrationsraten bei Greenfield und Brownfield am Beispiel von GPON und P2P	58
Tabelle 5-1:	Gesamtkosten pro Kunde pro Monat: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung	69
Tabelle 5-2:	Überblick über Basisszenario und Sensitivitäten für FTTH/P2P	70
Tabelle 5-3:	Übersicht über die Ergebnisse der Subventionsrechnung für alle Architekturen	71

Zusammenfassung

Die bisherigen Analysen wie auch die Einlassungen potenzieller Investoren haben gezeigt, dass ein flächendeckender Ausbau von Glasfasernetzen in Deutschland bei dem derzeit üblichen Entgeltniveau absehbar nicht profitabel sein kann. Das Ziel des in diesem Diskussionsbeitrag vorgestellten Forschungsvorhabens ist die Analyse der ökonomischen Implikationen und des Subventionsbedarfes eines flächendeckenden Glasfaserausbau in Deutschland mit relevanten glasfaserbasierten Telekommunikationsanschlussnetzen.

Die Versorgung von 43 Millionen Anschlüssen in Deutschland mit FTTB/H und ein Betrieb bei 70 % Penetration erfordert in einer Greenfieldbetrachtung Investitionen in Höhe von 70 bis 80 Milliarden Euro. Die Unterschiede im Investitionsvolumen zwischen den modellierten Architekturen sind relativ gering. GPON erfordert die geringsten Investitionen, aber GPON over P2P benötigt nur wenige Prozent mehr und P2P selbst nur etwa 5 % mehr. Der Grund für die geringen Unterschiede liegt darin, dass die Segmente mit dem höchsten Investitionsanteil Drop-Kabel, Hauszuführung und Inhausverkabelung in allen FTTH Architekturen identisch sind. Sensitivitäten zeigen, dass die Mitnutzung existierender Leerrohre des deutschen Kupfernetzes – selbst wenn sie kostenlos ist - in den weniger dicht besiedelten Regionen nur begrenzte Einsparungen bringt, weil sie dort nur in geringem Maße verfügbar sind. Dieser Effekt könnte durch (kostenlosen) Zugang zu anderen Infrastrukturen vergrößert werden.

Die Profitabilität von NGA hängt in kritischer Weise von der Penetration, also der Netzauslastung bzw. der Nachfrage nach Festnetzanschlüssen ab. Investoren müssen hohe Penetrationsraten erzielen, die bei dem von uns unterstellten Vollausbau deutlich über 40 %, oft sogar bei 60 % und mehr liegen. Selbst bei hohen Penetrationsraten von 70 % sind die Kosten in weniger dicht besiedelten Regionen noch zu hoch, um bei marktüblichen Preisen einen profitablen Betrieb zu gestatten. Die Grenze des profitablen Ausbaus liegt daher je nach NGA-Architektur und Szenario zwischen 20 % und 45 % der deutschen Teilnehmer. Um die Flächendeckung dennoch zu erreichen, könnten die Endkunden höhere Preise in Kauf nehmen. "Auf dem Land" müsste ein NGA-Anschluss dann bis zu 70 Euro im Monat kosten. Alternativ ist denkbar, dass die Endkunden einen einmaligen Investitionsbeitrag leisten, der je nach Cluster zwischen wenigen Hundert bis über 2.000 € beträgt. Das Gesamtvolumen einer externen Subventionierung dieser Zuschüsse liegt bei ungefähr 14 Milliarden Euro.

Alternativ zur Preisdifferenzierung wäre auch eine Abgabe denkbar, die von allen NGA-Nutzern in gleicher Höhe eingesammelt wird. Die Höhe der Abgabe hängt entscheidend vom gewählten einheitlichen ARPU und der Penetration ab. Beim Basis-Szenario mit 70 % Penetration und 38 € monatlichem ARPU müssten alle Kunden 6 € im Monat mehr zahlen, um den flächendeckenden Ausbau mit FTTH/P2P zu subventionieren.

Summary

Economic analysis and statements of investors have shown that a nationwide rollout of fibre access networks is not profitable at the given revenue level. The goal of this paper is to analyse the investment requirements for rolling out fibre network nationwide in Germany, to determine the range of profitable operation and to assess the level of subsidies needed for extending the range of profitable operation.

The roll-out of a fibre access network to 43 million customers in Germany and operation at 70 % penetration requires investments of 70 to 80 bn € in a greenfield environment. The differences in investment between the considered fibre access architectures are relatively small. GPON is the cheapest technology but GPON over P2P requires only a few per cent more and P2P itself only about 5 % higher investments. The reason is that of the dominant investment block most items are identical for all architectures in a greenfield deployment. Inhouse cabling, building access and the drop segment between the building's street and the distribution point are identical for all FTTH networks. Sensitivities show that the use of existing ducts of the German copper network – even if access is free – only allows minor savings in those rural areas that are most loss-making because the degree of ducted cabling is low. This savings effect could be increased by (free) access to other infrastructures.

Profitability of fibre access network critically depends on the penetration. Investors must realize high penetration rates that usually exceed 40 % and often even 60 % under the full coverage assumption in this study. Even at high penetration rates of 70 % cost in less dense areas is still too high to enable allow profitability at current price levels. The reach of potential profitable fibre roll-out therefore ends at about 20 % to 45 % of German customers.

In order to increase the profitable coverage of Germany with fibre access networks end users can pay a higher monthly price that reflects their higher cost. In least dense areas such a price would have to be in the region of up to 70 €. Alternatively, end users could bear a part of the investment which would be between a few hundred € and over 2,000 € in the least dense cluster. The total volume of subsidies of this kind would be in the range of about 14 billion €.

Alternatively, all fibre customers could pay a broadband premium that allows equalizing the losses endured in non-profitable cluster. Such an increased homogenous end user price depends on the base ARPU and the penetration chosen. In the optimistic base case end users would have to pay 6 € in addition to their 38 € ARPU in order to enable a nationwide FTTH/P2P network running at 70 % penetration.

1 Ziel und Vorgehensweise

1.1 Problemstellung und Ziel

Die bisherigen Analysen wie auch die Einlassungen potenzieller Investoren haben gezeigt, dass ein flächendeckender Ausbau von Glasfasernetzen in Deutschland bei dem derzeit üblichen Entgeltniveau absehbar nicht profitabel sein kann. Diese Feststellung gilt sowohl für Telekommunikationsnetze als auch für Kabel-TV-Netze.

Um dennoch einen flächendeckenden Ausbau sicherzustellen, könnte man daher an mehrere Möglichkeiten denken: (1) die Endnutzer können bereit sein, je nach Gebiet, in dem sie angesiedelt sind, höhere Entgelte zu entrichten, um die Defizite auszugleichen. Alternativ könnte ein einheitlich höherer Preis für alle Kunden die Defizite ausgleichen. 2) Die Netzbetreiber könnten Gewinne aus profitablen Gebieten verwenden, um nicht profitable Kunden zu subventionieren. 3) Für den Anschluss von defizitären Kunden wird ein einmaliger Investitionszuschuss geleistet.

Das WIK hat zu diesem Themenfeld bereits erste Untersuchungen durchgeführt.¹ Diese haben sich auf die beiden Architekturansätze FTTC/VDSL und FTTH P2P konzentriert und andere FTTx Konzepte nicht analysiert (z.B. FTTB, FTTH/PON, FTTH/GPON über P2P). Damals lagen ausschließlich Schätzungen über die Leitungslängen und die Verteilung der Teilnehmer vor. Gegenüber den auf Deutschland bezogenen bisherigen Rechnungen können wir im Rahmen dieser Studie erstmals auf einen detaillierten Geodatenatz zurückgreifen. Dadurch werden die von uns für die unterschiedliche Geotypen (städtisch, ländlich, etc.) angenommen Durchschnittswerte auf ein wesentlich solideres Fundament gestellt. Zuvor¹ stützten sich die Strukturdaten wie z.B. Trassenlängen auf Einschätzungen von Marktteilnehmern, die wir im Rahmen anderer Studien eingeholt haben. Nun stützen sich die Strukturdaten auf eine genaue Verteilung der Kunden auf die Gebäude in der Fläche.

Rückblickend zeigt sich, dass insbesondere die Leitungslängen in den weniger dicht besiedelten Gebieten deutlich überschätzt wurden. Mit den nun erstmals verfügbaren Informationen über HVt, Gebäude, Straßen und Kunden waren wir in der Lage, die Kostenabschätzung deutlich zu verbessern. So stellte sich beispielsweise heraus, dass sich die Trassenlängen bei Teilnehmerdichten unter 1000 Teilnehmer pro km² noch sehr stark unterscheiden: In dieser Studie haben wir eine gleichmäßigere Durchschnittsbildung von HVt zu Clustern mit je 5% der Gesamtzahl der Anschlüsse vorgenommen. Innerhalb der etwa 16 Cluster (80% der Anschlüsse) mit einer Teilnehmerdichte von unter 1000 pro km² liegen die Leitungslängen um den Faktor 10 auseinander. In Elixmann / Illic / Neumann / Plückerbaum (2008) sowie in Doose / Elixmann / Jay (2009) haben wir einen vergleichbaren Anteil der gesamten Anschlüsse in Gebieten mit weniger als 1000 Teilnehmer pro km² in nur 3 Clustern abgebildet (etwa 75% der Anschlüs-

¹ Doose / Elixmann / Jay (2009).

se), bei denen insbesondere im letzten Cluster eine deutliche Überschätzung der Trassenlängen vorlag. Bei Rechnungen in Doose / Elixmann / Jay (2009) war es auch nicht möglich, die Effekte und das Potenzial unterschiedlicher Subventionierungsansätze oder differenzierter Deckungsbeiträge der Endnutzer zu analysieren.

Das Ziel des in diesem Diskussionsbeitrag vorgestellten Forschungsvorhabens ist die Analyse der ökonomischen Implikationen und des Subventionsbedarfes eines flächen-deckenden Glasfaserausbaus in Deutschland mit relevanten glasfaserbasierten Telekommunikationsanschlusnetzten.

1.2 Methodische Vorgehensweise

Für die Berechnung von Investitions-, Kosten und Subventionswerten wird das WIK NGA-Modell eingesetzt. Wir haben dieses Modell bereits in verschiedenen anderen Projekten verwendet und stetig weiterentwickelt.² Die Vorgehensweise umfasst insgesamt fünf Schritte:

1. Umfangreiche Aufbereitung von Geodaten: Am Ende dieses Prozesses stehen geokodierte Daten für HVt (Hauptverteiler), Gebäude, Straßen, etc., mit denen das WIK Trassenoptimierungstool gestartet werden kann.
2. Abgrenzung von Anschlussbereichsgrenzen, Platzierung von KVz und Bestimmung der Trassenlängen: Mit den aufbereiteten Geodaten nehmen wir eine Trassenoptimierung vor, bei der die HVt-Standorte als gegeben angenommen werden ("Scorched Node") und die Standorte der KVz sowie die Trassenführung modellendogen ermittelt werden. Für jeden der 7731 HVt werden so u.a. die Trassenlängen, Zahl von Kunden und Gebäuden, KVz, etc. bestimmt.

² Relevante Vorgängerprojekte sind unter anderem:

Elixmann / Ilic / Neumann / Plückebaum (2008): "The Economics of Next Generation Access". Dies ist die erste Anwendung des WIK-NGA Modells im Rahmen einer Studie für die ECTA. Die Studie analysiert unter welchen Bedingungen der Glasfaserausbau für den Investor tragfähig ist und welche Bedingungen weitere Akteure in den Markt eintreten können.

Ilic / Neumann / Plückebaum (2009): "The Economics of Next Generation Access – Addendum". Die Folgestudie für die ECTA analysierte Fragestellung von Koinvestment und Risikoaufteilung mit Multifaserstrategien.

Ilic / Neumann / Plückebaum (2009): "Szenarien einer nationalen Glasfaserausbaustrategie in der Schweiz". In dieser Studie wurden die Kosten des Ausbaus von FTTH in der Schweiz ermittelt. Auf dieser Grundlage wurden Profitabilität und Wettbewerbsmöglichkeiten von Kooperationsmodellen analysiert.

Jay / Plückebaum / Ilic (2010): "Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung". In diesem WIK-Diskussionsbeitrag wurden die Kosten der Terminierung in verschiedenen FTTx Architekturen untersucht.

Doose / Elixmann / Jay (2009): "Breitband/Bandbreite für alle: Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur". In diesem WIK-Diskussionsbeitrag wurden die Investitionen eines Ausbaus von FTTC und FTTH in Deutschland modelliert.

Hoernig / Jay / Neumann / Peitz / Plückebaum / Vogelsang (2010): "Architectures and competitive models in fibre networks". In dieser Studie für die Vodafone Group wurden neben den investiven und kostenmäßigen Unterschieden von FTTH-Architekturen auch der Einfluss der Architektur auf die Wettbewerbsstruktur (Anzahl der Wettbewerber, wettbewerbliche Preisbildung, Profite) und gesamtwirtschaftliche Marktergebnisse (Konsumentenrente, Wohlfahrtseffekte) untersucht.

3. Aggregation der HVt-scharfen Daten in 20 Cluster: Die individuellen Ergebniswerte der einzelnen Anschlussbereiche werden dann in Abhängigkeit der Teilnehmerdichte je km² in Durchschnittswerte für 20 Cluster zusammengefasst.
4. Bestimmung der Investitionen, Kosten und der Profitabilität individuell für jeden Cluster mit dem WIK NGA Modell.
5. Bestimmung des Subventionsbedarfs mit dem WIK NGA Modell.

Auch in dieser Modellrechnung fassen wir Regionen mit ähnlichen Strukturparametern in unterschiedliche Geotypen bzw. Cluster zusammen. Die Berechnungen eines spezifischen Clusters sind weitgehend unabhängig von anderen Clustern. **In Kapitel 2** beschreiben wir die **Datenquellen, die Clusterung und unsere Modellierungsannahmen** genauer.

Insgesamt haben wir mit FTTH/P2P, FTTH/PON, FTTH/GPON over P2P und FTTB vier verschiedene **NGA-Architekturen** modelliert. Sie werden im Detail in **Kapitel 3** dargestellt.

Die **Ergebnisse unserer Berechnungen** enthält **Kapitel 4**.

2 Datenquellen und Modellierungsannahmen

2.1 Geodatenaufbereitung und modellendogene Trassenoptimierung

Die Hauptverteilerstandorte haben wir der „Liste aller DSL-Hauptverteiler in deutschen Gemeinden als Planungshilfe für die Kommunen 08/2008“ (HVT-Standortadressen) aus dem Breitbandatlas³ entnommen und geokodiert. Dabei ergab sich wegen Adressdopplungen eine eindeutige Zahl von 7,731 Standorten. Diese HVt Standorte sind als "Scorched Nodes" in die Modellierung eingegangen. Grundsätzlich sind wir davon ausgegangen, dass die existierenden HVt-Standorte in Deutschland erhalten bleiben und als MPoP (Metropolitan Point of Presence) fungieren. Dies entspricht auch den Glasfaserausbaustrategien großer europäischer Telefongesellschaften.

Um Skaleneffekte zu erreichen und die aktive Technik auf weniger Standorte zu konzentrieren, gehen wir jedoch davon aus, dass kleine Schaltzentralen mit weniger als 2,000 Teilnehmern keinen MPoP bilden, sondern nur passive Netzknoten bleiben, sofern die Entfernung zum nächstgelegenen Standort weniger als 30km betrug.⁴ Ein solches Vorgehen wurde z.B. in der Schweiz und in den Niederlanden diskutiert. Von den 7,731 von uns berücksichtigten HVt-Standorten verbleiben bei dieser Vorgehensweise 6,086 aktive HVt bzw. MPoP-Standorte. An den passiven Standorten entfallen die Rauminvestitionen, stattdessen wird nur ein großzügiger Schacht gesetzt, in dem die Anschlusskabel mit einem Backhaul-Kabel zum nächstgelegenen MPoP-Standort verbunden werden.

Nach unserem Netzmodell steht am MPoP jeweils die erste aktive Technik, welche die Glasfaser in Richtung Kunde beleuchtet. Eine Abwägung des Trade-Offs zwischen Aggregationsvorteilen auf eine (noch) geringere Zahl von MPoPs (geringere Unterhaltskosten wegen Standortreduktion, ggf. einmalige Nettoerlöse aus Standortaufgabe) und -Nachteilen (Mehrkosten durch gesteigerte Redundanzanforderungen, da ein MPoP-Ausfall bei starker Aggregation potenziell hunderttausende Kunden betreffen kann) haben wir an dieser Stelle nicht vorgenommen. Dies mag zukünftigen Analysen vorbehalten bleiben.

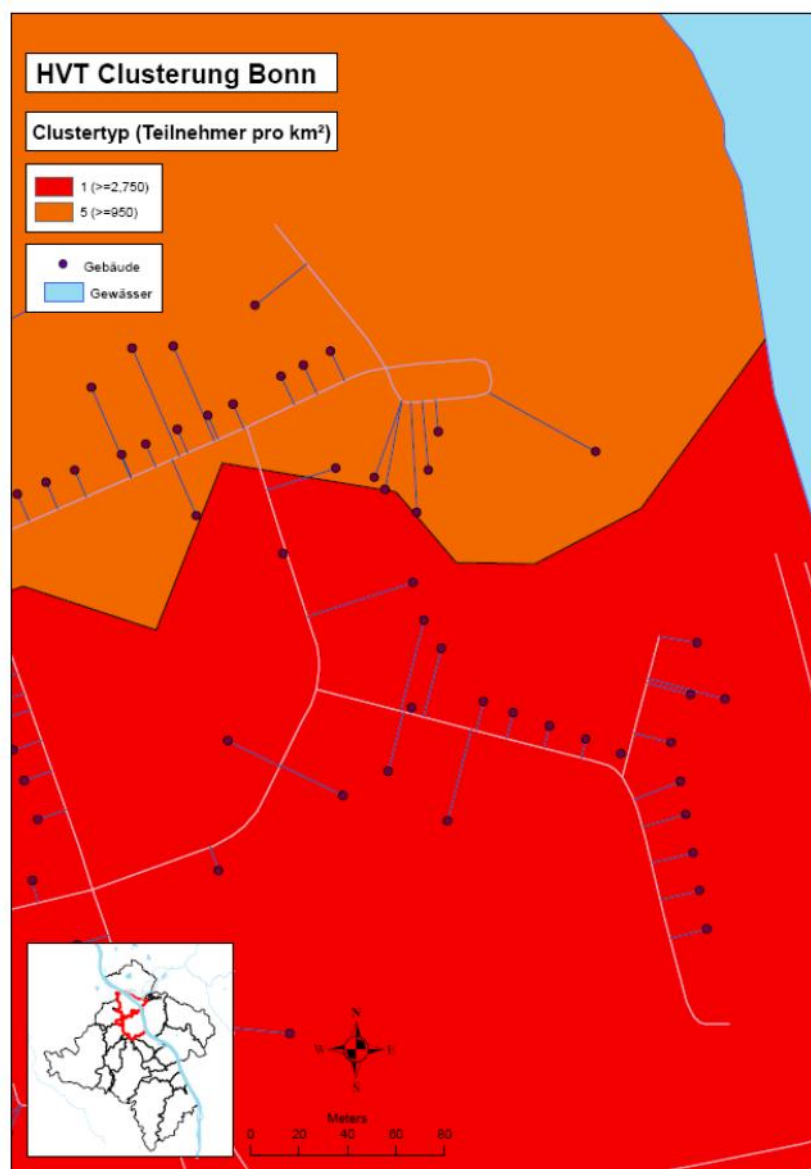
Im Gegensatz zu den als gegeben angenommen HVt-Standorten erfolgte die Ermittlung der Anschlussbereichsgrenzen modellendogen, indem alle rd. 10 Mio. Straßenabschnitte zu dem nach Routinglänge nächstgelegenen HVt zugeordnet wurden. Unter Berücksichtigung von Abstandskriterien wurden zu jedem HVt einhüllende Anschlussbereichspolygone ermittelt.

³ Bereitgestellt auf dem Portal des BMWI zum Breitbandatlas (<http://www.zukunft-breitband.de/BBA/Navigation/root.html>)

⁴ Diese Entfernung haben wir für jeden der rund 1650 betroffenen HVt anhand des Routings über Straßen berechnet. In einigen Fällen war das Distanzkriterium jedoch nicht einzuhalten (HVt auf Inseln).

Die rund 22 Mio. Gebäudeadressdaten lagen in verschiedenen Datenbeständen vor. Sie mussten zunächst zusammengefügt und anschließend auf den Straßenlayer projiziert werden. Danach wurden alle Gebäudepunkte auf den dem jeweiligen Gebäudepunkt nach Luftlinie nächstgelegenen Straßenabschnitt verortet, so dass die Zuordnung von Straße und Gebäude und die Berechnung der Lotlänge zwischen Gebäude und Straße möglich wurden. Weil die Trasse im Planungstool entlang der Straßenmitte verläuft, wurde die Lotlänge nachträglich um die halbe Straßenbreite reduziert.

Abbildung 2-1: Gebäudeanschlussleitung ("Lotlängen")



Zur Schätzung des Teilnehmerpotentials haben wir die Privatkundenanschlüsse über die Gesamtzahl der Haushalte abgeschätzt (40,188 Mio. im Jahr 2009, laut Statistischem Bundesamt). Zur regional gegliederten Verteilung der Haushalte diente uns die Anzahl der Wohnungen je Gemeinde, die für 12.172 Gemeinden verwertbar vorlag⁵. Zur Abschätzung der Geschäftskundenanschlüsse lagen uns die Anzahl aktiver Betriebe nach 38 Regierungsbezirken vor. Auf dieser Grundlage haben wir eine regional differenzierte Verteilung der Teilnehmerzahlen auf die Gebäude vorgenommen.

Je Gebäude(-adresse) wurde zunächst ein Privatkunde alloziiert. Lag die Anzahl Wohnungen je Gemeinde über der Anzahl hierdurch verteilter Privatanschlüsse in der Gemeinde, wurde die verbleibende Differenz zufällig auf die Gebäude der Gemeinde verteilt. In einem weiteren Verteilungsschritt wurde dann die verbleibende Differenz zwischen verteilten Privatanschlüssen und der Anzahl Haushalte laut Statistik über alle Gebäudeadressen zufallsverteilt. Ebenso wurde die Anzahl der Betriebe je Regierungsbezirk auf die Gebäude (-adressen) des jeweiligen Regierungsbezirkes zufallsverteilt.

Tabelle 2-1 gibt die Anzahl der Gebäude und der darauf verteilten Anschlüsse wieder, zum einen für den Gesamtdatenbestand und zum anderen für die in die Berechnungen eingeflossenen Anschlussbereiche. Da die Anschlussbereiche nicht ganz Deutschland abdecken, ergibt sich eine Untererfassung von rd. 2 % in den Gebäuden und den Anschlüssen, die insgesamt verteilt wurden.

Tabelle 2-1: Gebäude- und Anschlusszahlen

	Bundesgebiet	In Berechnung der 7331 ASB berücksichtigt	Untererfassung in Prozent
Anzahl Gebäude	22,576,856	22,116,162	2.04 %
Anzahl Anschlüsse (Privat- und Geschäftskunden)	44,206,800	43,279,892	2.10 %

Den Abschluss der Datenaufbereitung bildete die Überführung der Geoinformationen in die vom Trassenberechnungstool als Input benötigte Tabellenstruktur. Aufgrund der Größe des Datenbestandes wurde der Gesamtdatenbestand in 5 Modelldatenbanken mit rd. 2 GByte je Tranche aufgeteilt.

Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über die von uns für die Geodatenaufbereitung verwendeten Daten und deren Herkunft.

⁵ Von den 12,385 Gebieten mit amtlichem Gemeindeschlüssel waren 213 (1.7 %) ohne Gebäude (vornehmlich Waldgebiete mit Gemeindeschlüssel). Für diese konnte keine Übereinstimmung zwischen den Gemeindeschlüsseln der Wohnungsstatistik und des Verwaltungsgebietslayers hergestellt werden.

Tabelle 2-2: Datenquellen

Daten	Quelle	Bemerkung
HVt-Standorte	BMWi Breitbandatlas	8351 Datensätze mit Adressdoppelungen nach Schnittstellen, Generierung von 7731 HVT-Standorten
Straßen	TeleAtlas 2008/04	Externe Beschaffung und Aufbereitung des Gesamtdeutschen Straßenlayers von TeleAtlas Release 2008/04
Gebäude	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie BKG	rd. 22.5 Mio. Gebäudepunkte
Gemeinde- und Verwaltungsgrenzen	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie	VG250-EW (Kompakt) Verwaltungsgebiete der BRD mit Einwohnerzahlen (Stand 1.01.2009)
Haushalte	Statistisches Bundesamt	40 Mio. Haushalte Deutschlands
Gebäude- und Wohnungsbestand	Statistische Landesämter	Bestände für über 12,000 Gemeinden ⁶
Betriebe	Statistische Landesämter	Betriebe nach 38 Regierungsbezirken ⁷

Mit dem WIK-Trassenoptimierungstool haben wir anschließend die effizienten Standorte der KVz modellendogen ermittelt (es handelt sich also nicht um die KVz-Standorte des deutschen Kupferanschlussnetzes) und die Trassenberechnungen durchgeführt. Dabei haben wir alle potenziellen Teilnehmer an das Netz angeschlossen. Am Ende der Rechnung lagen für jeden HVt u.a. Daten über die Trassenlängen, die Zahl der Verzweigerbereiche, die Zahl der Kunden und Gebäude, sowie der Teilnehmerdichte vor. Erst danach haben wir vergleichbar strukturierte HVt in 20 Cluster zusammengefasst (siehe Abschnitt 2.2).

2.2 Clusterbildung

Zunächst wurden die HVt absteigend nach Teilnehmerdichte⁸ sortiert. Danach wurden "Cluster" ähnlicher Geotypen gebildet, indem aus dieser sortierten HVt-Liste sukzessive 20 annähernd gleich große (bezogen auf die Anzahl der potentiellen Teilnehmer) Tranchen von HVt gebildet wurden. Cluster 1 weist die höchste Teilnehmerdichte je Quadratkilometer auf (≥ 2.750) und Cluster 20 die niedrigste (< 32); die Teilnehmerdichte sinkt von Cluster 1 zu dem jeweils nachfolgenden stetig. Jedes Cluster umfasst rund 5 %, d.h. etwas mehr als 2 Millionen der gesamten Teilnehmer (Privat- und Geschäftskunden) in Deutschland.

Innerhalb eines Clusters wurden aus den Detaildaten Durchschnittswerte für Größen des Mengengerüsts bestimmt, d.h. für die Länge des Drop Segments, die Anzahl der

⁶ Gebäude und Wohnungsbestand in Wohn- und Nichtwohngebäuden nach Gemeinden, Stand 12-2008, aus dem Gemeinschaftsprodukt "Statistik Lokal 2010"

⁷ Statistik aktiver Betriebe nach Beschäftigtengrößenklassen, Stichtag 31.12.2007, regionale Tiefe: Reg.-Bez./Stat. Region nach Unternehmensregister-System 95 (URS 95)

⁸ Die Begriffe Teilnehmer, Kunde und Anschluss werden weitgehend synonym verwendet.

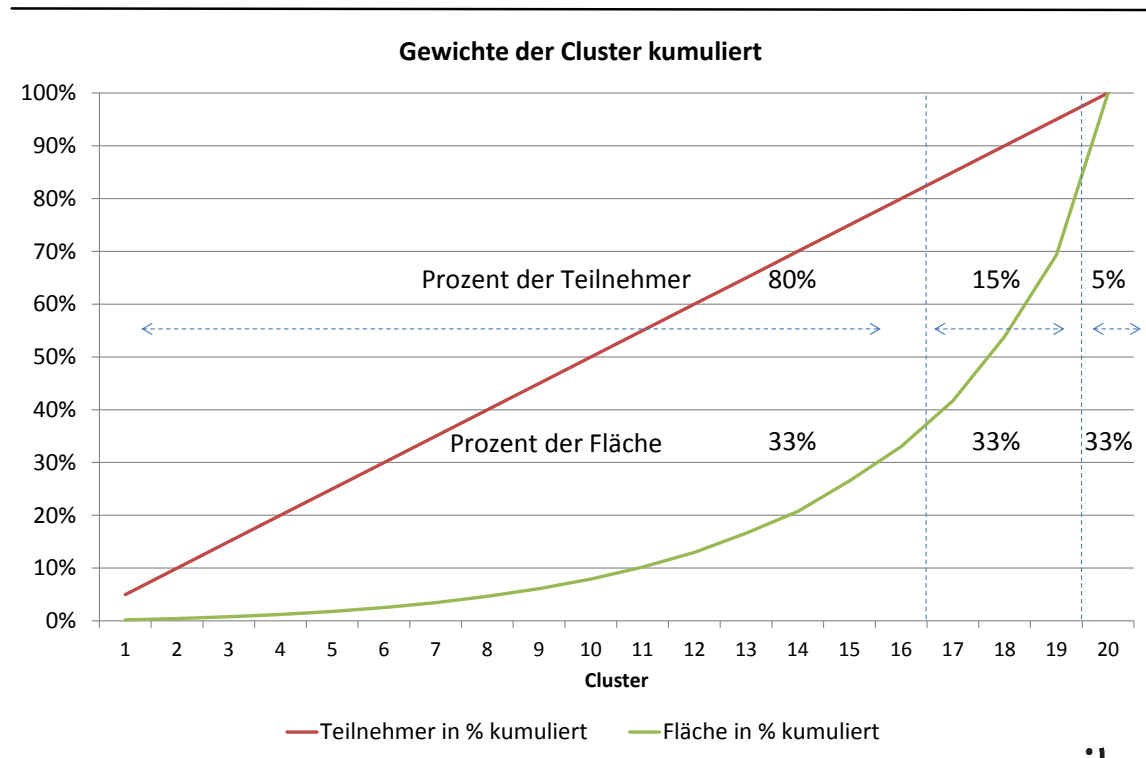
Kunden je Distribution Point, die Länge des Feeder Segments sowie die Anzahl der Teilnehmer pro MPoP. Mit diesem Mengengerüst und den Annahmen zu den Tiefbau- und Gerätekosten (siehe Abschnitt 2.3) können wir dann je Cluster die nötigen Investitionen und Kosten bottom-up bestimmen. Tabelle 2-3 zeigt die 20 Cluster.

Tabelle 2-3: Größe und Dichte der Cluster

Cluster ID	Anzahl Teilnehmer	Teilnehmeranteil	Teilnehmeranteil kumuliert (gerundet)	Teilnehmerdichte minimal (Anschlüsse pro km²)	Fläche in km²
1	2,209,338	5.1 %	5 %	2,750	620
2	2,167,961	5.0 %	10 %	1,950	950
3	2,131,407	4.9 %	15 %	1,500	1,248
4	2,142,703	5.0 %	20 %	1,200	1,603
5	2,158,128	5.0 %	25 %	952	2,045
6	2,165,555	5.0 %	30 %	740	2,636
7	2,168,541	5.0 %	35 %	575	3,323
8	2,211,345	5.1 %	40 %	455	4,400
9	2,112,800	4.9 %	45 %	360	5,209
10	2,074,980	4.8 %	50 %	290	6,487
11	2,124,501	4.9 %	55 %	235	8,189
12	2,114,832	4.9 %	60 %	190	10,016
13	2,252,308	5.2 %	65 %	155	13,133
14	2,051,986	4.7 %	70 %	125	14,824
15	2,317,848	5.4 %	75 %	100	20,874
16	2,086,509	4.8 %	80 %	80	23,569
17	2,185,291	5.0 %	85 %	62	31,214
18	2,305,738	5.3 %	90 %	46	43,780
19	2,144,569	5.0 %	95 %	32	55,792
20	2,153,552	5.0 %	100 %	1	110,641
Summe	43,279,892				360,554

Vergleicht man die Konzentration von Teilnehmern und Fläche der Cluster, dann stellt man fest, dass 80 % der Teilnehmer auf einem Drittel der Fläche Deutschlands angesiedelt sind. Demgegenüber stellen die 5 % der Teilnehmer, die in Cluster 20 angesiedelt sind, ein weiteres Drittel dar. Die Konzentration der Teilnehmer auf die Fläche ist erheblich (siehe Abbildung 2-2).

Abbildung 2-2: Konzentration von Teilnehmern und Fläche (kumulierte Anteile an Gesamt)























In Abbildung 2-3 sind die ermittelten Anschlussbereiche der 7731 HVt in Abhängigkeit ihrer Clusterzuordnung farblich unterschiedlich gekennzeichnet. Dabei sind die dichten Cluster rot und die weniger dichten Cluster grün eingefärbt.

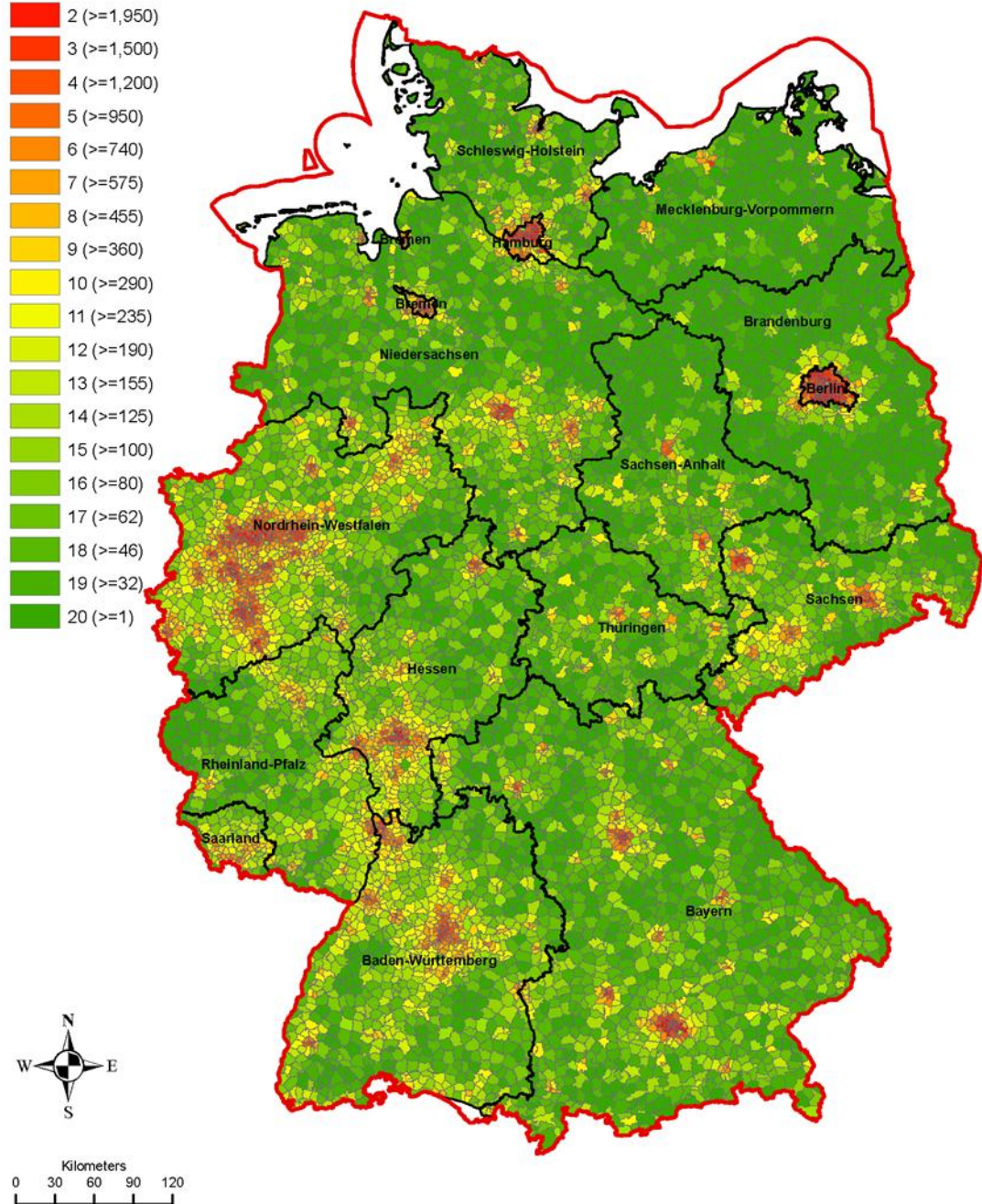
Abbildung 2-3: Clusterung der deutschen Anschlussbereiche

HVT Clusterung Deutschland

-  BRD Grenze
-  Bundesland Grenze

Clustertyp (Teilnehmer pro km²)



-  1 ($\geq 2,750$)
-  2 ($\geq 1,950$)
-  3 ($\geq 1,500$)
-  4 ($\geq 1,200$)
-  5 (≥ 950)
-  6 (≥ 740)
-  7 (≥ 575)
-  8 (≥ 455)
-  9 (≥ 360)
-  10 (≥ 290)
-  11 (≥ 235)
-  12 (≥ 190)
-  13 (≥ 155)
-  14 (≥ 125)
-  15 (≥ 100)
-  16 (≥ 80)
-  17 (≥ 62)
-  18 (≥ 46)
-  19 (≥ 32)
-  20 (≥ 1)














Die Konzentration von Kunden auf die Fläche wurde abstrakt bereits in Abbildung 2-2 dargestellt. In den folgenden drei Abbildungen zeigen wir dies konkret in der Abbildung auf die deutsche Geographie. Dies führt die Konzentration sehr eindringlich vor Augen. Zur Erinnerung: Jedes Cluster steht für etwa 5% der gesamten Teilnehmer Deutschlands. Daher machen die Cluster 1 bis 16 etwa 80 %, die Cluster 17 bis 19 etwa 15 % und Cluster 20 etwa 5 % der Gesamtteilnehmer aus.

Abbildung 2-4: Darstellung der Anschlussbereiche in Cluster 1 – 16

HVT Clustering Deutschland

-  BRD Grenze
-  Bundesland Grenze

Clustertyp (Teilnehmer pro km²)

-  1 (>=2,750)
-  2 (>=1,950)
-  3 (>=1,500)
-  4 (>=1,200)
-  5 (>=950)
-  6 (>=740)
-  7 (>=575)
-  8 (>=455)
-  9 (>=360)
-  10 (>=290)
-  11 (>=235)
-  12 (>=190)
-  13 (>=155)
-  14 (>=125)
-  15 (>=100)
-  16 (>=80)

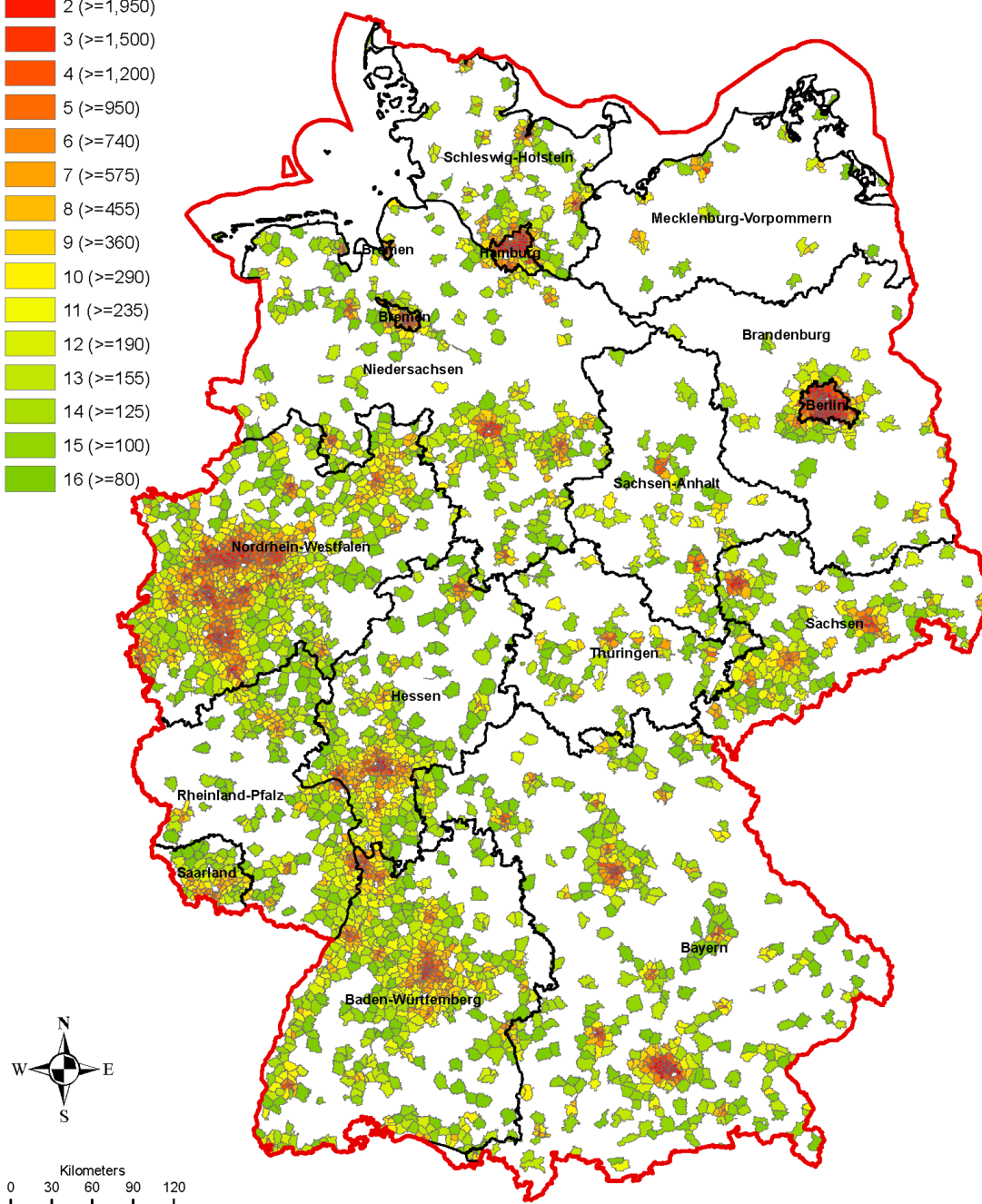


Abbildung 2-5: Darstellung der Anschlussbereiche in Cluster 17 – 19

HVT Clustering Deutschland

- BRD Grenze
- Bundesland Grenze

Clustertyp (Teilnehmer pro km²)

- 17 (>=62)
- 18 (>=46)
- 19 (>=32)

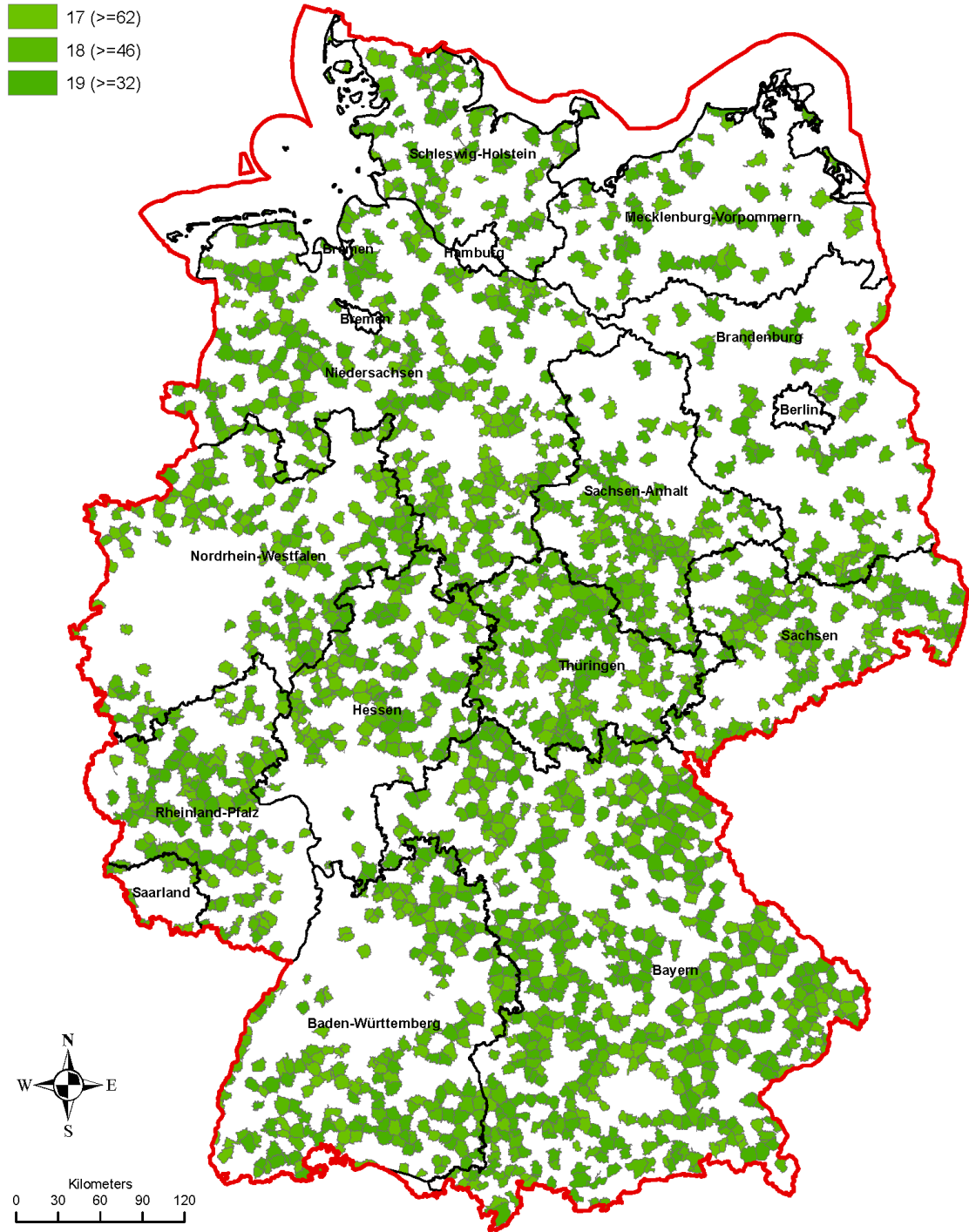




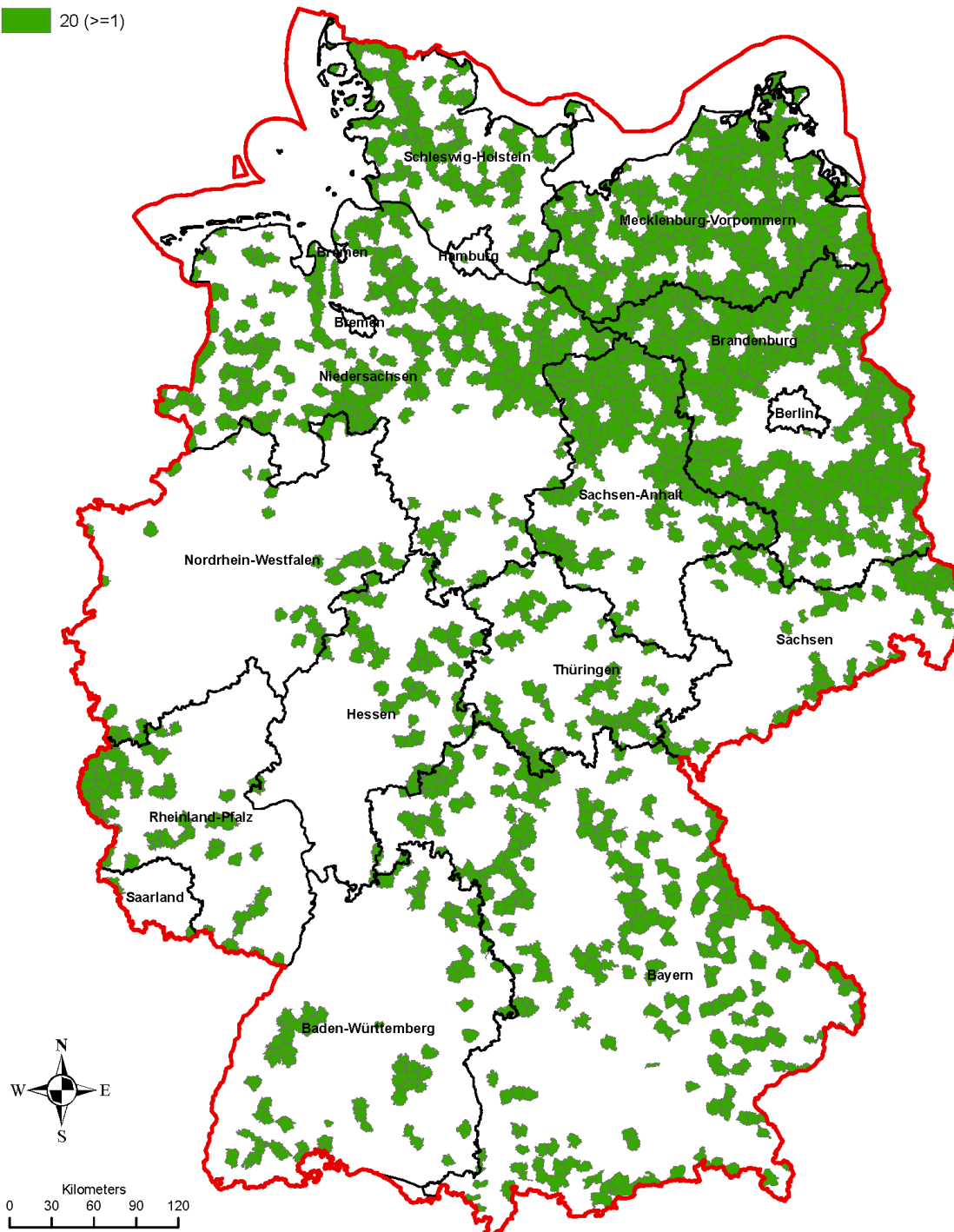
Abbildung 2-6: Darstellung der Anschlussbereiche in Cluster 20

HVT Clustering Deutschland

-  BRD Grenze
-  Bundesland Grenze

Clustertyp (Teilnehmer pro km²)

-  20 (>=1)



2.3 Schlüsselannahmen

2.3.1 Investitions- und Kostenrechnung im WIK-NGA Modell

Mit dem WIK NGA-Modell bestimmen wir die Investitionen, die zum Aufbau, Betrieb und zur Vermarktung eines FTTx-Netzes notwendig sind, bottom-up. Insgesamt haben wir die Kosten für

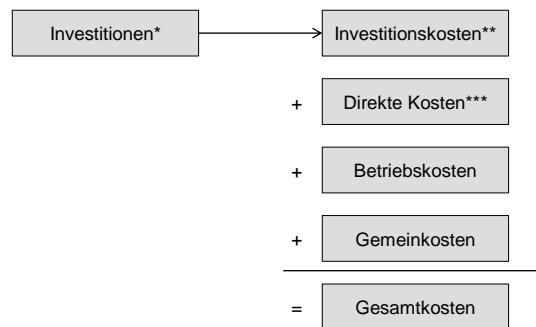
- das Anschlussnetz vom MPoP bis zum Kunden,
- die aktive Technik (im MPoP und beim Kunden),
- das Konzentrations- und Kernnetz⁹, sowie für
- Vertrieb, Rechnungslegung, Customer Care, etc. berücksichtigt.

Die Kosten von Konzentrations- und Kernnetz haben wir durch Kostenfunktionen mit Fix- und variablen Kosten aus vorhergehenden Modellen in vergleichbarem Kontext angenähert.

Alle Teilnehmer eines Clusters werden an das FTTx-Netz angeschlossen (100 % "homes passed"). Das Modell rechnet alle Investitionen in monatliche Kostenwerte um und berücksichtigt dabei die unterschiedliche Lebensdauer von Anlagegütern und die gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten (WACC). Das bedeutet, dass in den Kosten bereits eine angemessene Verzinsung des eingesetzten Kapitals berücksichtigt ist. Betriebskosten werden größtenteils über Aufschlagsfaktoren auf Investitionswerte zugeschlagen, teils aber auch explizit bottom-up berechnet (z.B. Energiekosten der aktiven Technik im MPoP und Quadratmeterbedarf der MPoPs). Andere Positionen fließen direkt als Kosten ein und werden nicht investitionsseitig abgebildet (Konzentrations- und Kernnetz, Vertrieb). Gemeinkosten werden über einen Zuschlag zu Investitions- und Betriebskosten einbezogen. Abbildung 2-7 zeigt diesen Zusammenhang in einer einfachen Übersicht.

⁹ Für IPTV haben wir Kosten der Server und des Transports im Kern- und Konzentrationsnetz, aber keine Programmkosten berücksichtigt. Kosten für Terminierung oder Mehrwertdienste haben wir explizit nicht berücksichtigt. Diese sind, saldiert mit den Erträgen, implizit als Netto-Erlöse im ARPU enthalten.

Abbildung 2-7: Kostenrechnung des WIK-NGA Modells



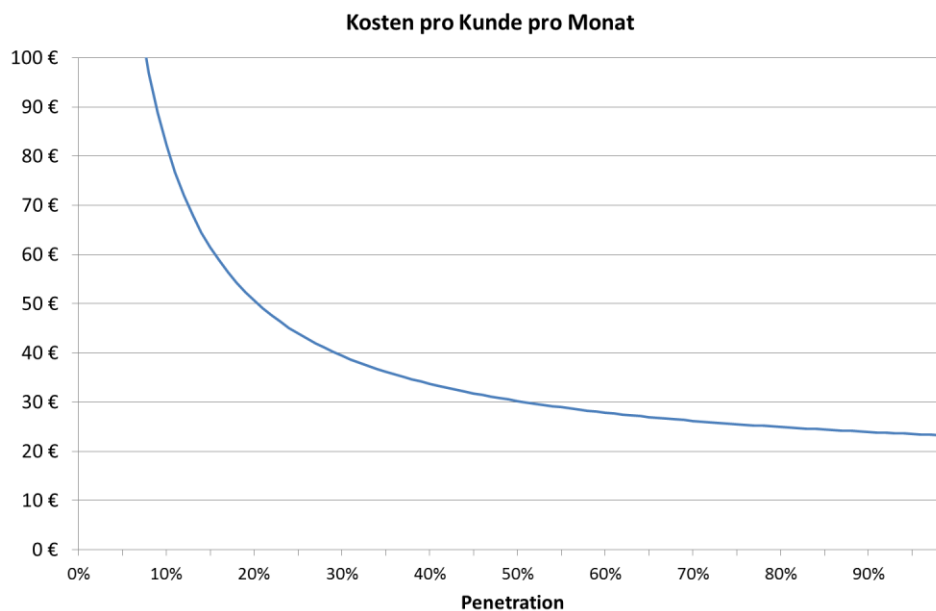
* inkl. indirekter Investitionen, z.B. für Fuhrpark

** unter Berücksichtigung von Zins und Abschreibung

*** z.B. Kern- und Konzentrationsnetz, Retail

Diese monatlichen Gesamtkosten weisen mit zunehmender Zahl aktiver Kunden eine starke Degression auf, da der dominante Teil der Kosten fix und nicht variabel ist. Abbildung 2-8 verdeutlicht daher die Notwendigkeit für Betreiber von Glasfasernetzen, einen hohen Auslastungsgrad zu erreichen.

Abbildung 2-8: Monatliche Gesamtkosten pro Kunde bei unterschiedlicher Penetration (Beispiel)



2.3.2 Steady State, Kosten der Migration von Kupfer zu Glas und Anlaufverluste wegen temporärer Unterauslastung

Wir modellieren einen eingeschwungenen Zustand des Marktes ("steady state") etwa 10 Jahre in der Zukunft. Insofern nehmen wir eine Analyse des *mittel bis langfristigen* Wettbewerbszustands vor und stellen uns die Frage, welchen Marktanteil und welche Einnahmen Glasfaseranschlussnetze erzielen können bzw. müssen. Wir sind davon ausgegangen, dass das Kupfernetz im Steady State bereits vollständig abgeschaltet ist. In anderen Studien haben wir gezeigt, dass langfristig ein kupferbasiertes und ein glasfaserbasiertes Anschlussnetz wirtschaftlich nicht nebeneinander existieren können, da hohe Penetrationsraten für den profitablen Betrieb jedes einzelnen Netzes erforderlich sind.¹⁰

In dieser Studie berechnen wir die Kosten eines flächendeckenden Glasfaserausbaus auch in den ländlicheren Clustern unter der Hypothese, dass dort das Glasfasernetz das Kupfernetz ersetzt. Wir wissen jedoch, dass die Profitabilität von Glasfaseranschlussnetzen begrenzt ist; marktgetrieben vollzieht sich diese Substitution sicher nur in einem begrenzten Gebiet. Uns interessiert aber auch vor dem Hintergrund der Breitbandziele der Europäischen Union das Investitionsvolumen eines flächendeckenden Ausbaus. Ein solcher kann sinnvollerweise nur mit der Abschaltung des Kupfernetzes einhergehen.

In der Realität erfolgen der Netzausbau und die Kundenakquisition etappenweise. Zwei Aspekte führen zu zusätzlichen Kosten im Business Case des Netzbetreibers gegenüber der von uns betrachteten Kostenwelt.

Migrationskosten

Zum einen ist für eine gewisse Zeit ein Parallelbetrieb von altem und neuem Netz notwendig. Bei der Abschaltung des alten Netzes entstehen auch Kosten, mindestens in Höhe der Restbuchwerte der alten Technik (z.B. DSLAMs, Endgeräte); es gibt aber auch die Möglichkeit, Erlöse zu erzielen, z.B. aus dem Verkauf, der Vermietung von ehemaligen HVt-Standorten.¹¹ Für die Umschaltung der Kunden sind ggf. Technikerbesuche vor Ort notwendig, es mag Kosten der Produktentwicklung geben, um bestehende Produkte auf der neuen Plattform abzubilden, etc. Klar ist, dass dies den Business Case des Netzbetreibers negativ beeinflusst und bei einer Betrachtung einzelner Jahre den Break-Even in spätere Jahre verschiebt. Über die Höhe der Migrationskosten liegen derzeit wenige Erkenntnisse vor. Wir werden Kostentreiber der Migration in einem separaten Forschungsprojekt identifizieren und soweit möglich quantifizieren. Im Rahmen dieser Analyse sind sie *nicht* berücksichtigt.

¹⁰ Siehe Hoernig / Jay / Neu / Neumann / Plückerbaum / Vogelsang (2011).

¹¹ Wir schätzen, dass der Saldo aus Kosten und Erlösen insgesamt negativ ist.

Anlaufverluste durch Unterauslastung

In der Praxis wird der Netzbetreiber sich bemühen, die Phase des Parallelbetriebs möglichst kurz zu halten. Ab einem gewissen Zeitpunkt der Penetration dürfte es daher vorteilhafter sein, die restlichen Kunden der alten Architektur aktiv zu migrieren, um den Substitutionsprozess zu beschleunigen. Zumindest zu Beginn werden die Penetrationsraten, die wir im eingeschwungenen Zustand analysieren, aber noch nicht erreicht sein. Die Kosten pro Kunde hängen aufgrund der hohen Fixkosten des Netzes stark von der Penetration ab (siehe Abbildung 2-8). Aufgrund der niedrigen Penetrationsraten zu Beginn müssen daher i.d.R. Anlaufverluste in Kauf genommen werden.

Um mit unseren Ergebnissen Aussagen zu den Kosten bei Unterauslastung in der Anlaufphase zu machen, kann man auch einen Penetrationsverlauf über die Zeit annehmen (z.B. 1. Jahr 10 %, 2. Jahr 20 %, 3. Jahr 30 % etc.). Dann können die Kosten bei den entsprechenden Penetrationsraten aus der entsprechenden Kostenkurve (vgl. Abbildung 2-8) abgelesen werden, um einen Eindruck der Kosten je Anschluss zu bekommen und – bei Unterstellung eines fixierten ARPUs – die Unterdeckung bei niedrigen Penetrationsraten zu Beginn approximieren. Dies ist in dieser Studie jedoch nicht geschehen, sondern wir haben nur den Steady State analysiert. Wir fokussieren hier ausschließlich auf die mittel- bis langfristige Wettbewerbssituation und die Anforderungen an Penetration und ARPU, die sich aus der Kostenstruktur von Glasfasernetzen ergeben.

2.3.3 Greenfieldansatz

Beim Aufbau des Netzes gehen wir im Basisfall von einem "Greenfield"-Szenario aus, bei dem sämtliche Tiefbauarbeiten neu zu tätigen sind. Potenziell existierende nutzbare Leerrohrinfrastrukturen werden dabei nicht berücksichtigt, bzw. werden – bei anderer Interpretation - zu Wiederbeschaffungskosten angemietet.

In einer Sensitivität schätzen wir die Investitionersparnis bei kostenloser Mitnutzung existierender Leerrohre ab und bestimmen den Einfluss auf die Kosten einer solchen "Brownfield"-Verlegung.

2.3.4 Vollausbau

Das FTTx Netz wird im Modell stets als FTTR (Fibre to the Road, bis zum letzten Abzweigpunkt vor dem Gebäude) an *alle* potentiellen Teilnehmer ausgerollt, d.h. es findet kein "Cherry Picking" von attraktiven Teilgebieten innerhalb eines Clusters statt. In der Realität wird ein Investor auf KVz-Ebene Straßenabschnitte für den Ausbau priorisieren und u.U. kurz- bis mittelfristig Ein- / Zweifamilienhäuser nicht anbinden, wenn diese nicht ohnehin an Trassen der profitableren Straßenabschnitte liegen. Durch den Verzicht auf den Anschluss der 10 % - 20 % teuersten Teilnehmer lassen sich so in der Regel deutlich überproportionale Einsparungen erreichen. Das gilt für jeden Cluster

individuell (auch für die dichten Cluster). Gerade in den Clustern mit höherer Teilnehmerdichte zeigt sich in der Datenanalyse, dass diese *im Durchschnitt* immer noch eine geringe Zahl von Teilnehmern pro Gebäude aufweisen (zwischen vier und fünf Teilnehmern pro Gebäude). Das bedeutet, dass ein Investor, der sich auf größere Mehrfamilienhäuser konzentriert, zu geringeren Kosten pro Kunde produziert als in der von uns vorgenommenen Durchschnittsbetrachtung, die immer mit einem Vollausbau jedes Clusters einhergeht. Dies entspricht auch dem aktuellen Ausbauverhalten der Netzbetreiber in den Städten, in denen Glasfasernetze derzeit ausgebaut werden.

Langfristig steht jedoch einem derartig selektiv vorgehenden Netzausbau zum einen das Problem der Vermarktung entgegen, wenn beispielsweise die Straßenseite die Grenze der Verfügbarkeit von Glasfaseranschlüssen bestimmt. Zum anderen gehen wir davon aus, dass langfristig die Kosten eines Parallelbetriebs dazu führen werden, dass alle Kunden umgeschaltet werden.

Das Modell baut einen Cluster vollständig mit einer Anschlussarchitektur aus. Wir präsentieren im Laufe der Studie die Ergebnisse unter der Hypothese eines nationalen Vollaubaues mit jeweils genau einer Architektur. Das steht einer Kombinationen von clusterbezogenen Einzelergebnissen verschiedener Breitbandnetz-Architekturen nicht im Weg, wurde aber von uns aber der Klarheit der Aussagen wegen nicht durchgeführt.

2.3.5 Röhrenkabelverlegung

Wir verlegen ausschließlich Röhrenkabel mit Schächten, die Verlegung ist also etwas teurer als eine reine Erdkabelverlegung. In den letzten fünf Clustern wurde jeweils ein geringer Anteil Luftverkabelung (5 %) vorgesehen, wie er derzeit in Deutschland annähernd auch existiert. Wir setzen also eine vergleichbare Akzeptanz hierfür voraus. Die Luftverkabelung erfordert etwa 40 % niedrigere Investitionen als die Röhrenkabelverlegung in den letzten 5 Clustern, ist aber mit höheren Betriebskosten verbunden (höherer Aufschlagsfaktor für OPEX), weil sie wartungsintensiver und stör anfälliger ist.

Bei der verrohrten Verlegung haben wir einen clusterabhängigen Anteil gemeinsamer Verlegung¹² von Drop (15 % Cluster 1 bis 38 % Cluster 20) und Feeder (90 % Cluster 1 bis 67 % Cluster 20) angenommen. Diese Werte haben wir der Trassenoptimierung entnommen. Im Modell wird dadurch das erforderliche Investitionsvolumen vermindert.¹³ Das Drop Segment ist der Netzabschnitt zwischen (der Straße vor) dem Kundengebäude und dem Distribution Point, einem Knotenstandort ähnlich heutigen Kabel-

¹² Unter gemeinsamer Verlegung verstehen wir das Führen von Kabeln der Drop- und Feedersegmente in einer gemeinsamen Trasse in gemeinsam genutzten Leerrohren, allerdings in separaten Lerrohrröhren und getrennten Kabeln.

¹³ Die Investitionen werden nicht um die genannten Prozentbeträge verringert, sondern für den genannten Teil wird die Trasse für insgesamt drei Dienste verlegt, die sich die Investitionen für den (etwas breiteren) Graben und das Leerrohr teilen. Am Beispiel des Drop Segments handelt es sich dabei erstens um das Dropkabel selbst und zweitens um das Feederkabel. Zusätzlich nehmen wir an, dass eine beliebige dritte dienstbringende Infrastruktur ebenfalls im Graben berücksichtigt wird. Das könnte z.B. Gas, Wasser, Strom oder Breitbandkabel sein.

verzweigern. Das Feeder Segment ist der Abschnitt zwischen Distribution Point und Metropolitan Point of Presence. Die Netzabschnitte werden in Kapitel 3 detailliert vorgestellt.

2.3.6 Wesentliche Investitions- und Kostenwerte

Die wichtigsten Annahmen zu den direkten Investitionen und Kosten sind in Tabelle 2-4 und Tabelle 2-5 dargestellt.

Tabelle 2-4: Annahmen zu direkten Investitionen für Geräte- und Tiefbau sowie zur Lebensdauer

Netzelement	Investition pro Einheit	Lebensdauer (Jahre)
Ethernet CPE	100 €	5
GPON CPE	115 €	5
FTTB Mini DSLAM im Gebäudekeller	905 €	5
ODF Port	23 €	35
OLT Port	1000 €	7
Ethernet Port 1Gbps / 10Gbps	120 € / 2000 €	7
Graben, Leerrohr und Kabel inkl. Installation je Meter	120 € Cluster 1 ... 40 € Cluster 20	35

Tabelle 2-5: Annahmen zu direkten Kosten und anderen Parametern

Parameter	Annahme
Konzentrationsnetzkosten pro Monat	22.5 Mio. € + 0.7 € pro Kunde
Kernnetzkosten pro Monat	6 Mio. € + 1.08 € pro Kunde
Retail Kosten (customer care, billing, sales & marketing, customer acquisition) pro Monat ¹⁴	5 € pro Kunde
Aufschlagsfaktoren für OPEX (p.a.)	8 % auf Investitionen bei aktiver und 0.5 % bei passiver Technik
Aufschlagsfaktoren für indirekte Investitionen	0.5 %-3 % für indirekte Investitionen wie Fuhrpark, Gebäude etc. auf die Investitionen
Aufschlagsfaktor für Gemeinkosten	10 %-Gemeinkostenaufschlag auf CAPEX und OPEX
WACC	10 %

Nach der Schnittstelle zwischen Anschluss und Konzentrationsnetz, dem MPOp, haben wir zusätzlich noch Kosten des Konzentrations- und Kernnetz, der IPTV-Server sowie Retailkosten berücksichtigt. Diese fließen mit Ausnahme der IPTV-Server als direkte

¹⁴ Dieser Wert liegt unserer Erfahrung nach eher im unteren Bereich der plausiblen Spanne.

Kosten und nicht als Investitionen ein. Unter den Retailkosten sind sämtliche Aufwendungen für Marketing, Sales, Customer Care, Billing etc. zu verstehen.

2.3.7 WACC

Als Zinssatz verwenden wir den gewichteten Gesamtkapitalkostenzinssatz (Weighted Average Cost of Capital – WACC) in einer Höhe von 10%. Dieser berücksichtigt, dass das Risikoprofil einer Investition in Glasfasernetze sich von der Investition in ein Kupfernetz unterscheidet. Bei der Festsetzung der Preise für den entbündelten Zugang zur kupferbasierten Teilnehmeranschlussleitung der Deutschen Telekom hat die Bundesnetzagentur im Jahr 2011 einen Zinssatz von 7.11 % angesetzt.

In einem Gutachten¹⁵ von Prof. Richard Stehle für die Bundesnetzagentur zur Ermittlung des kalkulatorischen Zinssatzes für den NGA Ausbau wird der auf Basis der CAPM- Methode geschätzte Glasfaserzins ermittelt. Er liegt mit 9.7 % sehr nah an dem von uns verwendeten Wert von 10 %.

2.3.8 Fiber-to-the-Road, Gebäudezuführung, Hausanschluss und Inhausverkabelung

Wir differenzieren bei der Kostenrechnung zunächst das passive Anschlussnetz, das als "Fibre-to-the-Road" (FTTR) an alle Gebäude gelegt wird. Es endet an der Straße vor dem Gebäude (Grundstücksgrenze) und die Investitionen sind im Modell unabhängig von der späteren Penetration berücksichtigt. Die Verlegung der verbleibenden Meter bis zum Gebäude (im nationalen Durchschnitt etwas weniger als 15 Meter pro Gebäude) und die dazugehörigen Investitionen fallen im Modell kundengetrieben an, d.h. sie skalieren linear mit steigender Penetration. Gleiches gilt für den Wanddurchbruch ins Gebäude hinein.

Das Basis-Szenario für FTTH/H beinhaltet daher

- "Fibre-to-the-Road": Passives Netz vom ODF im MPoP bis zur Abzweigmuße vor dem Gebäude
- „Gebäudezuführung“: Länge von der Straße bis zum Gebäude (30 € pro Meter)
- „Hauseinführung“: Wanddurchbruch (200 € pro Gebäude)

Wir rechnen für die drei FTTH-Architekturen jeweils auch eine Variante „FTTH + In-house“. Diese beinhaltet zusätzlich die optische Inhausverkabelung vom Keller bis in die Wohneinheit (Investitionen pro Abonnent ~260 € Cluster 1 bis 40 € Cluster 20¹⁶).

¹⁵ Stehle (2010).

¹⁶ Am unteren Ende unterstellt dies nur einen preiswerten Netzabschluss im Keller eines Einfamilienhauses und dort keine weitere Vernetzung im Wohnbereich. Der Kunde sorgt dann selbst für Vertei-

Auch die Inhausverkabelung ist im Modell durch die Zahl der aktiven Kunden getrieben, also abhängig von der Penetration.

Bei der Inhausverkabelung haben wir ausschließlich Durchschnittswerte für die technische Installation zugrunde gelegt. Nicht berücksichtigt, aber nach Angaben von Marktteilnehmern von großer Bedeutung, sind die Transaktionskosten mit dem Hauseigentümer / den Mietern, die der Installation voran gehen (Kontaktaufnahme, Terminabsprache, etc.). Des Weiteren haben wir effektiv angenommen und unterstellt, dass es für jedes Gebäude gelingt, eine Einverständniserklärung einzuholen und die Inhausverkabelung aufzubauen. Das ist zum heutigen Zeitpunkt angesichts der praktischen Erfahrung von Netzbetreibern eine eher optimistische Annahme.

2.3.9 Dienstnachfrage

Bei der Modellierung sind wir von einem Durchschnittskunden ausgegangen, der sich aus dem unten dargestellten Kundenmix von Single, Double, Triple Play und Geschäftskunden zusammensetzt.

Die dargestellte Kapazität ist die minimale Bandbreite, die einem Kunden selbst bei gleichzeitiger Nutzung aller anderen Kunden zur Verfügung steht. Sie bezieht sich auf die Kapazität nach der Konzentration am letzten Ethernet Switch des MPoP, d.h. ab Beginn des Konzentrationsnetzes. Das Produkt aus Teilnehmerzahl an einem MPoP und durchschnittlicher Bandbreite ergibt die Dimensionierungsanforderung für das Konzentrations- und Kernnetz.

Hinsichtlich IPTV gehen wir von einer Multicast-Ausstrahlung von 100 TV-Programmen mit je 5Mbps aus. Der Multicast ist nicht in den kundenindividuellen Busy Hour Verkehrswerten enthalten, da er praktisch unabhängig von der Zahl der Kunden bereitgestellt werden muss. Deshalb werden zusätzliche, konstante Bandbreitenkosten für den IPTV Multicast im Konzentrations- und Kernnetz angesetzt.

Die Nachfrage ist für alle modellierten Architekturen identisch angenommen.

lung des Signals in der Wohnung, z.B. über WLAN oder eine eigene Kabelinfrastruktur. In einem Mehrparteienhaus wäre dies genauso, jedoch sind die Kosten für das Inhausnetz bis in die Wohnung höher.

Tabelle 2-6: Annahmen zur Bandbreitennachfrage

Kundentyp	Verkehr pro Kunde in der Hauptverkehrsstunde (in kbps)	Anteil
Voice only	20	10 %
Voice and Broadband	380	45 %
Voice, Broadband and IPTV	425	35 %
Business customer	600	10 %
Average user	382	100 %

2.3.10 Penetration und Umsatz pro Kunde

Das Modell liefert als erstes durchgerechnetes Ergebnis die Kosten pro Kunde für Penetrationsraten zwischen 1 % und 100 % (siehe beispielhaft die Kurven in Abbildung 2-8). Alleine daraus lassen sich bereits umfangreiche Ergebnisse ableiten:

1. Man kann den durchschnittlichen Umsatz pro Kunde (ARPU) vorgeben und prüfen, bei welcher Penetration der Umsatz über den Kosten liegt.
2. Man kann die Penetration festlegen und überprüfen, wie hoch der ARPU sein muss, um profitabel zu sein.

Viele Aussagen erfordern das diskrete Festlegen von Penetration und ARPU, um die Komplexität der Ergebniswelt auf ein interpretierbares Maß zu reduzieren.

2.3.10.1 Penetration

Wir unterstellen, dass die maximale Penetration des FTTx-Netzes 70 % beträgt, da ein Teil der potenziell adressierbaren Nutzer sich ausschließlich für andere Anschlusstechnologien (Mobilfunk, Breitbandkabel) entscheidet, bzw. gar keine Nachfrage entwickelt. Diesen Teil schätzen wir mit insgesamt 30 % des Marktes ab was deutlich unter der Reichweite des heutigen Kupferfestnetzes liegt, die ca. 80 % entspricht.¹⁷

Damit gehen wir für das Breitbandkabel effektiv von einer wachsenden Penetration aus: Zurzeit sind etwa 60 % der Teilnehmer an ein TV-Kabelnetz angeschlossen. Es sei unterstellt, dass bis zum Steady State einerseits das Netz so aufgerüstet wird, dass alle Teilnehmer mit DOCSIS 3.0 versorgt werden können, aber dass sich andererseits die Abdeckung selber nicht erweitert. Für eine Erweiterung der Abdeckung gibt es zumindest zurzeit keine Anhaltspunkte. Prinzipiell liegen die Breitbandkabelnetze nicht ausschließlich in den dichteren Clustern, sondern auch in den weniger dichten. Dennoch

¹⁷ In Deutschland hatten zum Jahresende 2009 11 % der Haushalte einen Mobilfunkanschluss, aber keinen Festnetzanschluss, sowie 1 % weder Mobil- noch Festnetzanschluss (Quelle jeweils Spezial-Eurobarometer 335). Kabelnetzbetreiber schalteten 2010 ca. 3 Mio. Telefonanschlüsse, was etwa 8 % aller Telefonanschlüsse entspricht (Quelle: Jahresbericht Bundesnetzagentur 2010).

dürfte der Hauptteil der Kabel-TV Reichweite in den ersten 15 Clustern liegen. Dort wo Breitbandkabel und FTTB/H konkurrieren, sei der Einfachheit halber unterstellt, dass Kabelnetzbetreiber 30 % Penetration bezogen auf die Gesamtzahl der Kunden erreichen. In diesen Clustern hätten die Kabelnetzbetreiber dann bei durchschnittlich 60 % Abdeckung also eine beachtliche Penetration von 50 % bezogen auf die Gesamtzahl der anschließbaren Kunden. Die Breitbandpenetrationsrate im adressierbaren Markt von Kabelnetzbetreibern in Europa betrug im Jahr 2008 32 %. Manche Prognosen sehen sie bis im Jahr 2020 sogar bei 65 %¹⁸. Mit einer implizierten Penetrationsrate von 50 % im Ausbaugebiet von Breitbandkabel liegen wir zwar unter manchen Prognosen, aber immer noch auf einer ambitionierten Zielgröße verglichen mit dem Breitbandmarktanteil des Kabels heute.

Für die Subventionsrechnungen und einige andere Ergebnisse haben wir mit 70 % eine Penetrationsrate an der Grenze des von uns erreichbaren angenommen. Die Sensitivität der Ergebnisse im Hinblick auf die Penetrationsrate zeigt sich deutlich in der Gesamtkostenkurve und in den später vorgenommenen Sensitivitätsrechnungen.

¹⁸ Quelle: Solon (2011): S. 40.

2.3.10.2 ARPU

Anfang August 2011 stellte sich die Endkundenpreissituation in Deutschland so wie in Tabelle 2-7 abgebildet dar. Abgebildet wurden die *langfristigen* monatlichen Entgelte ohne Einbezug von Vergünstigungen und Aktionspreisen. Praktisch alle Anbieter bieten auf einen Teil der Vertragslaufzeit oder sogar auf die ganze erste Vertragsperiode eine Vergünstigung von etwa 5 € pro Monat. Zusätzlich werden in der Regel weitere Subventionen wie Hardware oder Erlassen der Installationsgebühr angeboten. Beides ist in der Tabelle nicht dargestellt. In der Regel gelten diese Vergünstigungen jedoch nur für Neukunden. Nicht berücksichtigt sind andererseits die zusätzlichen Einnahmen variabler Tarifbestandteile z.B. aus Telefonaten ins Ausland, in Mobilfunknetze oder Mehrwertdiensten. Diese kommen noch hinzu.

Tabelle 2-7: Aktuelle Endkundenpreise inkl. MwSt. ohne Vergünstigungen und ohne Umrechnung von Einmalentgelten (jeweils mit Festnetzflatrate)

	1play	2play				3play
		Geschwindigkeit Internetzugang				
		bis 6Mbps	bis 16Mbps	bis 50Mbps	über 50Mbps	bis 50Mbps
Deutsche Telekom	29.95 € *	29.95 €	34.95 €	39.95 €		44.95 €
Congstar			29.99 €			
Vodafone			29.95 €			39.95 €
1&1		29.99 €	34.99 €	39.99 €		
Kabel Baden-Württemberg **			19.90 €	29.90 €	49.90 €	39.90 €
NetCologne	19.90 €			39.90 €	54.90 €	

* ohne Festnetzflatrate kostet der Telefonanschluss 17.95 €

** zuzüglich Kabelanschluss (16.95 € laut Betreiberwebsite)

Quelle: Unternehmenswebsites. Langfristige monatliche Entgelte ohne umgerechnete Aktionsangebote (inkl. MwSt.)

Für die meisten Rechnungen betrachten wir später einen Bereich zwischen 30 € und 40 €. Für einige Rechnungen haben wir einen spezifischen ARPU von 38 € oder 35 € (exkl. MwSt.) angenommen. Die Herleitung ist in Tabelle 2-8 dargestellt. Das angenommene ARPU-Niveau gilt für alle Architekturen in gleicher Höhe und versteht sich in alle nachfolgenden Ausführungen ohne MwSt.

Tabelle 2-8: Annahmen zum ARPU (exkl. MwSt.)

Kumentyp	Einnahme pro Kunde pro Monat (ARPU) in €	Anteil
Reiner Telefonanschluss	17	10 %
Telefonanschluss mit Festnetzflatrate und Internet	30	45 %
Telefonanschluss mit Festnetzflatrate, Internet und IPTV	40	35 %
Geschäftskundenanschluss	88	10 %
Durchschnittskunde	38	100 %

2.3.11 Retail- und Wholesale Geschäft

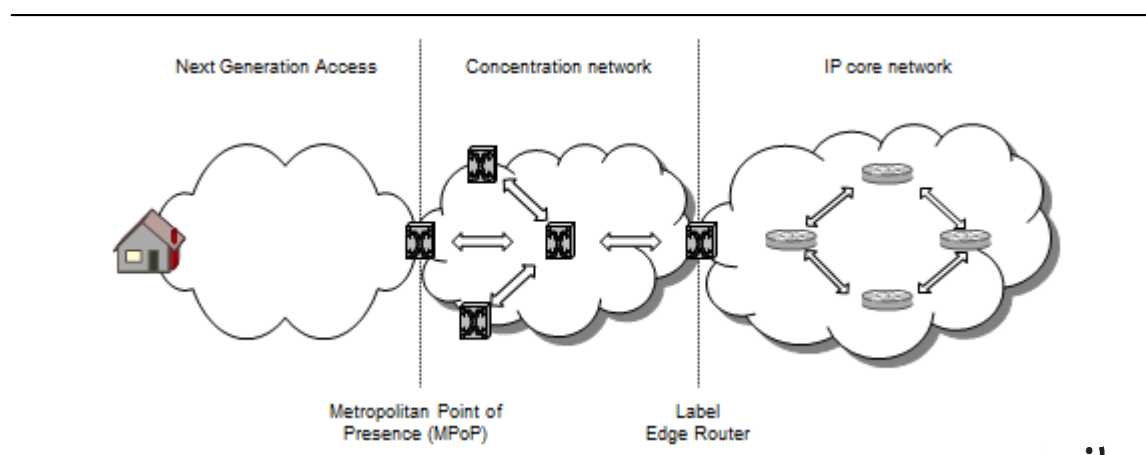
Grundsätzlich haben wir mit den Kosten und Erlösen eines Anbieters gerechnet, der direkt an Endkunden verkauft. Die betrachtete Penetrationsrate muss aber nicht ausschließlich durch eigenes Endkundengeschäft, sondern kann auch aus dem Verkauf an Wholesale Nachfrager erreicht werden. In diesem Fall würde der Investor nur die Kosten des Vorleistungsproduktes tragen und Einnahmen in geringerer Höhe pro Kunde erhalten, weil er z.B. im Fall der Entbündelung keine aktive Technik bereitstellen muss und keine Retailvertriebskosten anfallen.

Wholesale Kunden haben wir demnach zwar nicht explizit modelliert, es ist aber fair, sie interpretatorisch im Konstrukt der Penetrationsraten einzubeziehen. Insbesondere zeigen die Kosten des Glasfaserausbaus, dass Wholesalegeschäft für den Investor wichtig ist, um die Auslastung möglichst (schnell) hoch zu treiben. Eine Aussage über die nötige Mindestgröße von Wettbewerbern gemessen im erforderlichen Marktanteil lässt sich auf diese Weise jedoch nicht ableiten. Dazu ist eine exakte Abbildung der Kosten des Geschäftsmodells eines alternativen Betreibers erforderlich.

3 Die modellierten NGA-Architekturen

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. Dem IP Core Netz und dem Konzentrationsnetz nähern wir uns dagegen wie oben beschrieben über fixe und variable Kosten je kbps für die beiden Netzebenen an, die wir in einem separaten bottom-Up Modell ermittelt haben.

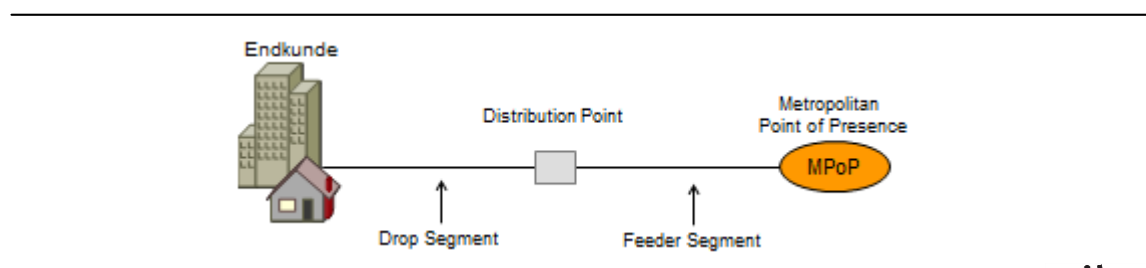
Abbildung 3-1: NGN/NGA-Netzarchitektur in der Übersicht



Teilnehmeranschlussnetze der nächsten Generation setzen Glasfaserverbindungen ein, 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.

Die folgende Abbildung stellt Netzabschnitte und die hier verwendete Terminologie dar.

Abbildung 3-2: Generische Struktur eines Next-Generation-Access-Netzes



3.1 Netz-Topologien und Technologien

Prinzipiell lassen sich NGA-Architekturen hinsichtlich der Topologie des passiven Anschlussnetzes und der aktiven Technologie, welche die Fasern in der Zentrale und beim Endkunden beleuchtet, unterscheiden.

In dieser Studie wird zwischen Point-To-Point (Punkt-zu-Punkt, P2P) Topologien und Point-To-Multipoint (Punkt-zu-Mehrpunkt, P2MP) Topologien unterschieden. Im Falle von P2P wird jeder Haushalt mit einer eigenen Glasfaser an die Zentrale, den MPoP, angeschlossen. Diese Leitung muss er, wie im bisherigen Kupferanschlussnetz, mit niemandem teilen.

P2MP-Topologien haben nur auf einem Teilabschnitt der Verbindung zwischen Kunde und MPoP solche dedizierten Leitungen für jeden Kunden. An einem prinzipiell beliebigen Punkt dazwischen (im Folgenden der "Distribution Point") wird der Verkehr der Kunden konzentriert und auf einer Faser gemeinsam zum MPoP übertragen. Aus diesem Grund kann ein entbündelter Zugang zu einem Teilnehmer bei P2MP nur am Distribution Point erfolgen¹⁹, während er bei P2P auch noch am MPoP möglich ist.

Die Konzentration von Kunden auf eine gemeinsame Feederfaser bei P2MP-Topologien kann mit aktiver Technik am Distribution Point (Active Ethernet, in dieser Studie nicht weiter berücksichtigt)²⁰, oder mit passiven optischen Splittern geschehen. Wir betrachten in dieser Studie nur P2MP-Topologien, die solche passiven optischen Splitter einsetzen. Wir gehen weiterhin davon aus, dass der Netzbetreiber eines solchen P2MP-Netzes auf den GPON-Standard setzt, um das Netz zu beleuchten. Auch die FTTC-Architektur kann als P2MP-Topologie mit VDSL-Technik betrachtet werden, hier verbleiben jedoch die alten Kupferkabel im Drop Segment.

Der Netzbetreiber eines P2P-Netzes kann prinzipiell jede Faser mit einer anderen Technik beleuchten. Wir gehen davon aus, dass der Ethernet-Standard zum Einsatz kommt, der es erlaubt kundenindividuelle Bandbreiten von 100Mbps, 1Gbps oder 10Gbps zu schalten. Die 100Mbps Fast-Ethernet Ports haben wir bereits nicht mehr berücksichtigt, da wir davon ausgehen, dass 1Gbps Ports preislich in absehbarer Zeit auf dem gleichen Niveau liegen und Fast-Ethernet vollständig ersetzen. Alle Kundenanschlüsse haben wir im Falle von P2P als 1Gbps Port modelliert.²¹

Der Netzbetreiber kann jedoch auch GPON-Technologie auf einer P2P-Topologie einsetzen. Dazu müssen im MPoP Splitter installiert werden, diese werden also gedanklich vom Distribution Point zurück in den MPoP verlagert. Im folgenden Kapitel werden alle

¹⁹ Dies entspricht konzeptionell dem Sub-Loop Unbundling am KVz im heutigen Kupfernetz.

²⁰ Active Ethernet erfordert im Gegensatz zu allen anderen hier vorgestellten Konzepten aktive Technik am Distribution Point. Die damit verbundenen operativen Kosten benachteiligen das Konzept und es bietet demgegenüber nahezu keine relativen Vorteile.

²¹ Der Netzbetreiber kann damit selbstverständlich auch geringere Bandbreiten als 1 Gbps endkundenseitig vermarkten.

berücksichtigten Architekturen, die sich als Kombination aus passiver Topologie und aktiver Technologie ergeben, beschrieben.

3.2 Erläuterung der modellierten NGA-Architekturen

Wir haben die Kosten des Ausbaus von vier NGA-Varianten in Deutschland modelliert. Eine Übersicht findet sich in der folgenden Tabelle, welche die vier Architekturen anhand von Topologie und aktiver Technik charakterisiert und das Kürzel definiert, mit der die Architektur hier im Text referenziert wird. Sie werden in diesem Kapitel genauer beschrieben.

Tabelle 3-1: Modellierte Glasfaserarchitekturen

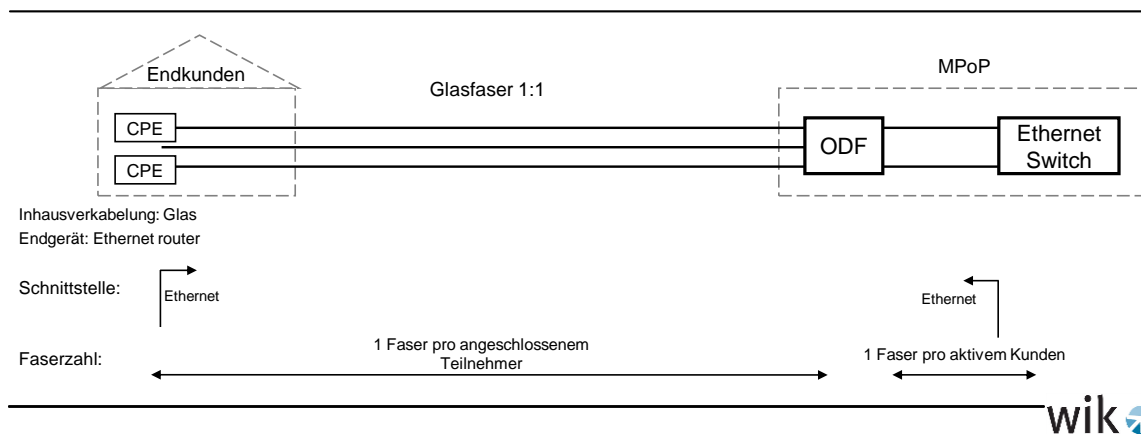
Kürzel	Glasfaser-Topologie zwischen Endkunde und Zentrale	Aktive Technik zur Beleuchtung der Fasern im MPoP	Kommentar
FTTH/P2P	Punkt-zu-Punkt	Ethernet	
FTTH/PON	Punkt-zu-Mehrpunkt	GPON	Dezentrale Splitter zwischen Zentrale und Kundenstandort
GPON over P2P	Punkt-zu-Punkt	GPON	Zentrale Splitter in der Zentrale
FTTB	Punkt-zu-Punkt (je Gebäude)	Ethernet	Mini-DSLAMs im Gebäudekeller zur Verteilung der Signale im Gebäude über Kupferkabel im Haus.

3.2.1 FTTH/P2P Ethernet

Die dedizierten P2P-Fasern jedes potentiellen Endkunden werden im MPoP auf einem optischen Verteiler (ODF) abgelegt. Ein akquirierter Kunde wird dann vom ODF auf einen Ethernetport durchgeschaltet. Alle anderen (nicht aktiven) Kundenanschlüsse liegen nur auf dem ODF und nicht auf einem Ethernetport auf. Abbildung 3-3 stellt die Architektur schematisch dar.

Die Bandbreite eines Kunden kann individuell konfiguriert werden, zum einen durch die Wahl der maximalen Portgeschwindigkeit und zum anderen durch Definition der dem Kunden maximal gewährten Bandbreite. Sie liegt derzeit maximal bei 10 Gbps, was jedoch im Anschlussnetz eher unüblich hoch und für den Massenmarkt weder benötigt noch günstig genug abgebildet werden kann.

Abbildung 3-3: FTTH/P2P-Netzarchitektur



3.2.2 FTTH/PON

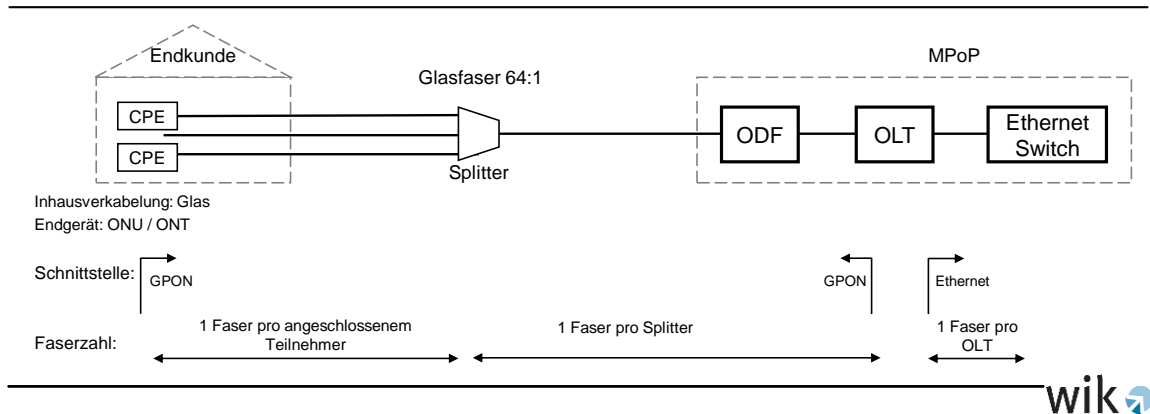
Der Splitter am Distribution Point konzentriert den Verkehr von mehreren Endkunden auf eine Feederfaser. Heute üblich sind Splittingfaktoren im Bereich von 8-32 Fasern, die auf eine Faser konzentriert werden. Im Modell gehen wir von einem zukunftsorientierten Splittingfaktor von 1:64 aus. Unter unserer Vollausbauannahme erhält jeder (potenzielle) Teilnehmer eine Faser die von seiner Wohnung zu einem Splitter führt. Die Splitter sind also (mit einer kleinen Reserve) für den Vollausbau dimensioniert.

Die vom Splitter abgehende Faser wird im MPOp zunächst auf einem ODF Port abgelegt und von dort auf einen Port des Optical Line Terminator (OLT) weitergeführt (jeder Splitter im Feld belegt einen OLT-Port im MPOp). Der OLT ist die aktive Technik, die den Verkehr im P2MP-Netz kontrolliert und über die Vergabe von Senderechten dafür sorgt, dass es nicht zu Kollisionen der Upstream Verkehre verschiedener Kunden kommt bzw. dass jeder Kunde nur auf die für ihn bestimmten Daten zugreifen kann. Das Endgerät auf Kundenseite wird als Optical Network Unit (ONU) oder Optical Network Terminal (ONT) bezeichnet. Für die Modellierung wurde ein Standardendgerät angenommen, in das diese Netzabschlussfunktion integriert ist. Aufwändigere Router mit größerem Funktionsumfang können teurer sein.

Typischerweise wird bei GPON Systemen die Ressourcenverwaltung "dynamisch" betrieben, d.h. dass die Übertragungsressourcen den Teilnehmern vom OLT bedarfsweise und nicht starr ("statisch") zugeordnet werden. Daher kann die Nutzungsintensität der anderen Teilnehmer der Anschlussleitung die Qualität der eigenen Anbindung beeinflussen (durchschnittliche und maximale Bandbreite sowie Paketlaufzeit). Eine starre Verteilung ist möglich, aber unüblich.

Zurzeit erlaubt der GPON-Standard eine Kapazität von 2,5Gbps downstream und 1,25Gbps upstream, die den Teilnehmern eines "GPON-Astes" (alle Teilnehmer, die durch die gleiche Feeder-Faser versorgt werden) in Summe zur Verfügung steht.

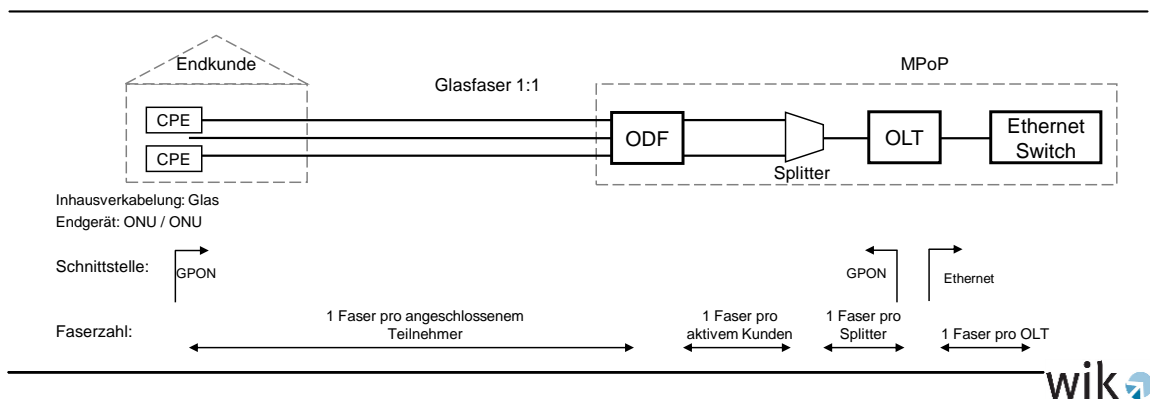
Abbildung 3-4: FTTH/PON-Netzarchitektur



3.2.3 FTTH GPON over P2P

Zugrunde liegt diesem Konzept eine P2P-Fasertopologie, auf die im MPoP eine GPON-Architektur mit zentralen Splitttern hinter dem ODF gesattelt wird. Wird ein Kunde als aktiver Abonnent gewonnen, dann kann der Betreiber eine freie kundenseitige Faser eines Splitters am ODF über ein Patch-Kabel mit dem teilnehmerseitigen ODF-Port des Kunden verbinden. Die konzentrierende Faser des Splitters wird mit dem ersten Kunden auf einen OLT-Port aufgesteckt. Ein gutes Fasermanagement am ODF ist daher - wie bei den anderen Architekturen auch - sehr wichtig. Die Architektur ist in Abbildung 3-5 dargestellt.

Abbildung 3-5: FTTH/GPON über P2P Netzarchitektur



Der hier beschriebene Ansatz kombiniert Vorteile von P2P-Topologie und GPON-Technik:

- Die Kundenzugänge bleiben am MPoP und nicht nur am Distribution Point entbündelbar.
- Splitter sind in dem Sinne effizienter beschaltbar, als dass sie unabhängig von der Penetration stets mit hohen Splittingfaktoren arbeiten können. Die aktiven Kunden können vom ODF aus auf die Splitter verteilt werden. Beim herkömmlichen GPON sind die Endkundenleitungen alle fest mit dem Splitter verbunden. Die Splitterauslastung hängt daher direkt von der Penetration ab.
- Dadurch werden auch weniger OLT-Ports benötigt.
- Der Platz- und Energiebedarf für aktive Technik im MPoP wird ggü. P2P Ethernet und GPON reduziert.
- Die den Kunden zur Verfügung gestellte Bandbreite kann durch Anpassen des Splittingfaktors viel flexibler skaliert werden als dies bei einer herkömmlicher GPON Architektur möglich wäre (dort müssten die dezentralen Splitter ausgetauscht werden). So können Kunden so konfiguriert werden, dass sie bei Bedarf über einen geringeren Splittingfaktor konzentriert werden und ihnen so mehr Bandbreite zur Verfügung gestellt werden kann. Einer beliebigen Zahl von Kunden (z.B. Geschäftskunden) kann anstelle des geteilten Mediums auch eine dedizierte Faser und damit höhere und garantierte Kapazität angeboten werden.
- Die Zukunftssicherheit ist auch dann noch gewährleistet, wenn selbst Innovationssprünge der GPON-Technik (z.B. 10GPON) den Bandbreitenbedarf der Kunden nicht mehr abdecken. In diesem Fall kann auf Individualverbindungen übergegangen werden.

Da diesem Ansatz die gleiche P2P Topologie wie bei FTTH/P2P Ethernet zugrunde liegt, fallen für das passive Netz zwischen Kunde und MPoP Investitionen in gleicher Höhe an. Im Modell haben wir angenommen, dass alle aktiven Kunden über eine 1:64 Konzentration auf OLTs geführt werden, d.h. die Bandbreite je Kunde ist mit der von FTTH/GPON vergleichbar.²²

Bei dieser Vorgehensweise kann die Zahl der benötigten OLT Ports gegenüber FTTH/GPON reduziert werden. Bei letzterer Architektur wird die Zahl der Splitter – und damit die Zahl der Feeder Fasern und OLT Ports – durch die Zahl *potentieller* Teilneh-

²² Mit dieser Architektur kann auch bei niedriger Penetration ein hoher Auslastungsgrad der Splitter und OLT-Ports erreicht werden. Prinzipiell könnte man das auch so deuten, dass die durchschnittliche Bandbreite je Kunde bei niedrigen Penetrationswerten niedriger als bei FTTH/GPON ist, weil der einzelne Kunde mit mehr Teilnehmern im Wettbewerb um Bandbreite steht. FTTH/GPON über P2P bietet jedoch im Gegensatz zu FTTH/GPON die Flexibilität bedarfsweise den Kunden mehr Kapazität anzubieten.

mer (später auch als "homes passed", d.h. alle Kunden, die an das FTTH-Netz anschließbar sind, bezeichnet) bestimmt. Bei FTTH/GPON über P2P bestimmt jedoch nur die Zahl aktiver Kunden die Anzahl benötigter Splitter und damit die Zahl an OLT Ports. Je niedriger die Penetrationsrate des Dienstes, umso mehr OLT Ports können dann im Vergleich zu FTTH/GPON eingespart werden.²³

3.2.4 FTTB

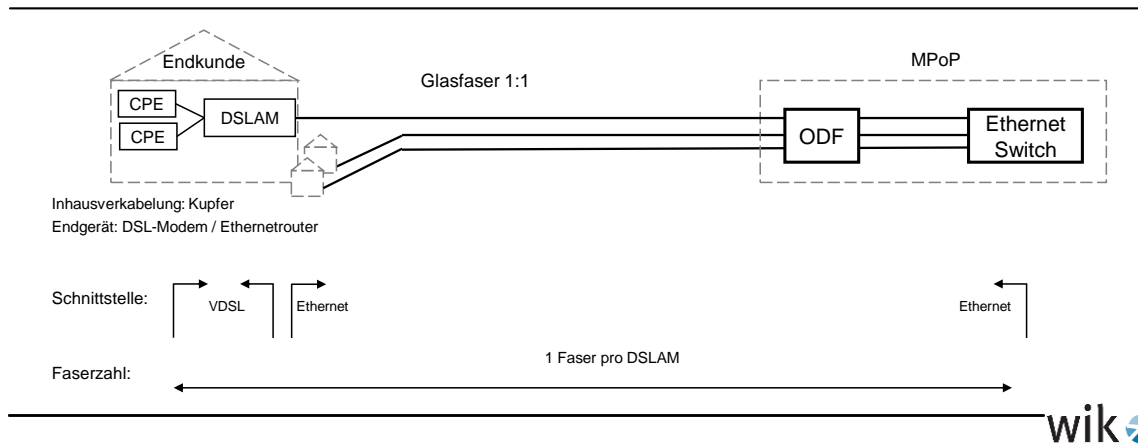
Bei FTTB wird nicht jeder Haushalt, sondern nur jedes Gebäude mit einer Glasfaser angeschlossen. Die Glasfaserverbindung erstreckt sich daher nicht auf die Inhausverkabelung, die in einem Mehrfamilienhaus für die Verteilung des Signals auf die einzelnen Parteien zuständig ist (in einem Einfamilienhaus hingegen entspricht FTTB einer FTTH Architektur). Stattdessen setzt man auf die existierende Verkabelung, wie Telefonleitungen (beschaltet mit VDSL oder Ethernet) oder Koaxialkabel (Kabel-TV). Netzabschluss des Glasfasernetzes ist daher ein aktives Gerät im Keller des Gebäudes, das die Signale z.B. auf die Telefonleitung umlegt. Existieren sowohl Telefon- als auch Koaxialverkabelung, dann besteht grundsätzlich auch die Möglichkeit, am Glasfasernetzabschluss Telefonie und Daten über die Telefonverkabelung und TV separat über das Koaxialkabel zu verteilen (Wahl der richtigen Technik vorausgesetzt²⁴).

Bei dem hier modellierten FTTB werden Mini-DSLAMs mit VDSL-Technik in den Keller des Gebäudes gesetzt. Jeder DSLAM ist wie bei FTTC mit einer eigenen Faser mit dem MPoP verbunden, wird auf einem ODF-Port abgelegt und terminiert in einem Ethernet Port (Abbildung 3-6). Es wurde je Gebäude eine Faser vorgesehen, TV wird als IPTV inband transportiert.

²³ Rechenbeispiel: Angenommen, ein MPoP verwaltet rund 19.000 Kunden. Bei FTTH/GPON mit dezentralen Splitter sind unabhängig von der tatsächlichen Penetration rund 300 dezentrale Splitter nötig, die jeweils auf einem OLT Port aufliegen. Bei FTTH/GPON über P2P und einer Penetration von 50 % müssen im MPoP 9.500 aktive Kunden auf Splitter geschaltet werden, was ca. 150 zentrale Splitter und OLT Ports erfordert. Die Investitionersparnis für Splitter und aktive Technik bei diesem Beispiel beträgt etwa 400.000 €. Bei niedrigeren Penetrationsraten erhöht sich dieser Vorteil. Für GPON over P2P sind für einen vollständigen Vergleich die zusätzliche Investitionen in Feedersegment und ODF gegenzurechnen.

²⁴ Für eine separate Übertragung des TV-Signals im Koaxialkabel wird dieses typischerweise separat auf einer eigenen Wellenlänge in der Glasfaser übertragen (RFoG, Radio Frequency over Glass, outband) und im Keller über einen Fibre Node abgeschlossen. Diese Lösung haben wir hier nicht modelliert.

Abbildung 3-6: FTTB über eine P2P-Topologie



Gerade im Fall von FTTB gibt es in der Praxis eine Vielzahl von Architekturvarianten, die sich nicht nur in den beiden kurz umrissenen erschöpfen. Aus Vereinfachungsgründen haben wir nur FTTB als Punkt-zu-Punkt Topologie modelliert, wohl wissend, dass alternative Verfahren in einigen Aspekten Vorteile haben könnten. Am Ende wird besonders bei FTTB die Ausbaumform sehr stark von den lokalen Verhältnissen abhängen (vgl. dazu auch die Analyse der Ergebnisse in Kapitel 4.)

3.3 Zusammenfassung der modellierten Elemente im Anschlussnetz

Tabelle 3-2 listet die Investitions- und Kostenpositionen zwischen Kunde und MPoP auf, die bei der Modellierung berücksichtigt wurden.

Tabelle 3-2: Überblick über die bei der bottom-up Modellierung berücksichtigten Netzebenen und –Elemente des Anschlussnetzes

	FTTB	FTTH/GPON	FTTH/P2P Ethernet	FTTH/GPON über P2P
Endgeräte des Kunden	X	X	X	X
Glasfaser-Inhausverkabelung		(X)	(X)	(X)
Gebäudeanschluss	X	X	X	X
FTTB: Mini DSLAM im Keller	X			
Verlegung von Glasfaser im Drop Segment	X	X	X	X
Distribution Point*		Splitter		
Verlegung von Glasfaser im Feeder Segment	X	X	X	X
MPoP: ODF, aktive Technik, Raum- und Energiebedarf	X	X	X	X

X – bei dieser Architektur berücksichtigt; (X) jeweils ein Szenario mit und ohne Inhausverkabelung

* genannt werden Elemente, die über standardmäßige vorgesehene Muffen und Schächte hinausgehen.

Für die FTTH Varianten haben wir jeweils ein Szenario mit und ohne Einbezug der Kosten der Inhausglasfaserverkabelung gerechnet, da sich hier grundlegend die Frage stellt, ob der Netzbetreiber oder der Hauseigentümer diese Kosten trägt. Wir haben den ARPU in beiden Fällen in identischer Höhe belassen²⁵.

25 Dies wirkt für den Fall, dass die Inhausverkabelung nicht mit einbezogen ist, prinzipiell umsatz erhöhend, weil ja der Gebäudeeigentümer zusätzlich die Kosten für diese Verkabelung übernimmt und sich diese ggf. über die Miete vom Nutzer zurückholt.

4 Kosten, Investitionsvolumen und Profitabilität von NGA in Deutschland

In diesem Kapitel analysieren wir Kosten, Investitionen und Profitabilität in allen 20 Clustern, um die Profitabilitätsgrenzen eines flächendeckenden Ausbaus von Glasfaser in Deutschland zu ermitteln. In den Berechnungen von Gewinnen und Profitabilität wurde die risikoangepasste Verzinsung des eingesetzten Kapitals (WACC) als Kosten eingerechnet. Hier dargestellte Gewinne oder Profitabilitätsgrenzen beziehen sich also auf Gewinne über die Verzinsung des eingesetzten Kapitals hinaus. Insofern kommt unsere Gewinngröße eher eine ökonomischen Rente näher. Dies entspricht sowohl dem entscheidungsorientierten Ansatz eines Investors als auch der Betrachtung von Kosten durch eine Regulierungsbehörde.

4.1 Abhängigkeit der Kosten pro Kunde von der Penetration

Zunächst wird die Entwicklung der Kosten pro Kunde in Abhängigkeit von der Penetrationsrate untersucht. ARPU und Penetration sind in diesem ersten Schritt nicht fest vorgegeben, vielmehr interpretieren wir die Ergebnisse wie in Abschnitt 2.3.10 beschrieben anhand der Kostenkurven. Zur besseren Übersichtlichkeit beschränken wir diese Analyse nur auf FTTH/P2P und FTTH/PON. Investitionsvolumina und kritische Penetrationsraten unter Fixierung der Penetrationsrate am zuvor definierten Maximum und eines fixierten ARPUs geben wir später für alle Architekturen an.

4.1.1 Basis Szenario

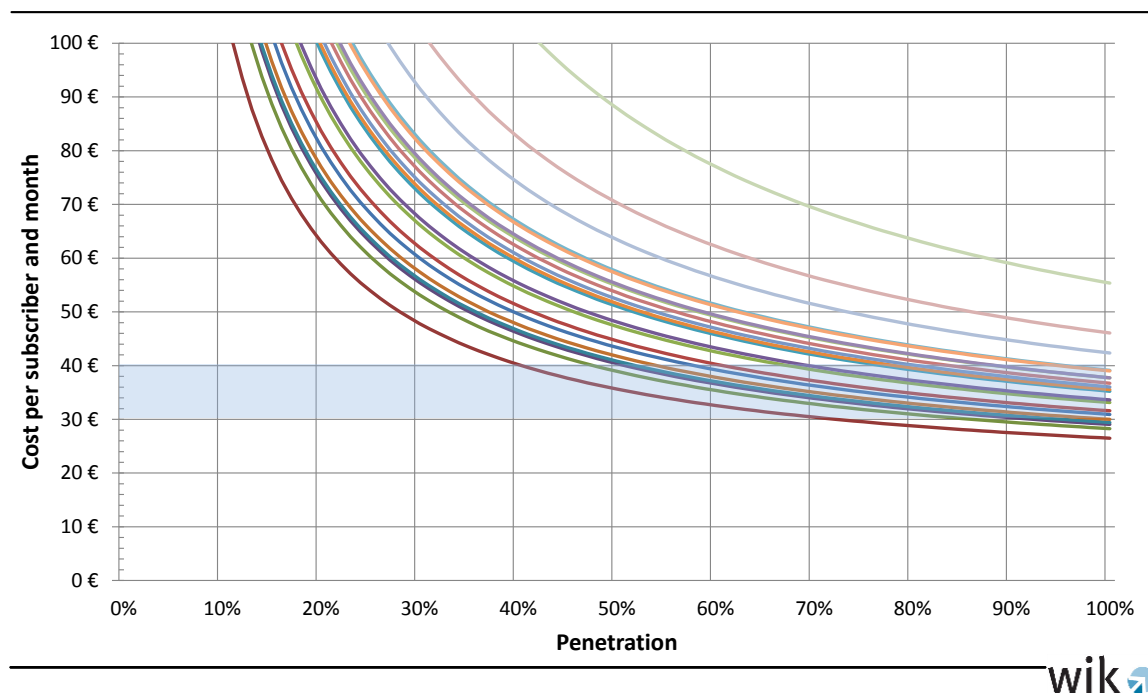
In Abbildung 4-1 sind die durchgerechneten Gesamtkosten pro Kunde (passives Anschlussnetz, aktive Technik, Kern- und Konzentrationsnetz, Vertrieb etc.) in Abhängigkeit von der Penetration beispielhaft für FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung dargestellt. Zur besseren Lesbarkeit wurde das Diagramm auf 100 € pro Monat auf der vertikalen Achse begrenzt. Jeder Cluster ist durch eine eigene Kostenkurve dargestellt; Cluster 1 liegt aufgrund der günstigeren Rahmenbedingungen (dichteste Besiedlung) ganz unten und Cluster 20 entsprechend ganz oben (rechts).

Mit großer Wahrscheinlichkeit liegt der mit Glasfaseranschlussnetzen erzielbare ARPU in einem vergleichbaren Bereich wie der heutige ARPU auf Kupfernetzen, denn die Zahlungsbereitschaft der Endkunden für mehr Bandbreite ist begrenzt.²⁶ Die Vergangenheit hat gezeigt, dass Netzbetreiber regelmäßig ihren Kunden für den gleichen Preis mehr Leistung anbieten. Insofern ist es angezeigt, den Bereich von 30 € – 40 € im Diagramm genauer zu betrachten (siehe die Analyse des derzeitigen Preisniveaus in Kapitel 2.3.10), denn dort wäre ein durchschnittlicher ARPU anzusiedeln. In Abbildung 4-1 ist dieser Bereich eingefärbt.

²⁶ Siehe auch Kapitel 4.3.

Am oberen Rand, also bei 40 €, wird etwas mehr als 40 % Penetration benötigt, um im dichtesten Cluster die Kosten pro Kunde zu decken. Bei dieser ARPU-Höhe gibt es Schnittpunkte mit Kostenkurven aller Cluster mit Ausnahme der letzten drei Cluster. Allerdings schneiden nur die Kostenkurven der ersten 9 Cluster die 40 € Marke vor einer Penetration von 70 %, also der von uns angenommenen Grenze dessen, was NGA nachfrageseitig erreichen kann. Am unteren Rand (30 €) gibt es keinen einzigen Schnittpunkt mit Kostenkurven bei einer Penetration von weniger als 70 %. Selbst im dichtesten Cluster wäre also bei diesem ARPU kein profitabler Betrieb möglich. Notwendige Voraussetzung für einen profitablen Glasfaserausbau sind daher ARPU-Erwartungen der Investoren, die oberhalb von (durchschnittlich) 30 € pro Kunde und Monat liegen. Je höher das erwartete ARPU-Niveau, desto weiter kann ein Glasfasernetz profitabel ausgerollt werden. Allerdings ergibt sich in unserem Basis Szenario selbst bei einem ARPU-Niveau von 40 € nur eine profitable Netzabdeckung von 45 % der Teilnehmer. Eine derart begrenzte Reichweite war angesichts der Kosten andererseits zu erwarten.

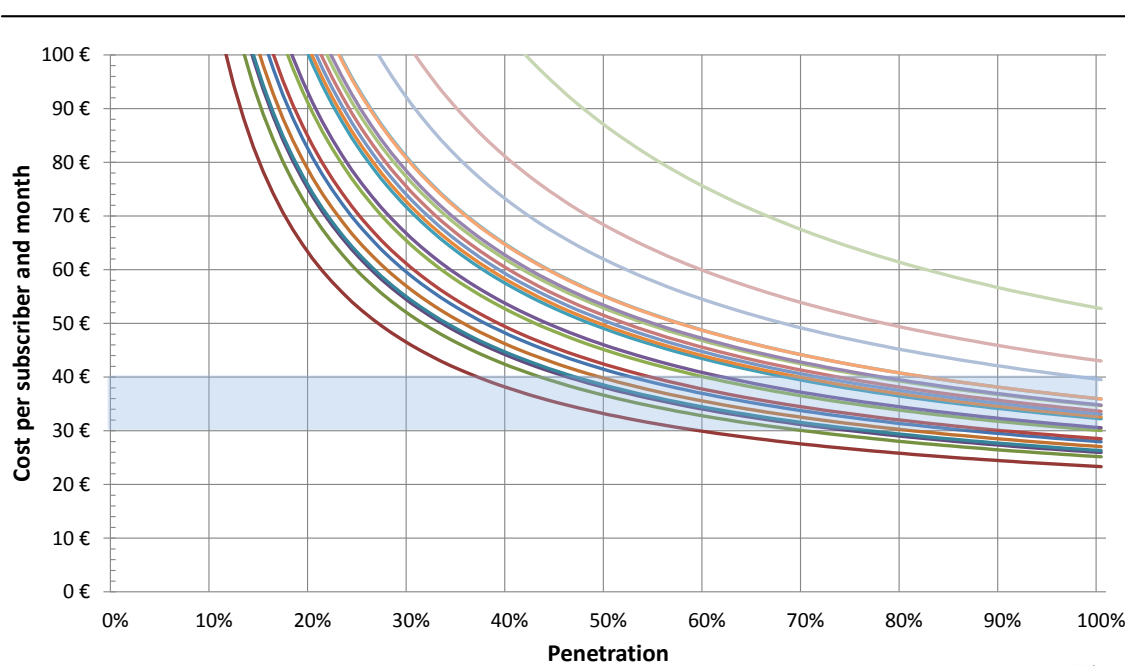
Abbildung 4-1: Basis Szenario: Kosten pro Kunde für FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung in Abhängigkeit von der Penetrationsrate



Die Kostenkurven für FTTH/PON verlaufen weitgehend symmetrisch, die Kurvenschar ist jedoch leicht nach links unten verschoben (siehe Abbildung 4-2), da FTTH/PON insgesamt kostengünstiger ist. Auf die Kostenunterschiede zwischen den Technologien gehen wir später noch einmal ausführlicher ein. Am oberen Rand des in Abbildung 4-2 eingezeichneten ARPU-Bandes zwischen 30 € und 40 € schneidet die Kostenkurve von Cluster 1 bereits bei unter 40 % Penetration, während bei FTTH/P2P noch über 40 %

Penetration notwendig war. Bei dieser ARPU-Höhe wird sogar die Kostenkurve von Cluster 18 noch geschnitten, wenn auch erst bei 100 % Penetration. Bei FTTH/P2P gab es gar keinen Schnittpunkt. Betrachtet man nur Cluster, deren Kostenkurve die 40 € Marke unter 70 % schneidet, so steigt die Zahl im Vergleich zu FTTH/P2P leicht auf 11 an. Legt man die 30 € Marke als Referenz an, so ist lediglich Cluster 1 eindeutig noch bei realisierbaren Penetrationen profitabel; bei etwas über 60 % Penetration liegen die Kosten unter 30 € pro Kunde.

Abbildung 4-2: Basis Szenario: Kosten pro Kunde für FTTH/PON ohne Inhausverkabelung



Insgesamt wird noch einmal deutlich, dass generell hohe Penetrationsraten für einen profitablen Netzausbau erforderlich sind. Investoren müssen daher (möglichst schnell) eine hohe Auslastung auf ihrer Plattform erreichen und benötigen durchschnittliche ARPUs im Bereich von mindestens 35 €, um im relevanten Auslastungsbereich zwischen 50 % und 70 % wenigstens in den dichteren Clustern profitabel arbeiten zu können.

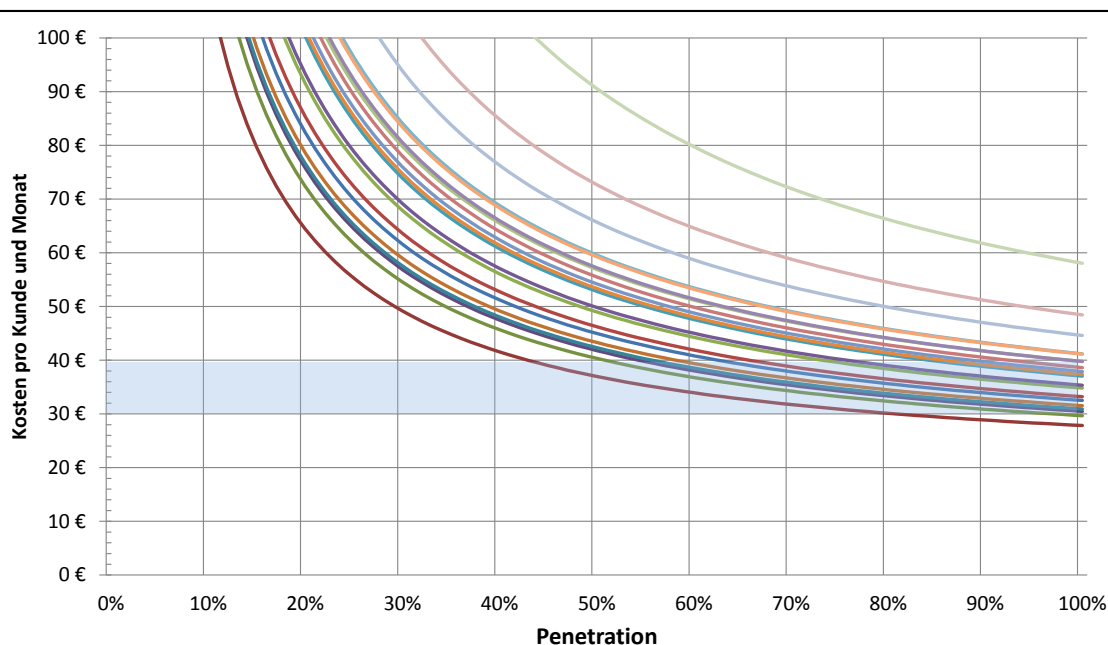
4.1.2 Sensitivität mit ausgewählten Kostensteigerungen bei FTTH/P2P

Beispielhaft für FTTH/P2P ist in Abbildung 4-3 die Entwicklung der Kosten pro Kunde und Monat für ein Alternativszenario dargestellt. Für dieses gelten die gleichen Annahmen wie im Basisfall mit Ausnahme der folgenden drei Aspekte:

- Investitionen für Tiefbau, Rohr, Kabel und Installation für den Hausanschluss 40 € statt 30 € pro Meter
- Endgerät 125 € statt 100 €
- Keine Luftverkabelung statt jeweils 5 % Luftkabelanteil in den letzten fünf Clustern

Vergleicht man die Ergebnisse von Abbildung 4-1 (Basis Szenario) mit Abbildung 4-3 (Alternativszenario), so stellt man insgesamt eine leichte Verschiebung der Kurven nach oben fest, die aus den gestiegenen Kosten resultiert. Allerdings sind die Unterschiede eher begrenzt; die Gesamtkosten steigen um durchschnittlich knapp 2 € pro Kunde und Monat mit einer Spannbreite von +1,35 € in Cluster 1 bis zu + 2,69 € in Cluster 20. An der 40 € Marke (ARPU) sind durch die Verschiebung geringfügig höhere Penetrationsraten in den dichteren Clustern erforderlich. Die Cluster 8 und 9, die zuvor bei 70 % gerade noch unter einem Kostenwert von 40 € lagen, liegen nun oberhalb von 40 € Kosten pro Kunde pro Monat (siehe auch Tabelle 4-7). In unserer Interpretation sinkt die Reichweite von FTTH/P2P somit um 2 Cluster, da diese Cluster selbst zum höchsten Umsatz (40 €) nicht mehr profitabel ausgebaut werden können. Die Kostenkurven liegen in allen Diagrammen sehr dicht zusammen und verlaufen ab Penetrationsraten von etwa 60 %-70 % relativ flach. Ein Unterschied von nur wenigen Euro beim ARPU oder bei den monatlichen Kosten zeigt dann eine erhebliche Hebelwirkung mit Blick auf die profitable Ausbaugrenze. Insofern ist bei der Interpretation von Grenzclustern, die um 70 % Penetration gerade noch oder gerade nicht mehr profitabel sind, Augenmaß geboten.

Abbildung 4-3: Alternativszenario mit erhöhten Kosten am Beispiel FTTH/P2P: Kosten pro Kunde pro Monat



4.1.3 Brownfield Sensitivität

Als Ergänzung zu unserem Basisszenario, bei welchem wir von einer Greenfield Situation in der Verlegung ausgehen, haben wir eine "Brownfield"-Sensitivität gerechnet, die die Mitnutzung existierender Tiefbau-Infrastrukturen berücksichtigt. Bei der Abschätzung der Investitionsminderung durch (kostenlose) Mitnutzung existierender Infrastruktur (vor allen Dingen von Leerrohren) haben wir uns hinsichtlich der Verfügbarkeit von Leerrohren primär am existierenden Kupfernetz orientiert.²⁷ Das Sparpotenzial der Nutzung hängt von mehreren Faktoren ab:

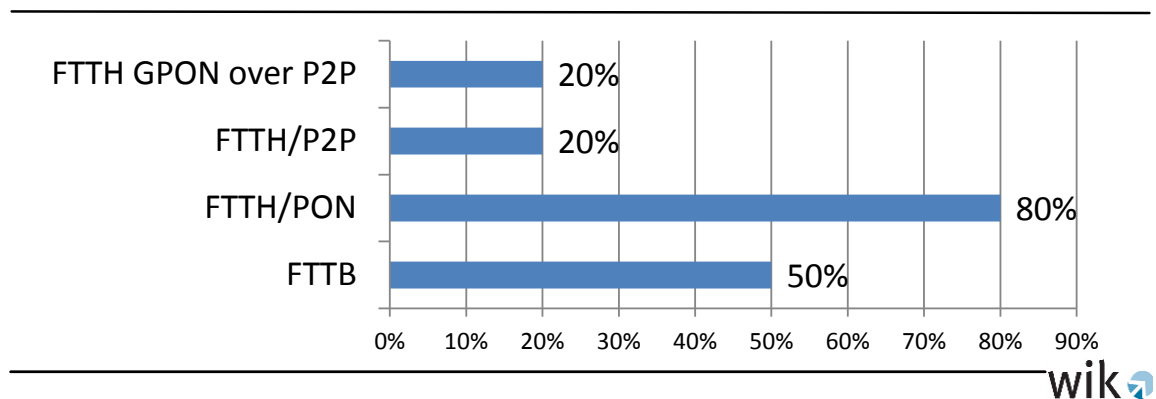
1. Vom Grad der historischen Verrohrung in Deutschland: Nur wo überhaupt Röhrenkabel im relevanten Bereich verlegt wurden, können potenziell Leerrohre für den Ausbau von NGA nutzbar sein.
2. Von der Wahrscheinlichkeit, dass noch ausreichend Platz vorhanden ist: Die Wahrscheinlichkeit, ob im Leerrohr noch genug Platz für neue Fasern ist, hängt nicht nur von dessen Belegung durch bestehende Netze, sondern auch vom Platzbedarf der neuen Architekturen ab und ist daher abhängig von der Netztopologie.

²⁷ Andere Infrastrukturen, z.B. TK-Netze anderer Betreiber oder Netze von Versorgern haben wir nicht einbezogen.

3. Von der Altersstruktur der Leerrohre: Existierende Leerrohre stehen nur für die verbleibende (Rest-)Lebensdauer zur Verfügung und müssen danach erneuert werden. Leerrohre mit nur noch kurzer Lebensdauer bzw. bereits existierenden Schäden werden erneuert, bevor neue Glasfasern eingezogen werden, weil der Austausch später im laufenden Betrieb nur unter großen Umständen und Kosten durchgeführt werden könnte.

Zu allen drei Punkten haben wir Prozentwerte angenommen. Für den Grad der tatsächlichen Verrohrung des Kupfernetzes in Deutschland gehen wir davon aus, dass im Verzweigerbereich (Drop) die Erdkabelverlegung dominiert. Den Röhrenkabelanteil haben wir im nationalen Durchschnitt auf 10% geschätzt (Annahme: 50% in Cluster 1, 1% in Cluster 20). Für den Hauptkabelbereich (Feeder) haben wir den Röhrenanteil auf 30% im nationaler Durchschnitt geschätzt (Annahme: 100% in Cluster 1, 10% in Cluster 20). Im Dropsegment nehmen wir an, dass bei FTTH Architekturen in 50%, bei FTTB Architekturen in 80% der Fälle in existierenden Leerrohren ausreichend Platz für die benötigten Fasern vorhanden ist. Unsere Annahmen zum Platz für das Feeder Segment sind in Abbildung 4-4 erläutert. Hinsichtlich der Altersstruktur sind wir davon ausgegangen, dass die Leerrohre im Durchschnitt im Mittel noch zur Hälfte ihrer Lebensdauer zur Verfügung stehen.

Abbildung 4-4: Annahme zum Anteil existierender Leerrohre im Feeder Abschnitt mit ausreichend Platz in Abhängigkeit von der Architektur.



Die effektive, prozentuale Investitionsminderung, die wir für Leerrohre und Schächte angesetzt haben, bestimmt sich durchgerechnet aus den oben genannten Annahmen beispielhaft für den Drop Bereich von FTTH/P2P im ersten Cluster wie folgt:

$$50 \% \text{ Röhrenkabel} \times 50 \% \text{ Chance auf ausreichend Platz im Rohr} / 2 = \sim 13 \%$$

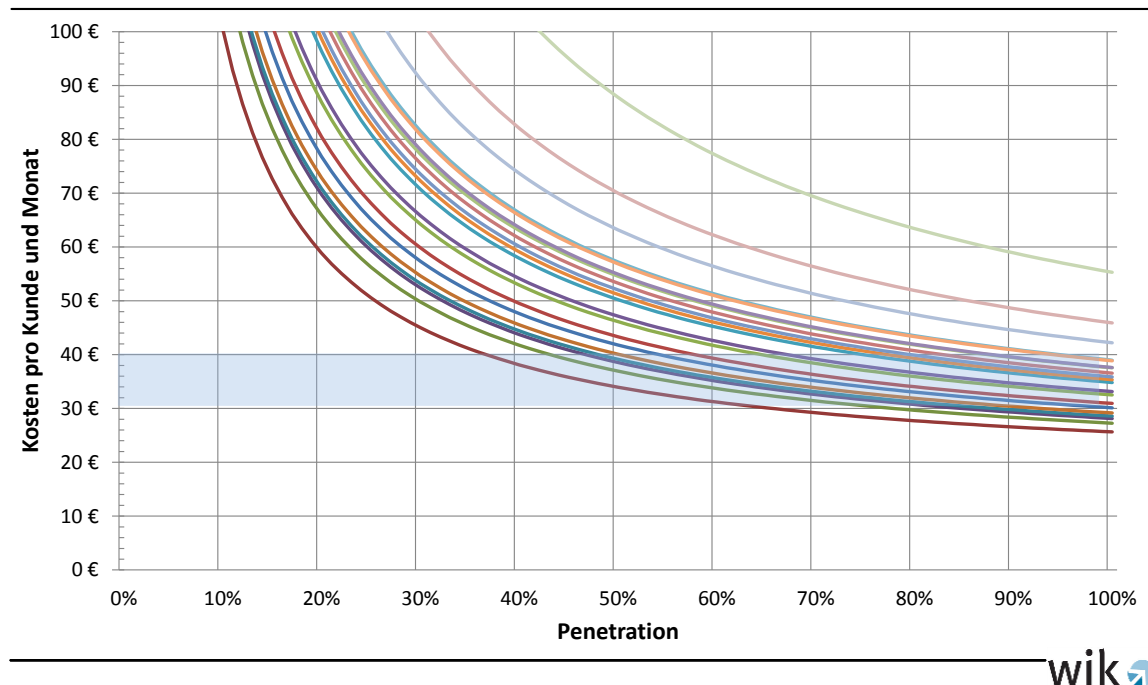
Tabelle 4-1: Reduktionsfaktoren auf Tiefbauinvestitionen wegen Mitnutzung existierender Infrastruktur

	FTTB	FTTH PON	FTTH P2P-Topologie
Drop	Von 20% in Cluster 1 bis ~0% in Cluster 20	Von 13% in Cluster 1 bis ~0% in Cluster 20	
Feeder	Von 25% in Cluster 1 bis ~3% in Cluster 20	Von 40% in Cluster 1 bis ~4% in Cluster 20	Von 10% in Cluster 1 bis ~1% in Cluster 20

Die Auswirkungen auf den Verlauf der Kostenkurven sind in Abbildung 4-5 beispielhaft für FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung dargestellt. Eine spürbare Verschiebung der Kurven nach unten zeigt sich praktisch nur in den ersten 4-8 Clustern. Dort sinkt die nötige Penetration, die für Kosten von höchstens 40 € nötig ist, um etwa 4 %-Punkte. Der absolute Kostenunterschied von Green- zu Brownfield beträgt bei FTTH/P2P zwischen je nach Cluster zwischen rund 1.40 und 0.10 € pro Kunde und Monat. Die effektive Kostensenkung ist bereits ab Cluster 10 unter 2% (bei GPON ist der Gesamteffekt um wenige Prozentpunkte größer). Die Beschränkung von spürbaren Effekten auf die dichteren Clustern ist in unseren Annahmen zum Vorhandensein von Leerrohren begründet. Nur in den dichteren Clustern in Deutschland gibt es einen relevanten Anteil von Röhrenkabeln, welcher die zur Verfügung stehende potenzielle Leerrohrkapazität definiert. Insgesamt ist unserer Ansicht nach aufgrund des geringen Anteils an Röhrenverlegung im deutschen Kupfernetz das Potenzial der Kostensenkung durch Mitnutzung – die hier als kostenlos unterstellt wurde!²⁸ – gering. Die Auswirkungen auf das Investitionsvolumen sind in Kapitel 4.2.2 dargestellt. Durch die eingeleiteten Aktivitäten zum Infrastrukturatlas und der zur Verfügungstellung vorhandener Infrastruktur außerhalb von Telekommunikationsunternehmen mag sich hier in Zukunft ein größeres Potenzial ergeben.

²⁸ Gibt es einen positiven Preis für die Nutzung dieser Infrastruktur, etwa in Form einer Leerrohrmiete, nähern sich die resultierenden Kosten wieder dem Greenfieldniveau an. Es vermindert sich allerdings das erforderliche Investitionsvolumen.

Abbildung 4-5: Basis Szenario, aber mit Brownfield statt Greenfield-Hypothese am Beispiel FTTH/P2P ohne Inhaus: Kosten pro Kunde pro Monat



GPON spart im Feeder bei Brownfield in den dichten Clustern über 30 % (durchgerechnet auf Kosten pro Monat) der Kosten dieses Netzsegments. P2P spart dort durch Brownfield nur 7-8 %. Dies liegt an der höheren Wahrscheinlichkeit, mit der die im Vergleich zu P2P geringere Faserzahl von GPON (P2MP) noch in die bestehenden Leerrohre des Feedersegmentes passen (80% vs. 20%), vgl. Abbildung 4-4. Die Gesamtkosten von PON (P2MP) sinken dadurch um etwa 5 % in den dichteren Clustern.

Die absolute Differenz zwischen den Kosten des Feedersegmentes von GPON (P2MP) und P2P beträgt im Greenfieldfall jedoch nur ungefähr 0.10 bis 0.17 € pro Kunde und Monat bei 70 % Penetration. Bei Brownfieldbetrachtung vergrößert sie sich auf bis zu 0.50 € pro Kunde monatlich in einigen dichten Clustern.

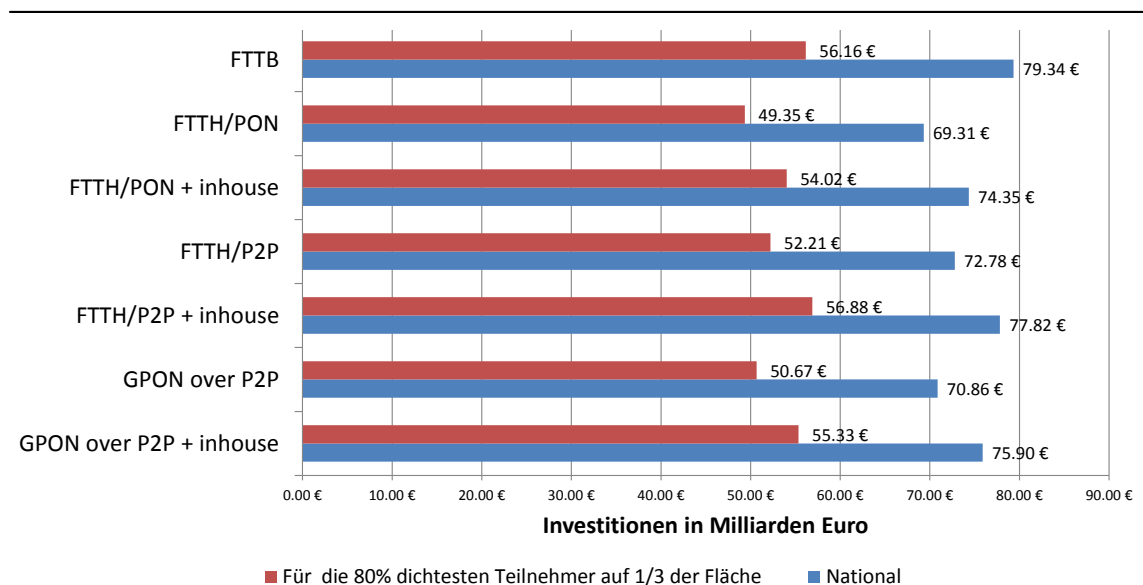
4.2 Investitionen und Profitabilität

4.2.1 Basis Szenario

4.2.1.1 Investitionen und Kosten bei fixierter Penetration bei 70 %

Abbildung 4-6 stellt das Investitionsvolumen dar, das für einen Greenfield Rollout mit NGA nötig ist, der alle Teilnehmer anschließbar macht (100 % FTTR) und 70 % der Teilnehmer als aktive Kunden auf das Netz holt. Die Penetration bestimmt alle im Modell direkt abonentengetriebenen Investitionsgrößen, d.h. Hausanschluss, Inhausverkabelung, Endgeräte und netzseitige aktive Technik. Das Investitionsvolumen liegt je nach Architektur zwischen 70 und 80 Milliarden Euro. In diesen Größen ist die Gebäudezuführung und der Hausanschluss immer enthalten, die Inhausverkabelung jedoch nur in den mit "+ inhouse" gekennzeichneten Varianten.

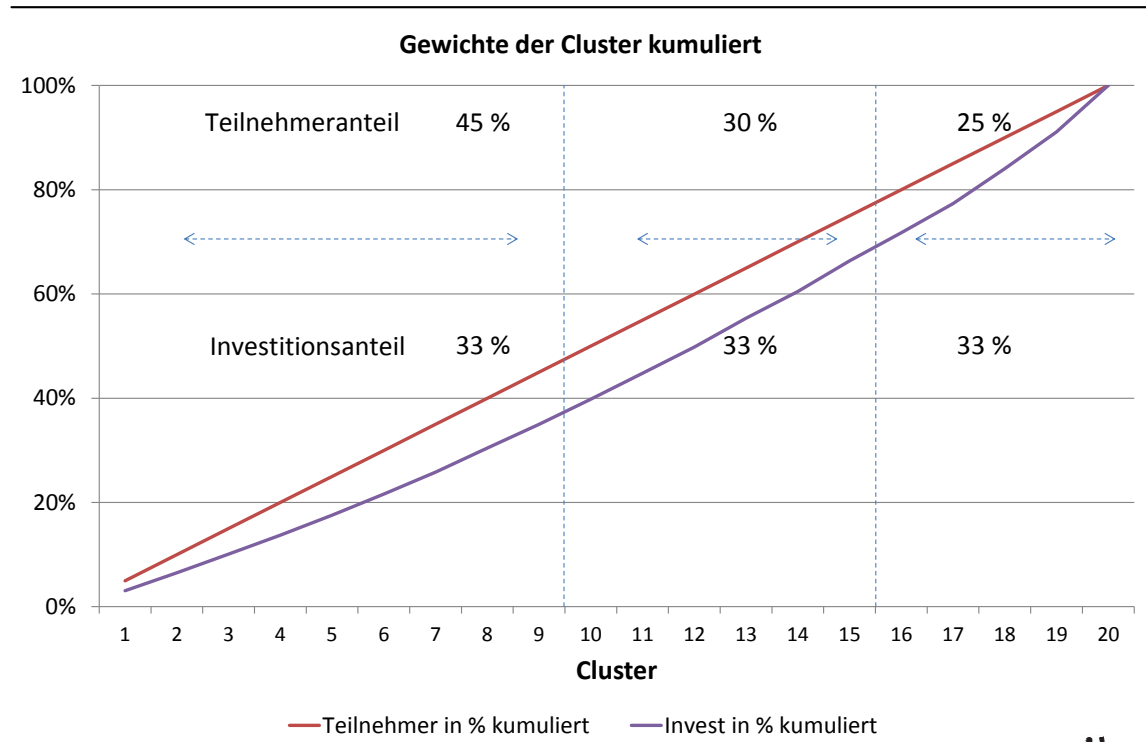
Abbildung 4-6: Gesamtinvestitionen in Milliarden Euro bei 70 % Penetration



Werden statt aller Cluster nur die Cluster 1-16 ausgebaut (80 % der Teilnehmer auf 1/3 der Fläche) dann sinken die Gesamtinvestitionen deutlich um rund 30 %. Im Vergleich zu Abbildung 2-2 (Konzentration von Teilnehmern und Fläche) ist die Konzentration von Teilnehmern und Investitionsvolumen zwar deutlich, aber wesentlich geringer ausgeprägt (siehe Abbildung 4-7). Dies hat seinen Grund darin, dass sich in den weniger dicht besiedelten Clustern zwei gegenläufige Effekte auf die Höhe der erforderlichen Investitionen zeigen: Zum einen steigen die Investitionen auf Grund der (deutlich) steigenden Trassenlängen pro Kunde an. Dieser Effekt wird jedoch dadurch gebremst,

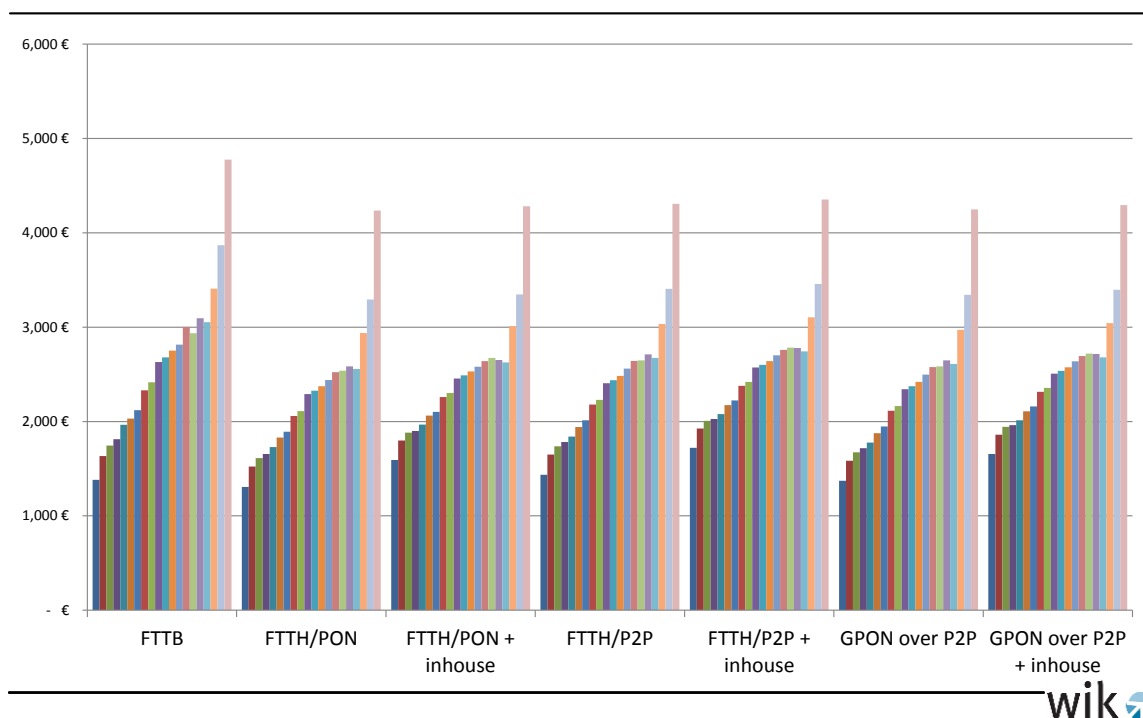
dass die spezifischen Investitionskosten z.B. bei der Kabelverlegung in den weniger besiedelten Clustern geringer sind.

Abbildung 4-7: Konzentration von Investition und Teilnehmer am Beispiel FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung



Die Investitionen pro Kunde unterscheiden sich zwischen dicht und dünn besiedelten Gebieten etwa um Faktor 3-5. Dies ist für alle Architekturvarianten in Abbildung 4-8 dargestellt.

Abbildung 4-8: Investitionen pro Kunde bei 70 % Penetration (Cluster 1-20)



Die Unterschiede im Investitionsvolumen der Architekturen sind relativ gering. Der Unterschied für einen nationalen Vollausbau zwischen FTTH/P2P und FTTH/PON beträgt gar nur etwa 5 % (bis zu 10 % bei Analyse einzelner Cluster). Tabelle 4-2 schlüsselt die Gesamtinvestitionen nach den 6 wichtigsten Komponenten auf, die zwischen 97-99 % aller Investitionen beschreiben. Dort sieht man, dass das passive Anschlussnetz vom ODF-Port im MPoP bis zur Abzweigmuße an der Straße vor dem Gebäude allein bereits zwischen $\frac{2}{3}$ und $\frac{3}{4}$ der Gesamtinvestition ausmacht. Die Unterschiede der absoluten Investitionen in dieses Segment sind zwischen den Architekturen sehr gering. Prinzipiell ist die Faserzahl der Kostentreiber für die Breite der Gräben: Je mehr Fasern erforderlich sind, desto breiter muss der Graben sein und umso höher sind die Investitionen. Insbesondere Im Feedersegment unterscheiden sich die Faserzahlen deutlich: P2P benötigt 1 Faser pro Kunde, PON 1 Faser für 64 Kunden und FTTB 1 Faser pro Gebäude (im Durchschnitt etwa 1 bis 4 Kunden pro Gebäude je nach Cluster). Da im Basisfall von einer Greenfieldverlegung ausgegangen wird, muss ein Graben in Standardgröße in jedem Fall gezogen werden. In den meisten Fällen ist dann das erhöhte Faseraufkommen von P2P nicht so groß, dass ein breiterer Graben als für die anderen Varianten gezogen werden muss. Aus diesem Grund, sind die Unterschiede beim Greenfieldansatz eher klein. Nimmt man noch den Gebäudeanschluss (und je nach Szenario die Inhausverkabelung) hinzu, so sind etwa 90 % der Gesamtinvestitionen praktisch für alle Architekturen identisch.

Tabelle 4-2: Aufschlüsselung der Investitionen nach wesentlichen Komponenten (in Mrd. €)

	FTTB	PON	PON + inhouse	P2P	P2P + inhouse	GPON over P2P	GPON over P2P + inhouse
Gesamtinvest (Mrd. €)	79.34 €	69.31 €	74.35 €	72.78 €	77.82 €	70.86 €	75.90 €
<i>FTTR*</i>	65 % 51.84 €	76 % 52.95 €	71 % 52.95 €	73 % 52.78 €	68 % 52.78 €	74 % 52.78 €	70 % 52.78 €
Gebäudeanschluss	14 % 11.18 €	16 % 11.18 €	15 % 11.18 €	15 % 11.18 €	14 % 11.18 €	16 % 11.18 €	15 % 11.18 €
Inhausverkabelung			7 % 5.04 €		6 % 5.04 €		7 % 5.04 €
FTTB - Mini DSLAM	14 % 10.96 €						
CPE	3 % 1.99 €	5 % 3.81 €	5 % 3.81 €	5 % 3.31 €	4 % 3.31 €	5 % 3.81 €	5 % 3.81 €
Aktive Technik MPoP	4 % 2.98 €	2 % 1.12 €	2 % 1.12 €	5 % 3.99 €	5 % 3.99 €	1 % 0.68 €	1 % 0.68 €
Rest**	0 % 0.39 €	0 % 0.26 €	0 % 0.26 €	2 % 1.52 €	2 % 1.52 €	3 % 2.41 €	3 % 2.41 €

Passives Netz

Aktives Netz

* Passives Netz vom kundenseitigen ODF-Port bis zur Abzweigmuffe an der Straße vor dem Gebäude.

** Rest: MPoP-Investitionen in Raum, netzseitige ODF-Ports, IPTV Plattform, Zentrale Splitter bei GPON over P2P.

Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass das passive Anschlussnetz von PON sogar minimal (<1 %) teurer ist als das der P2P Topologien. Hier wirken zwei entgegengesetzte Effekte: Bei P2P sind eine höhere Faserzahl im Feedersegment und insbesondere mehr ODF-Ports im MPoP vorzusehen als bei PON. Demgegenüber werden bei PON Splitter am Distribution Point gesetzt, während dies bei P2P nicht der Fall ist. Diese Effekte gleichen sich nahezu aus. Aufgewogen wird dies aber zu Gunsten von PON durch die deutlichen Einsparungen bei Investitionen in aktive Technik am MPoP; dort spart PON mehr als 70 % gegenüber P2P durch die Konzentration der Teilnehmer auf relativ wenige OLT Ports. Die Vorteilhaftigkeit von PON gegenüber P2P, gemessen rein an der Höhe nötiger Investitionen, entsteht also vor allem durch die aktive Technik in der Zentrale. Die hohen Investitionen bei FTTB (bei Vollausbau das höchste Investitionsvolumen) erklären sich trotz der Einsparungen bei den Glasfasern und ODF-Ports vollständig durch den Mini-DSLAM, d.h. durch den gegenüber den anderen Architekturen zusätzlichen aktiven Netzknoten im Keller der Gebäude. Die FTTB-Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt 4.2.1.2 noch einmal gesondert interpretiert.

Die Investition in den Gebäudeanschluss wurde in unserer bisherigen Rechnung vollständig dem Netzbetreiber zugerechnet. Sie stellt nach dem passiven Anschlussnetz

(FTTR) die zweitgrößte Komponente bei den Investitionen dar. Sofern der Hauseigentümer diese Investition (teilweise) selber trägt, würde sich das dem Netzbetreiber zugeordnete Investitionsvolumen deutlich (um rund 11 Mrd. €) reduzieren lassen. Gleiches gilt für die Inhausverkabelung (rund 5 Mrd. €).

Nimmt man eine Analyse der Kostenpositionen auf ähnliche Weise vor, so ergeben sich die in Tabelle 4-3 dargestellten Anteile dieser und weiterer Kostenpositionen.²⁹ Dadurch nimmt der auf Gesamtinvestitionen bezogene relative Anteil der meisten Positionen bei der Transformation in Kosten ab. Weil aktive Technik kürzer abgeschrieben wird als passive Netzelemente zeigt sich bei den Endgeräten, der aktiven Technik am MPoP und besonders beim Mini-DSLAM von FTTB ein Ansteigen ihres Anteils an den Gesamtkosten.³⁰ Letzterer steigt in der Bedeutung von 14 % Anteil an den Gesamtinvestitionen auf 23 % Anteil an den Gesamtkosten. Die wichtigsten Kostenelemente der FTTH-Architekturen sind das passive Anschlussnetz ("FTTR"), der Gebäudeanschluss, das Endgerät und danach das Kern- und Konzentrationsnetz. Bei P2P hat die aktive Technik am MPoP einen vergleichbaren Stellenwert wie das Kern- und Konzentrationsnetz. Bei den anderen Architekturen resultiert aus der geringeren Portzahl ein geringerer Kostenanteil der Switches und OLTs.

Tabelle 4-3: Anteile an den monatlichen Gesamtkosten bei 70 % Penetration

	FTTB	PON	PON + inhouse	P2P	P2P + inhouse	GPON over P2P	GPON over P2P + in-house
FTTR	41 %	54 %	51 %	51 %	48 %	53 %	51 %
Mini DSLAM	23 %						
Retail	10 %	13 %	13 %	12 %	12 %	13 %	12 %
Gebäudeanschluss	8 %	11 %	11 %	10 %	10 %	11 %	11 %
Endgerät	4 %	10 %	10 %	8 %	8 %	10 %	9 %
Aktive Technik MPoP	5 %	2 %	2 %	8 %	8 %	2 %	1 %
Kern- und Konzentrationsnetz	7 %	9 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %
Inhausverkabelung			5 %		5 %		5 %
Sonstiges*	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	3 %	3 %

* Sonstige Kosten sind der netzseitige ODF-Port inkl. Patchkabel (jeweils etwa die Hälfte des verbleibenden Kostenanteils), Raumkosten für aktive Technik im MPoP, Energie der aktiven Technik am MPoP, sowie die zentralen Splitter im MPoP bei GPON over P2P.

²⁹ In Tabelle 4-2 sind nur Investitionsgrößen dargestellt. In Tabelle 4-3 kommen weitere Kostengrößen hinzu, nämlich Retailkosten, Kern- und Konzentrationsnetz, Energie, sowie Raummieten.

³⁰ Der Anteil der aktiven Technik bei PON steigt um nahezu 1 %-Punkt an (von 1,61 % Anteil an Gesamtinvestitionen auf 2,49 % Anteil an Gesamtkosten). In der Darstellung ohne Dezimalstellen ist dies jedoch nicht sichtbar.

4.2.1.2 Profitabilität und Reichweite bei fixiertem ARPU in Höhe von 38 €

Bislang haben wir noch keine Ergebnisse dargestellt, für die ein spezifischer ARPU angenommen werden musste. Um die Ergebniskomplexität weiter zu reduzieren ist in Tabelle 4-4 die kritische Penetrationsrate angegeben, bei der die monatlichen Gesamtkosten pro Kunde einem ARPU von 38 € gleichen. Cluster, deren kritische Penetrationsraten kleiner oder gleich 70 % sind, wurden grün eingefärbt. Diese Cluster werden als profitabel angesehen. Sofern die kritische Penetrationsrate über 70 % liegt, wurde die entsprechende Zelle rot eingefärbt, um zu signalisieren, dass wir einen Ausbau in diesem Cluster nicht mehr für profitabel ansehen; hält man nur 60 % Penetration für plausibel, kann die Grenze gedanklich bereits bei 60 % gezogen werden. Allen Architekturen ist gemein, dass die profitable Reichweite weniger als die Hälfte aller Cluster beträgt und selbst im dichtesten Cluster bereits hohe Penetrationsraten von 40 % bis über 50 % benötigt werden.

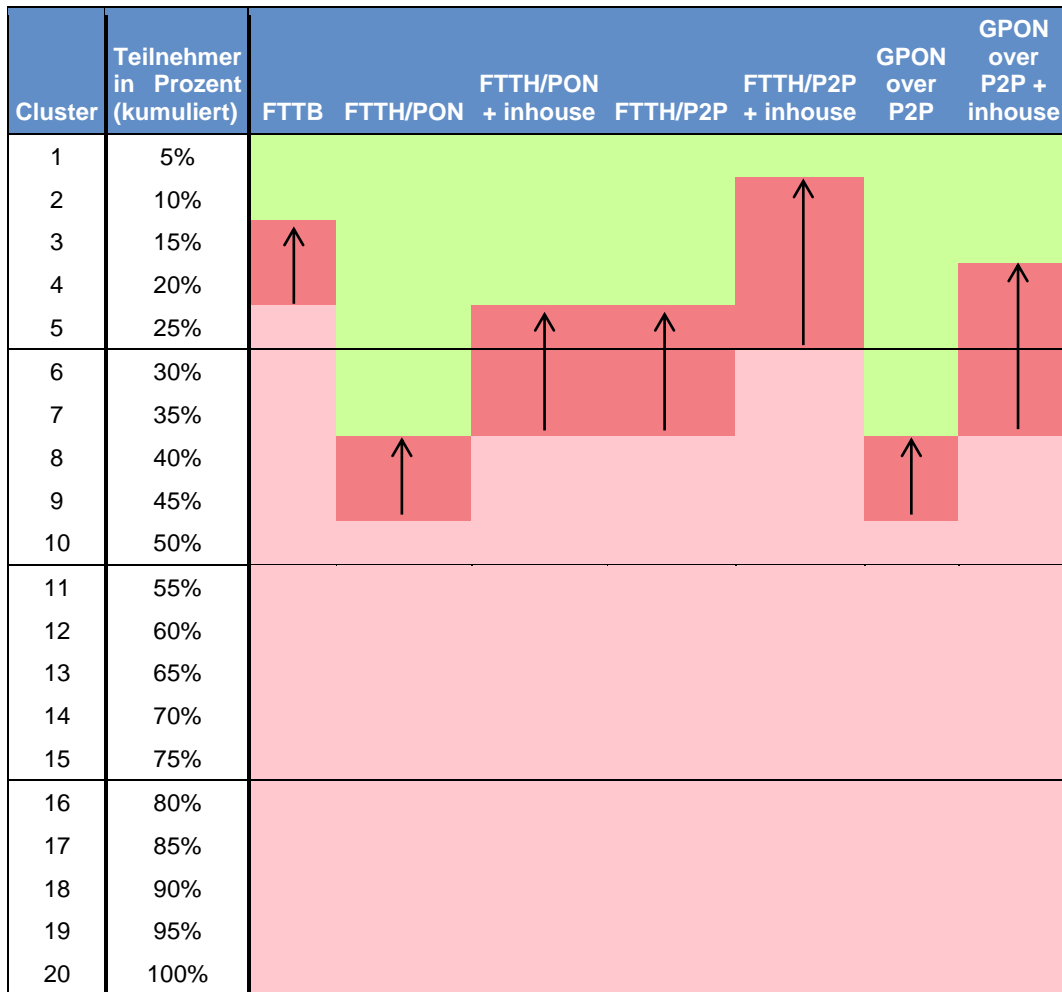
Betrachten wir im Detail zunächst nur die FTTH Varianten: Weil FTTH/PON kostengünstiger als FTTH/P2P ist, ergeben sich im direkten Vergleich zweier Cluster niedrigere kritische Penetrationsraten und die Reichweite ist insgesamt größer. Interessant ist, dass GPON over P2P nur geringfügig höhere Kosten als FTTH/PON aufweist und daher sehr ähnliche kritische Penetrationsraten benötigt. Die Reichweite ist sogar identisch. Aus unserer Perspektive ist dies ein weiteres Argument dafür, in passive Punkt-zu-Punkt Topologie zu investieren, um die größtmögliche Flexibilität für die Zukunft zu erhalten. Bei Einbezug der Inhausverkabelung in die Kostenrechnung (und Beibehaltung des ARPUs) steigen die kritischen Penetrationsraten und die Reichweite geht um zwei Cluster zurück.

Tabelle 4-4: Kritische Penetrationsraten je Cluster bei ARPU von 38 €

Cluster	Teilnehmeranteil an DE (kumuliert)	FTTB	FTTH/PON	FTTH/PON + inhouse	FTTH/P2P	FTTH/P2P + inhouse	GPON over P2P	GPON over P2P + inhouse
1	5 %	51 %	40 %	47 %	45 %	54 %	40 %	48 %
2	10 %	61 %	47 %	55 %	53 %	63 %	48 %	56 %
3	15 %	65 %	50 %	58 %	56 %	67 %	51 %	59 %
4	20 %	68 %	51 %	58 %	58 %	67 %	52 %	60 %
5	25 %	75 %	54 %	61 %	60 %	70 %	54 %	62 %
6	30 %	78 %	57 %	65 %	64 %	75 %	58 %	66 %
7	35 %	82 %	59 %	67 %	68 %	78 %	61 %	69 %
8	40 %	92 %	66 %	73 %	75 %	86 %	67 %	76 %
9	45 %	97 %	68 %	75 %	77 %	88 %	69 %	78 %
10	50 %		75 %	82 %	86 %	96 %	77 %	85 %
11	55 %		76 %	83 %	87 %	97 %	78 %	86 %
12	60 %		78 %	86 %	90 %	100 %	80 %	88 %
13	65 %		81 %	87 %	93 %		83 %	91 %
14	70 %		85 %	91 %	99 %		88 %	95 %
15	75 %		86 %	93 %	99 %		88 %	96 %
16	80 %		91 %	94 %			95 %	99 %
17	85 %		91 %	94 %			95 %	99 %
18	90 %							
19	95 %							
20	100 %							

Die kritische Penetrationsrate und die profitable Reichweite hängen entschieden vom ARPU ab. Tabelle 4-5 zeigt den Effekt einer ARPU-Senkung von 38 € auf 35 € auf die profitable Reichweite. In der Tabelle sind die nicht profitablen Cluster rot hervorgehoben. Diejenigen Cluster, die bei 38 € noch profitabel, aber bei 35 € ARPU nicht mehr profitabel sind, wurden dunkelrot eingefärbt. Der Effekt ist relativ drastisch und kostet je nach Architektur zwischen 2 und 4 Clustern an Reichweite (10 % bis 20 % aller Anschlüsse).

Tabelle 4-5: Effekt einer ARPU-Senkung von 38 € auf 35 € auf die profitable Reichweite



FTTB schneidet im Vergleich zu FTTH schlecht ab. Das liegt daran, dass für jedes Gebäude ein Mini DSLAM vorgesehen ist. Bei hoher Dichte von Teilnehmern pro Gebäude erzielt FTTB jedoch gegenüber FTTH mit Inhausverkabelung deutliche Vorteile, da sich die Kosten des Mini DSLAMs auf alle Kunden im Gebäude verteilen und keine Kosten für eine neue Inhausverkabelung notwendig sind. Die besonderen Vorteile von FTTB gegenüber FTTH zeigen sich also insbesondere in Ausbaugebieten mit einer besonders hohen Haushaltszahl pro Gebäude. Dieser Effekt geht bei unserer Verwendung "relativ großer" Cluster verloren.

Statt eines solchen "Cherry picking" dicht besiedelter Straßenabschnitte wurde in dieser Studie ein Vollausbau unterstellt (einerseits der individuellen Cluster und andererseits von ganz Deutschland). Durch die Durchschnittswertbildung haben wir selbst im ersten Cluster nur etwas mehr als 4 Teilnehmer pro Gebäude. Ab Cluster 10 ist die durchschnittliche Zahl der Kunden pro Gebäude bereits unter 2. Das ist ein guter Indikator dafür, warum FTTB in unseren Ergebnissen eine so geringe Reichweite erreicht. Bei

FTTB ist zwar keine Inhausglasfaserverkabelung notwendig, aber es fallen Investitionen für aktive Technik im Keller an, welche deutlich kürzer abgeschrieben wird als die passive Verkabelung. Vergleicht man FTTB mit FTTH ohne Inhausverkabelung, so sind nahezu identische Kosten des passiven Anschlussnetz bis zum Gebäude festzustellen (siehe Tabelle 4-2), denn jedes Gebäude wird angegraben, aber FTTB erfordert zusätzlich den Mini DSLAM. Da sich diese Kosten dann nur wenige Kunden teilen, ist der DSLAM eine kritische Kostenkomponente, die den Business Case für FTTB in unserer Vollausbauerspektive mit Durchschnittsgebäuden weitgehend untragbar macht. Dies ist kompatibel mit der Beobachtung, dass FTTB heute in einigen Städten selektiv in Anschlussbereichen mit hoher Kundenzahl pro Gebäude ausgerollt wird.

Im ländlicheren Bereich, wo Einfamilienhausbebauungen dominieren, erreicht man durch das Angraben eines Gebäudes effektiv bereits die Anbindung der Wohnung mit Glasfaser. Gewissermaßen wird dann aus FTTB ein FTTH Anschluss, denn eine zusätzliche, aufwändige Inhausverkabelung entfällt.³¹ Weil die Architekturen in unserem Modell nicht clusterabhängig angepasst werden können, wird rechnerisch auch in Cluster 20 ein DSLAM pro Gebäude gesetzt. In der Realität würde der Netzbetreiber dies jedoch nicht machen. Der Informationsgehalt der Spalte FTTB ist daher in den ländlichen Gegenden gering, bzw. die Ergebnisse müssten entsprechend korrigiert betrachtet werden.

4.2.2 Sensitivität mit ausgewählten Kostensteigerungen bei FTTH/P2P

Die für die Kostenentwicklung bereits vorgenommene Sensitivitätsrechnung mit höheren Investitionen für die Hausanschlussleitung, Endgeräte und ohne Luftverkabelung (Abschnitt 4.1.2) wird an dieser Stelle auch für Investitionsvolumina und kritische Penetrationsraten gezeigt. Das Investitionsvolumen für einen Vollausbau und 70 % Penetration steigt bei dieser Variante um rund 4 % von 72.78 Mrd. € auf 76.04 Mrd. €.

Die kritischen Penetrationsraten steigen, wobei die Zunahme mit abnehmender Teilnehmerdichte immer stärker ausfällt. Scharf gerechnet nimmt die Profitabilität um einen Cluster ab, wenn 70 % als Obergrenze unterstellt wird. Wird nur eine maximale Penetration von 60 % als erreichbar erachtet, dann sinkt die Reichweite von 4 Clustern sogar auf nur noch zwei Cluster, da die Kostenfunktion im relevanten Bereich sehr flach verläuft und eine Änderung der Kosten um wenige Prozent eine relativ große Änderung der erforderlichen Penetration anstößt (siehe Abbildung 4-1 und Abbildung 4-3).

³¹ Wir gehen davon aus, dass ein FTTH Anschluss an genau *einem* Punkt in der Wohnung des Kunden endet. Für die Verteilung des Signals in den verschiedenen Räumen ist es dem Kunden überlassen, ob er eine eigene Verkabelung vornimmt, oder WLAN-Lösungen einsetzt. Im Mehrfamilienhaus ist die Realisierung von FTTH daher aufwändiger als im Einfamilienhaus, wo praktisch mit dem Mauerdurchbruch die Verantwortung der Verteilung des Signals auf den Kunden übergeht.

Tabelle 4-6: Kritische Penetrationsraten FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung: Base Case und Sensitivität

Cluster	Teilnehmer in Prozent (kumuliert)	P2P	P2P alternativ ³²
1	5 %	45 %	48 %
2	10 %	53 %	57 %
3	15 %	56 %	61 %
4	20 %	58 %	62 %
5	25 %	60 %	65 %
6	30 %	64 %	70 %
7	35 %	68 %	74 %
8	40 %	75 %	82 %
9	45 %	77 %	85 %
10	50 %	86 %	95 %
11	55 %	87 %	97 %
12	60 %	90 %	100 %
13	65 %	93 %	
14	70 %	99 %	
15	75 %	99 %	
16	80 %		
17	85 %		
18	90 %		
19	95 %		
20	100 %		

Die Kosten pro Kunde und Monat steigen gegenüber dem Basis Szenario deutlich an. Dabei führen die Erhöhungen der Investitionsparameter für Hauszuführung, Endgeräte und Luftverkabelung nur zu moderaten Steigerungen der monatlichen Gesamtkosten je Anschluss. Der deutlich größere Effekt geht hingegen von der Reduktion der Penetration aus. Dies sieht man auch an der Senkung der Reichweite (vgl. Tabelle 4-7).

³² Die Änderungen umfassten:

- Investitionen für Tiefbau, Rohr, Kabel und Installation für den Hausanschluss 40 € statt 30 € pro Meter
- Endgerät 125 € statt 100 €
- Keine Luftverkabelung statt jeweils 5 % Luftkabelanteil in den letzten fünf Clustern

Tabelle 4-7: Gesamtkosten pro Kunde und Monat: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung

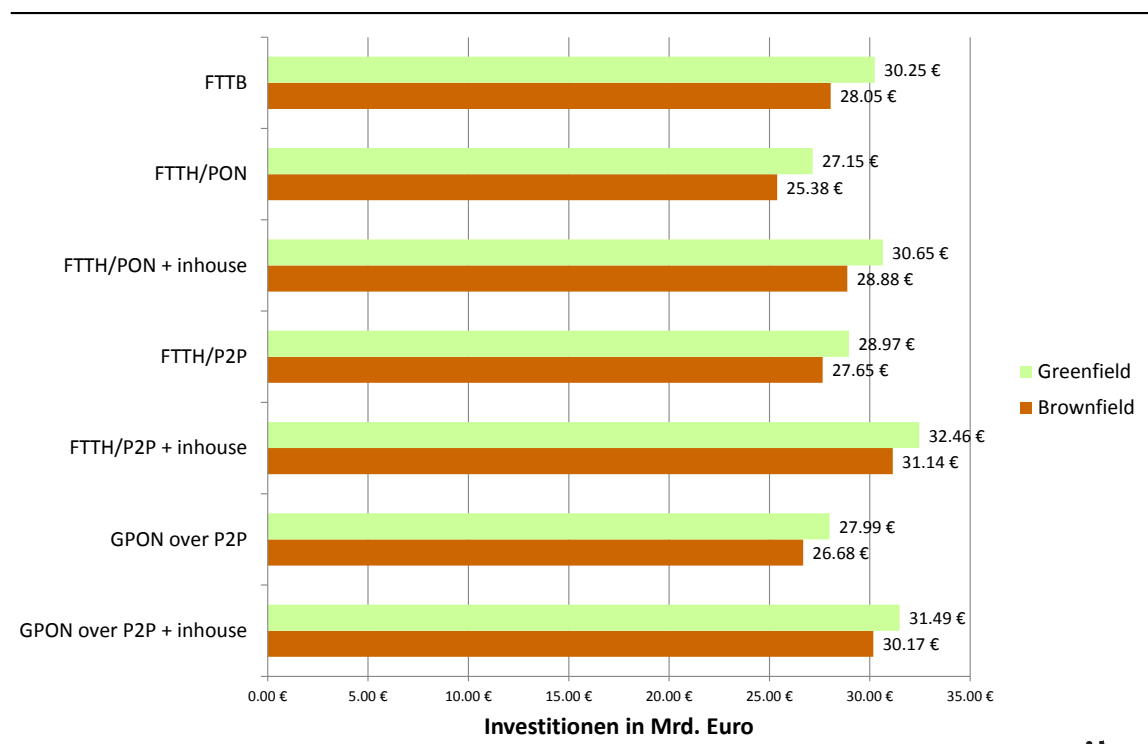
Cluster	P2P bei 70 %	P2P alternativ bei 70 %	Differenz	P2P alternativ bei 60 %	Differenz
1	30.40 €	31.75 €	1.35 €	33.93 €	3.52 €
2	32.84 €	34.24 €	1.40 €	36.78 €	3.94 €
3	33.90 €	35.32 €	1.42 €	38.02 €	4.12 €
4	34.31 €	35.81 €	1.50 €	38.53 €	4.21 €
5	35.03 €	36.58 €	1.55 €	39.38 €	4.35 €
6	36.26 €	37.85 €	1.60 €	40.82 €	4.56 €
7	37.17 €	38.78 €	1.60 €	41.88 €	4.71 €
8	39.20 €	40.89 €	1.69 €	44.26 €	5.06 €
9	39.84 €	41.56 €	1.72 €	45.01 €	5.17 €
10	42.00 €	43.80 €	1.80 €	47.56 €	5.56 €
11	42.40 €	44.21 €	1.81 €	48.03 €	5.62 €
12	43.04 €	44.88 €	1.85 €	48.77 €	5.74 €
13	43.95 €	45.86 €	1.90 €	49.88 €	5.92 €
14	45.06 €	47.11 €	2.04 €	51.19 €	6.13 €
15	45.23 €	47.24 €	2.01 €	51.40 €	6.18 €
16	47.00 €	49.05 €	2.06 €	53.43 €	6.43 €
17	46.76 €	48.90 €	2.14 €	53.22 €	6.45 €
18	51.39 €	53.65 €	2.26 €	58.68 €	7.29 €
19	56.45 €	58.83 €	2.38 €	64.61 €	8.15 €
20	69.30 €	71.99 €	2.69 €	79.74 €	10.44 €

In Cluster 3 steigen beispielsweise die monatlichen Kosten pro Kunde im Alternativszenario gegenüber dem Basisfall um 1.43 € auf 35.32 €. Der Cluster ist bei einem ARPU von 38 € und bei einer Penetration von 70 % damit profitabel. Nimmt man zusätzlich eine geringere Penetrationsrate von 60 % an, dann steigen die Kosten insgesamt um 4.12 € auf 38.02 €. Dadurch sind die Kosten gerade höher als der ARPU. Der Einzeleffekt durch die Penetrationsratensenkung ist in Cluster 3 mit 2.70 € fast doppelt so hoch wie die Kostensteigerung. Mit abnehmender Teilnehmerdichte nimmt der Anteil der Penetrationsratensenkung am Gesamtkosteneffekt zu.

4.2.3 Brownfield Sensitivität

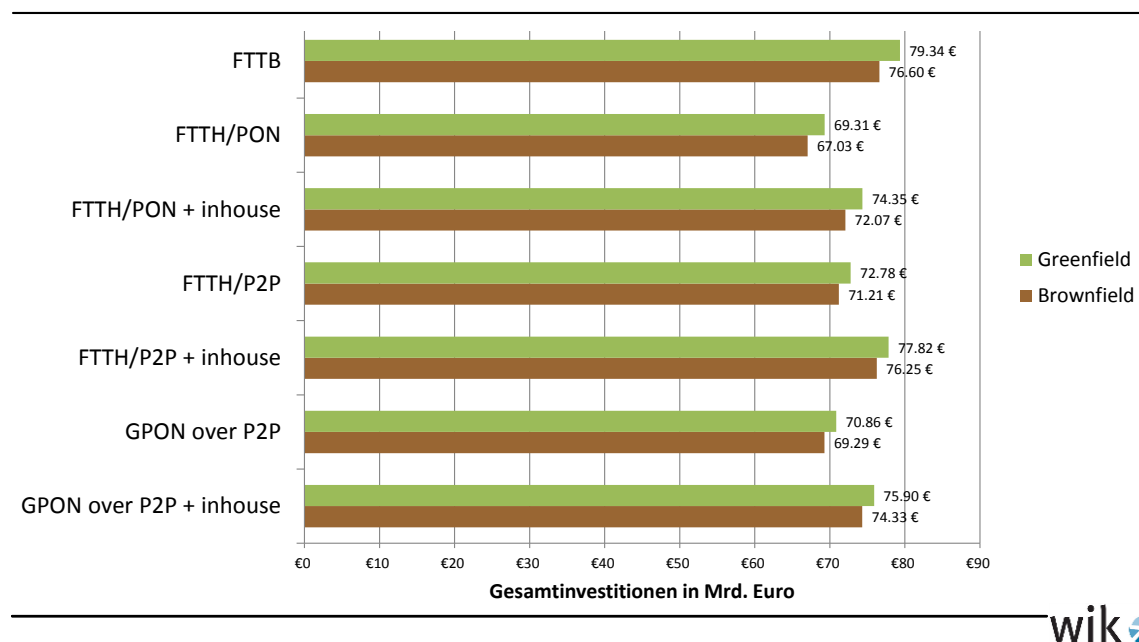
Im Brownfield Fall ergeben sich aufgrund des unterschiedlichen Verrohrungsgrades in den dichten Clustern stärkere Verminderungen des Investitionsvolumens als in weniger dichten Clustern. In der Summe aus Cluster 1-10 sinken die Investitionen bei PON von 27.2 Mrd. € um 1.8 Mrd. € auf 25.4 Mrd. € (7 %). Bei P2P beträgt die Veränderung 5 %. Dies ist für alle Architekturen in Abbildung 4-9 dargestellt.

Abbildung 4-9: Investitionen für Gesamtausbau als Greenfield und Brownfield (Cluster 1-10)



In der Gesamtsicht von Cluster 1-20 sinken die Investitionen bei PON von 69.3 Mrd. € um 2.3 Mrd. € auf 67 Mrd. € (3 %). Bei P2P beträgt die Veränderung 2 %. Es ergeben sich insgesamt eher geringfügige Verminderungen des Investitionsbedarfs für einen Vollausbau (siehe Abbildung 4-10), da sich annahmegemäß gerade in den weniger dichten Clustern praktisch kein Einsparpotenzial aus der Mitnutzung existierender Röhrenkabel des Kupfernetzes besteht. Folgerichtig sinken die Investitionen nur um wenige Prozentpunkte.

Abbildung 4-10: Investitionen für Gesamtausbau als Greenfield und Brownfield (Cluster 1-20)



Gegenüber dem Greenfield-Fall (Tabelle 4-4) sinken die kritischen Penetrationsraten entsprechend um wenige Prozentpunkte (Tabelle 4-8). In drei Fällen werden dadurch marginale Cluster gerade profitabel, weil die kritischen Penetrationsraten, bei denen die monatlichen Gesamtkosten unter 38 € pro Kunde liegen, nun statt etwas über 70 % bei genau 70 % bzw. 69 % liegen (in Tabelle 4-8 grün hervorgehoben). Streng genommen wird dadurch die Reichweite der Profitabilität vergrößert, was der Notwendigkeit einer harten Grenzziehung geschuldet ist. Insgesamt sind die Potenziale einer Reichweiten-erhöhung bzw. Ausdehnung der Profitabilität durch Brownfield jedoch eher begrenzt.

Tabelle 4-8: Kritische Penetrationsraten im Brownfieldfall

Cluster	Teilnehmer in Prozent (kumuliert)	FTTB	FTTH/PON	FTTH/PON + inhouse	FTTH/P2P	FTTH/P2P + inhouse	GPON over P2P	GPON over P2P + inhouse
1	5 %	46%	36%	42%	41%	49%	37%	43%
2	10 %	55%	42%	49%	48%	57%	43%	51%
3	15 %	60%	45%	53%	52%	62%	47%	55%
4	20 %	63%	47%	53%	53%	62%	48%	55%
5	25 %	69%	49%	56%	56%	65%	50%	58%
6	30 %	73%	53%	60%	60%	70%	54%	62%
7	35 %	78%	55%	62%	64%	74%	58%	65%
8	40 %	88%	62%	69%	72%	82%	64%	73%
9	45 %	93%	64%	71%	75%	85%	67%	75%
10	50 %	0%	72%	79%	83%	93%	75%	83%
11	55 %	0%	74%	81%	86%	96%	77%	85%
12	60 %	0%	76%	84%	89%	99%	79%	87%
13	65 %	0%	79%	86%	93%	0%	83%	90%
14	70 %	0%	83%	89%	98%	0%	87%	94%
15	75 %	0%	84%	91%	98%	0%	88%	95%
16	80 %	0%	90%	93%	0%	0%	94%	98%
17	85 %	0%	90%	93%	0%	0%	94%	98%
18	90 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
19	95 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
20	100 %	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Für GPON und P2P stellt Tabelle 4-9 die Ergebnisse von Greenfield und Brownfield beispielhaft zur besseren Lesbarkeit direkt gegenüber.

Tabelle 4-9: Vergleich von kritischen Penetrationsraten bei Greenfield und Brownfield am Beispiel von GPON und P2P

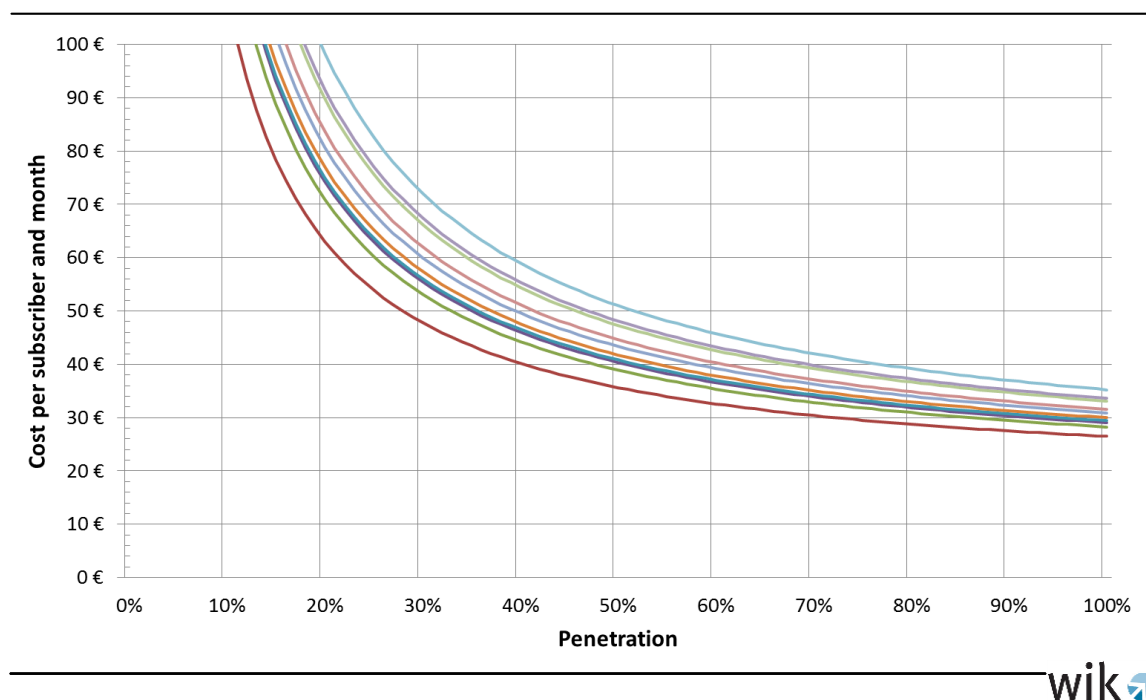
Cluster	Teilnehmer in Prozent (kumuliert)	FTTH/PON	FTTH/PON Brownfield	FTTH/P2P	FTTH/P2P Brownfield
1	5%	40%	36%	45%	41%
2	10%	47%	42%	53%	48%
3	15%	50%	45%	56%	52%
4	20%	51%	47%	58%	53%
5	25%	54%	49%	60%	56%
6	30%	57%	53%	64%	60%
7	35%	59%	55%	68%	64%
8	40%	66%	62%	75%	72%
9	45%	68%	64%	77%	75%
10	50%	75%	72%	86%	83%
11	55%	76%	74%	87%	86%
12	60%	78%	76%	90%	89%
13	65%	81%	79%	93%	93%
14	70%	85%	83%	99%	98%
15	75%	86%	84%	99%	98%
16	80%	91%	90%		
17	85%	91%	90%		
18	90%				
19	95%				
20	100%				

4.3 Zwischenfazit

Die in diesem Kapitel dargelegten Analysen haben gezeigt, dass ein Vollausbau von FTTH nur für ein Gebiet mit weniger als der Hälfte der deutschen Teilnehmer profitabel ist. Je nachdem, ob man die Kosten der Inhausverkabelung hinzunimmt, ist der Business Case sogar nur für gut $\frac{1}{4}$ der deutschen Teilnehmer (in den besonders dichten Clustern Deutschlands) profitabel.

Die auf der neu zu errichtenden Plattform erreichte Auslastung zählt zu den Schlüsselfaktoren, die über die Profitabilität entscheiden. Die Analyse des Verlaufs der Kostenfunktion macht deutlich, dass es den Netzbetreibern gelingen *muss*, hohe Penetrationsraten zu erreichen. Andernfalls ist der Business Case nicht profitabel. Um zu Gesamtkosten von unter 40 € pro Kunde und Monat zu produzieren, ist selbst in den meisten dichteren Clustern eine Penetration von mehr als 50 % erforderlich.

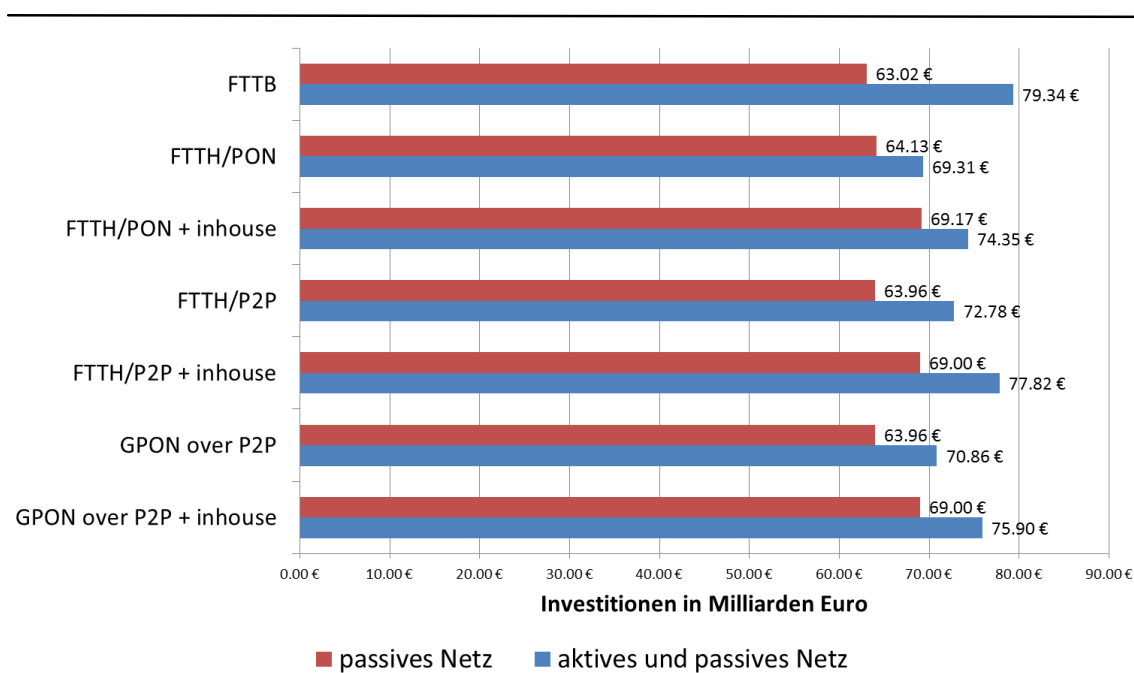
Abbildung 4-11: Monatliche Kosten pro Kunde bei unterschiedlicher Penetration (für Cluster 1-10), FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung



Besonders das passive Anschlussnetz ist durch hohe Fixkosten gekennzeichnet, die weitgehend unabhängig von der tatsächlichen Penetration aufzubringen sind und die in der Regel mehr als 70 % der Investitionen darstellen (siehe Tabelle 4-2). Beim passiven Anschlussnetz gibt es weiterhin bei einer Greenfieldbetrachtung nur wenige Kostenunterschiede zwischen den Architekturen, weil unabhängig von der Topologie stets Tiefbaukosten anfallen. Gerade die Tiefbauarbeiten sind der größte Kostentreiber beim Netzausbau. Abbildung 4-12 zeigt neben den Gesamtinvestitionen auch die reinen In-

vestitionen in das passive Anschlussnetz, d. h. die Inhausverkabelung, die Gebäudeanschlussleitung und das FTTR-Netz, also das Netz von der Abzweigmuße an der Straße vor dem Gebäude bis zum ODF im MPoP.

Abbildung 4-12: Gesamtinvestitionen für den Aufbau und Betrieb bei 70 % Penetration (in Milliarden Euro)



Es sei gedanklich unterstellt, dass es eine Zahlungsbereitschaft der Endkunden (und damit auch der Wholesale Nachfrager) von 5 € für höhere Bandbreiten gibt.³³ Verglichen mit dem zurzeit gültigen Preis für die Kupferanschlussleitung von etwa 10 €³⁴ ergäbe sich eine Zahlungsbereitschaft von Wholesale Nachfragern für eine unbeschaltete Glasfaser von etwa 15 €. Selbst in unseren Basisannahmen mit 70 % NGA-Penetration ergeben sich nur in wenigen dichten Clustern monatliche Kosten des passiven Anschlussnetzes von weniger als 15 €. Ist die Auslastung hingegen geringer, steigen die Kosten des passiven Glasfaseranschlusses deutlich.

Wir nehmen in dieser Studie wenig Bezug auf Leistungsmerkmale von Technologien. Zweifelsohne sind P2P-Topologien kurz- wie langfristig in der Lage, den Kunden mehr und flexiblere Bandbreite anzubieten. Darüber hinaus bieten sie die Möglichkeit einer Entbündelung am MPoP, welcher einer physischen Entbündelung am Distribution Point (nur diese ist in Punkt-zu-Multipunkt Topologien möglich) ökonomisch weit überlegen ist.³⁵ Vor diesem Hintergrund halten wir es für angezeigt, die geringen Kostenunter-

³³ Hoffmann (2010).

³⁴ Ohne Berücksichtigung von Einmalentgelten.

³⁵ Zur schwierigen ökonomischen Abbildbarkeit der Entbündelung am KVz siehe z.B. Analysys (2007).

schiede zwischen dem GPON-Szenario und dem GPON over P2P Konzept hervorzuheben. So lässt sich eine zukunftssichere Glasfasertopologie in Deutschland implementieren, welche kurz bis mittelfristig mit GPON-Technik beleuchtet werden kann, aber sich langfristig weder höheren Bandbreitenanforderungen der Zukunft noch einem Wettbewerb auf Basis von "echter" Entbündelung verschließt. In Deutschland gibt es bereits Netzbetreiber, die diesen Ansatz für ihr FTTH-Netz implementiert haben und wir halten dies für den richtigen Weg.

Alle Ergebnisse der Kostenrechnung und die Aussagen zur Profitabilität und Reichweite sind stets vor dem Hintergrund eines Vollausbau zu interpretieren. Ein Investor, der straßenabschnittsweise Gebäude erschließt (und andere auslässt), nimmt eine wesentlich kleinteiligere Clusterung vor, als wir sie unseren Rechnungen zugrunde gelegt haben. Solch ein Investor wird zu günstigeren Kosten pro Kunde produzieren, niedrigere Penetrationsraten benötigen und seine Reichweite auch in die dichten Gebiete anderer Cluster ausdehnen können. Das gilt für alle Architekturen, aber besonders für FTTB, welche sich im direkten Vergleich mit FTTH aufgrund der Durchschnittsbildung in unserer Rechnung relativ schlechter stellt.

Dennoch spiegelt der hier unterstellte Vollausbau zum einen marktliche Erfordernisse wider, denn mindestens in den dichteren Clustern werden Netzbetreiber *langfristig* die komplette Substitution des Kupfernetzes anstreben müssen; zum einen um Kosten eines Parallelbetriebs zu sparen und zum anderen, um einheitlicher vermarkten zu können. Auf der anderen Seite ist es ja gerade das Ziel von Breitbandstrategien, hohe Bandbreiten möglichst flächendeckend zur Verfügung zu stellen. Im folgenden Kapitel analysieren wir die Finanzierungslücke in den nicht profitabel versorgbaren Clustern, die geschlossen werden muss, um dem Ziel der Flächendeckung zu entsprechen.

5 Erfordernisse eines flächendeckenden Glasfaserausbaus

In diesem Kapitel analysieren wir drei Optionen, wie ein flächendeckender Glasfaserausbau realisiert werden kann. Die erste Option ist eine Anpassung der Endkundenpreise. Die zweite Option ist eine interne Subventionierung von defizitären Clustern durch die Gewinne profitabler Cluster. Die letzte Option ist die Übernahme von Investitionskosten entweder durch die Endnutzer oder durch externe Zuschüsse.

Die Vorgehensweise und detaillierte Ergebnisse werden für FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung gezeigt und zwar zunächst für das Basis Szenario (Kapitel 5.1) und dann für Sensitivitäten (Kapitel 5.2). Die anderen Varianten werden danach summarisch dargestellt (Kapitel 5.3).

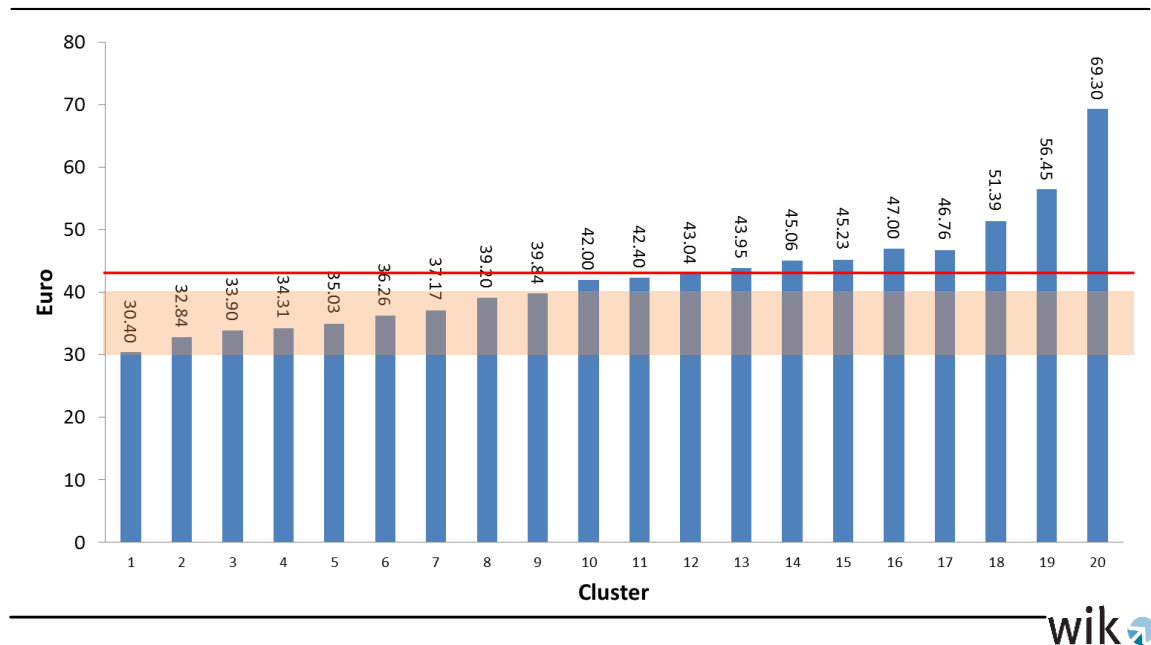
5.1 Basis Szenario am Beispiel von FTTH / P2P ohne Inhausverkabelung

5.1.1 Preise

Der erste Anhaltspunkt sind die Kosten pro Kunde und Monat, die je nach Cluster unterschiedlich hoch sind. Würde man clusterspezifische Preise festlegen, die sich an diesen Kosten orientieren, dann lägen sie je nach Cluster zwischen 30 € und 70 €. Diese Kosten pro Kunde und Monat bei 70% Penetration sind in Abbildung 5-1 dargestellt. Würde jeder Nutzer einen kostenorientierten Preis in jedem Cluster zahlen, ließe sich auf dieser Basis ein flächendeckender Ausbau darstellen. Will man sich hingegen an den durchschnittlichen Kosten orientieren, um einen national einheitlichen Preis festzulegen, so müsste dieser bei etwa 43 € festgesetzt werden (rote Linie in Abbildung 5-1).

In Abbildung 5-1 ist wiederum das Band zwischen 30 € und 40 € hervorgehoben, in dem vermutlich ein generisches, einheitliches ARPU-Niveau anzusiedeln ist. Abhängig vom unterstellten ARPU kann clusterindividuell festgestellt werden, in welcher Höhe jeder Kunde ein zusätzliches Entgelt leisten muss. Bei einem ARPU von 40 € müsste man beispielweise ab Cluster 10 bezuschussen. Die Höhe des Betrages, den die Kunden zusätzlich zum einheitlichen ARPU von 40 € bezahlen müssen, liegt in diesem Fall zwischen 2 € (Cluster 10) und 29 € (Cluster 20) pro Monat. Bei einem ARPU von 30 € hingegen müssten Kunden aller Cluster bezuschusst werden und zwar von wenigen Eurocent (Cluster 1) bis 39 € (Cluster 20) pro Monat.

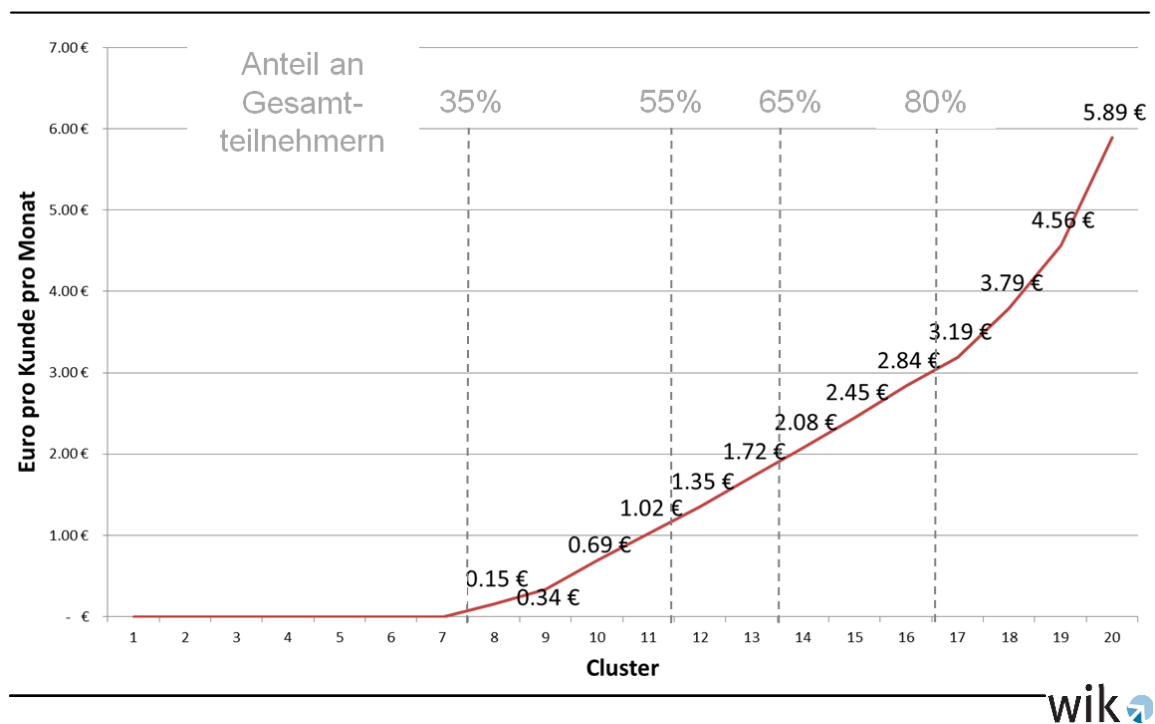
Abbildung 5-1: Kosten pro Kunde und Monat bei 70 % Penetration: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung



Für die weitere Vorgehensweise nehmen wir einen ARPU von 38 € an. Lässt man dem Betreiber die Gewinne, die er bei einem ARPU in dieser Höhe in profitablen Clustern erzielt, dann steigt der einheitliche Preis zur profitablen Vollversorgung auf etwa 44 €. Jeder der rund 30 Millionen Kunden (70 % von 43 Millionen Teilnehmern) zahlt dann zusätzlich jeden Monat etwa 6 € zur Subvention der Kunden in weniger dichten Gebieten.

In Abbildung 5-2 ist die notwendige monatliche Preiserhöhung dargestellt, die für den Ausbau bis in das betrachtete Cluster nötig ist. Da Cluster 1 bis 9 eigenständig profitabel sind, ist der Wert dort Null. Mit 1 € Preiserhöhung für alle Kunden erreicht man 55 % der Teilnehmer, mit 2 € 65 % und mit 3 € 80 %. Um die letzten drei Cluster auch noch zu erreichen, ist eine Verdoppelung auf fast 6 € nötig.

Abbildung 5-2: Notwendige monatliche Preissteigerung für alle Kunden bei sukzessivem Ausbau bis zum betrachteten Cluster: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung bei 70 % Penetration und 38 € Basis-ARPU



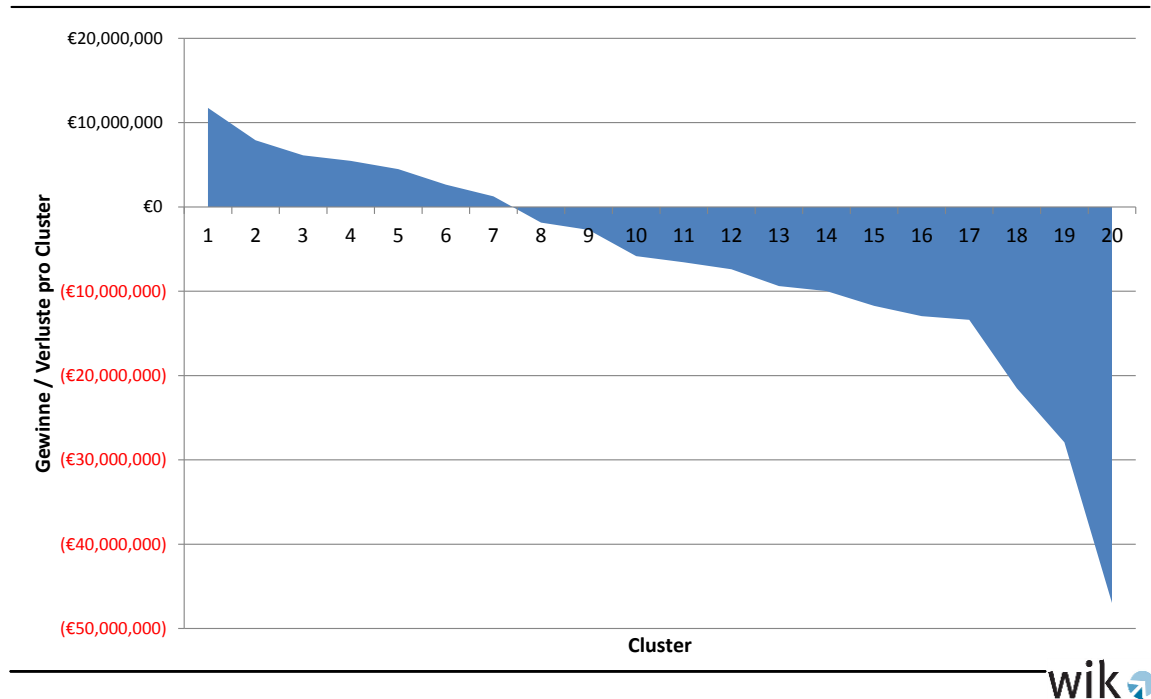
Anstatt die Defizite auf die hier betrachteten 70 % der NGA-Anschlüsse umzulegen, könnte man im Rahmen eines modifizierten Universaldienstansatzes zur Finanzierung zusätzlich auch noch Breitbandkabel und Mobilfunkanschlüsse einbeziehen.³⁶ Neumann (2010) führt dazu 3 Millionen Breitbandkabel und 110 Millionen Mobilfunkanschlüsse an. Unter Einbezug von insgesamt 143 Millionen Anschlüsse läge eine solche Abgabe bei etwa 1,25 € pro Monat zur Deckung der Kosten eines Vollausbaus. Allerdings stellt sich beim Mobilfunksegment die Frage, wie eine solche Abgabe auf Prepaidkunden anzuwenden wäre.

5.1.2 Interne Subventionierung defizitärer Cluster

In Abbildung 5-3 stellen die Flächen Gewinn und Verlust pro Cluster und Monat dar. Wie in Abschnitt 4.2 gezeigt, ist die Grenze der Profitabilität im Basis-Szenario für FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung der Cluster 7. Alle weiteren Cluster sind defizitär, was sich in Flächen unterhalb der horizontalen Achse widerspiegelt. Die Summe der Gewinne in den ersten 7 Clustern reicht bei weitem nicht aus, um die Verluste aller defizitären Cluster auszugleichen.

³⁶ Vgl. Neumann (2010).

Abbildung 5-3: Monatlicher Gewinn und Verlust pro Cluster: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung, 38 € ARPU, 70 % Penetration

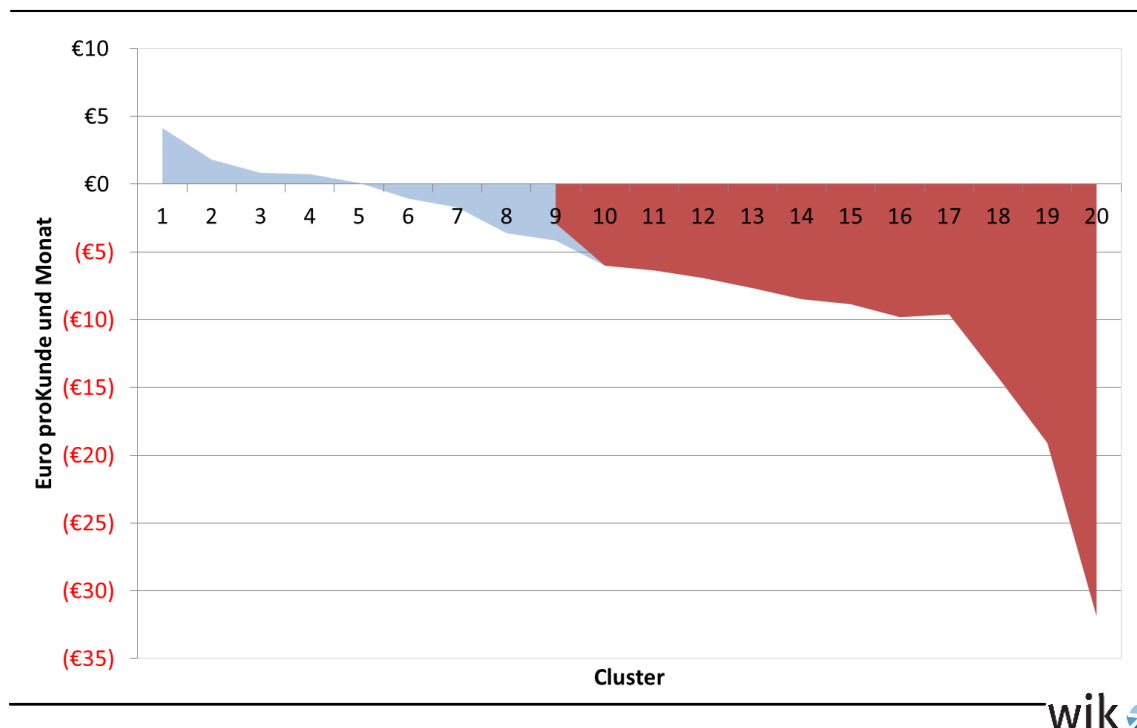


Würde man alle über die Verzinsung des eingesetzten Kapitals hinausgehenden Gewinne dafür verwenden, defizitäre Cluster zu subventionieren, dann kann die Reichweite aber immerhin bis auf Cluster 13 ausgedehnt werden³⁷ Im Cluster 14 reichen die Gewinne nicht mehr aus, um das Defizit komplett auszugleichen. In Cluster 15 bis 20 bleiben die Verluste unverändert. Eine Realisierung des Netzausbaus von Cluster 1 bis 14 nach diesem Muster entspräche dem Verhalten eines Unternehmens, das Reichweitenmaximierung für den FTTH Roll-out unter der Nebenbedingung der Kostendeckung betreibt.

Abbildung 5-4 zeigt beispielhaft den Einfluss der Berücksichtigung der Kosten der Inhausverkabelung im Business Case des Netzbetreibers. Auch hier wird durch interne Subventionierung eine Verdoppelung der Reichweite erreicht, allerdings nur von vier auf acht Cluster in Summe. Die rote Fläche stellt in diesem Fall die Situation nach Quersubventionierung dar, in der die Cluster 1 – 8 keine Gewinne und Verluste mehr aufweisen, weil die Gewinne von Cluster 1 – 4 die Verluste aus Cluster 5 – 8 ausgleichen.

³⁷ Unterstellt wurde, dass die Gewinne sukzessiv benutzt werden, um das nächste Cluster nicht defizitär werden zu lassen. Sofern noch Gewinne übrig sind, wird das nächste Cluster subventioniert, immer in absteigender Teilnehmerdichte.

Abbildung 5-4: Gewinn und Verlust pro Kunde und Monat: FTTH/P2P mit Inhausverkabelung, 38 € ARPU, 70 % Penetration



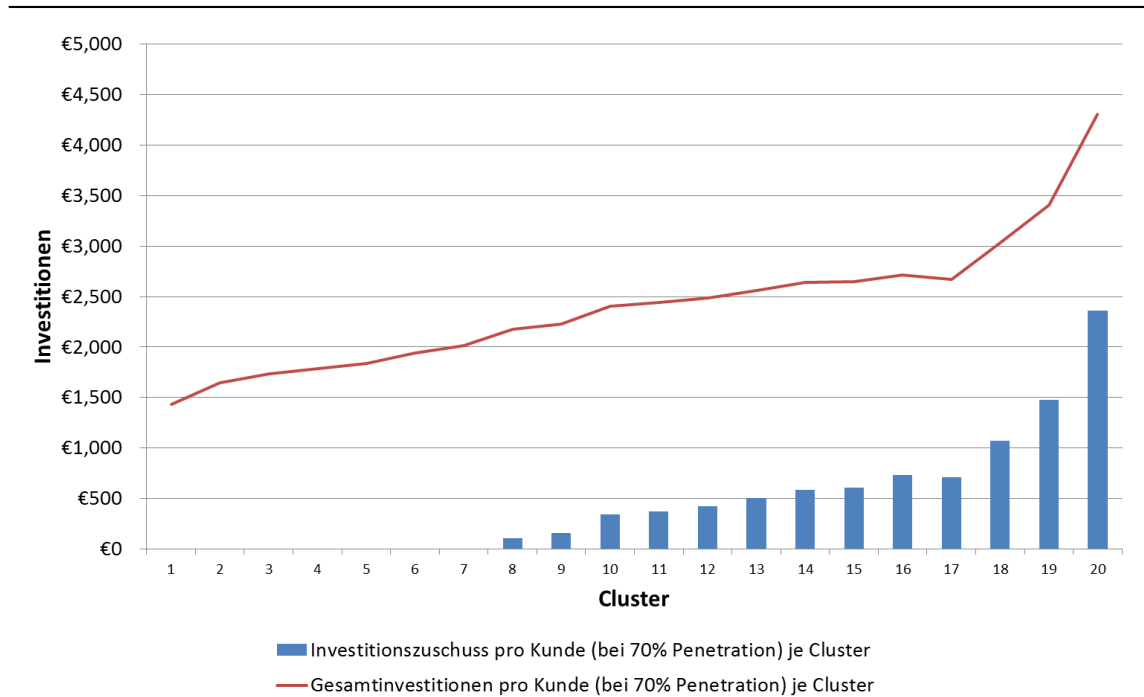
5.1.3 Einmalige Investitionszuschüsse

Um die Reichweite des profitablen Ausbaus von Glasfasernetzen zu erhöhen, wäre auch ein einmaliger Investitionszuschuss denkbar, z.B. im Sinne einer einmaligen Baukostenbeteiligung durch den Hauseigentümer oder durch einen staatlichen Investitionszuschuss. Die Gesamtinvestitionen pro Kunde liegen im Basisfall bei FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung zwischen 1.500 € in Cluster 1 und 4.300 € in Cluster 20. Während in den ersten Clustern kein Zuschuss erforderlich wäre, würde in den Clustern 8-13 dann jeweils eine moderate Beteiligung von weniger als 500 € reichen, um Kostendeckung zu erreichen (bei 38 € ARPU, 70 % Penetration). Im letzten Cluster sind allerdings mehr als 2.300 € pro Anschluss nötig (siehe Abbildung 5-5).³⁸

³⁸ Neben den einmaligen Investitionszuschüssen sind auch noch Betriebskostenzuschüsse zu veranschlagen. Das liegt daran, dass das Kostenmodell in jedem Cluster die Investitionen soweit reduziert, bis der defizitäre Bereich verlassen wird. Das entstehende Delta interpretieren wir als den Betrag, den der Investor aus anderen Quellen akquirieren muss, damit der Business Case nicht defizitär ist. Im Modell werden Betriebskosten jedoch größtenteils als Aufschlagsfaktoren auf die Investitionsgrößen abgebildet, die sich durch das beschriebene Vorgehen ebenfalls reduzieren, obwohl das tatsächlich nicht der Fall ist. Modellbedingt können die Betriebskosten nicht vor der Investitionsreduktion fixiert werden.

Eine vollständige Neutralisierung der Defizite erfordert daher die zusätzliche Deckung der rechnerischen Lücke bei der Bestimmung der Betriebskosten. Diese Lücke bei den monatlichen Betriebskosten beträgt umgerechnet je Kunde zwischen 0,10 € in Cluster 8 und fast 3 € in Cluster 20.

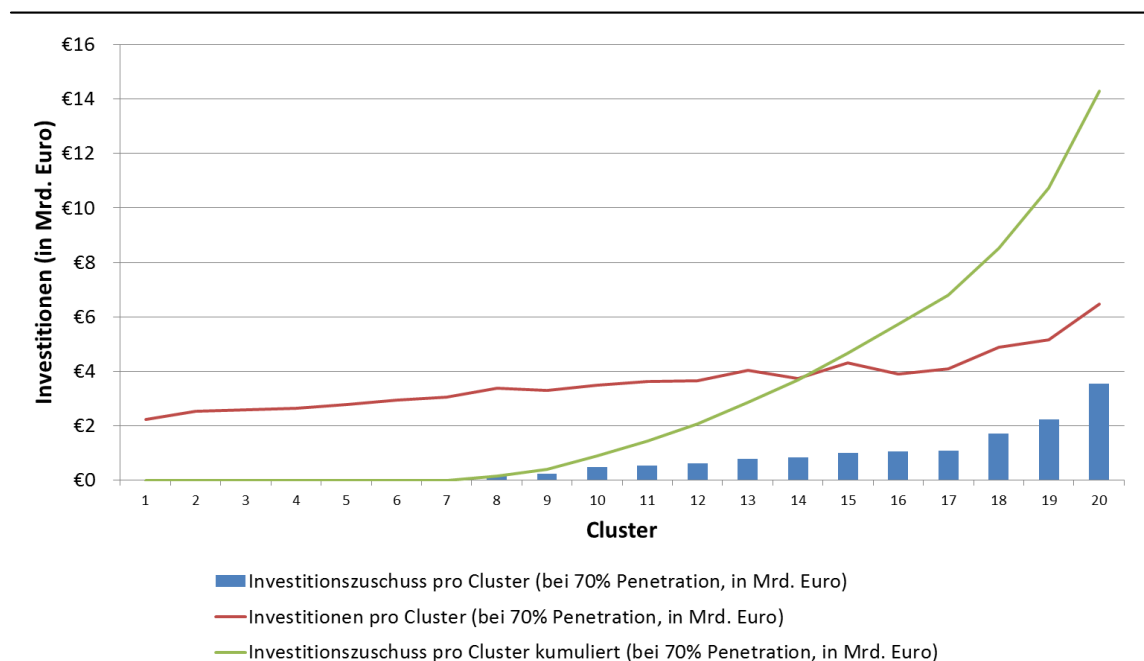
Abbildung 5-5: Investitionen und Investitionszuschuss in Euro pro Kunde: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung bei 70 % Penetration



In Abbildung 5-6 findet sich die Darstellung der Gesamtinvestitionen nicht mehr pro Kunde sondern gesamthaft je Cluster. Zusätzlich stellt die grüne Kurve den kumulierten einmaligen Investitionszuschussbedarf dar. Der Wert der Kurve in Cluster 15 stellt die Summe der nötigen Investitionszuschüsse von Cluster 8 bis 15 dar (etwa 5 Milliarden Euro) dar. In Cluster 20 lässt sich ablesen, dass der gesamte Zuschussbedarf für einen nationalen Vollausbau von FTTH/P2P ohne Einbezug der Kosten der Inhausverkabelung etwas über 14 Milliarden Euro beträgt.³⁹ Die letzten drei Cluster sind für mehr als die Hälfte des erforderlichen Gesamtinvestitionsvolumens verantwortlich.

³⁹ Hinzukommen 23 Millionen Euro pro Monat (entspricht etwa 0.50 € pro Kunde) für Betriebskosten.

Abbildung 5-6: Gesamtinvestition und Investitionszuschuss je Cluster, sowie kumuliertes Zuschussvolumen in Milliarden Euro: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung bei 70 % Penetration



Obwohl die Reichweite bei einer Quersubventionierung der Gewinne fast verdoppelt wird (siehe Kapitel 5.1.2), sinkt das Gesamtvolumen einer für Flächendeckung erforderlichen Investitionsbezuschung nur von 14 Milliarden Euro auf 11 Milliarden Euro. Das liegt daran, dass der größte Teil des Zuschussbedarfs in den Clustern anfällt, die weiterhin defizitär bleiben.

5.2 Sensitivität mit ausgewählten Kostensteigerungen bei FTTH/P2P und Senkung der Penetration auf 60 % sowie Senkung des ARPU auf 35 €/Monat

Im Alternativszenario für P2P haben wir bislang Investitionsparameter für Hauszuführung und Endgeräte verteuert sowie die Luftverkabelung gestrichen (vgl. Abschnitt 4.1.2). Zusätzlich wird nun in einem ersten weiteren Schritt auch die Penetrationsrate statt bei 70 % auf 60 % fixiert. Für die Subventionsrechnungen wurde darüber hinaus der ARPU von 38 € auf 35 € gesenkt. Unter diesen Voraussetzungen sind nur zwischen 5 % und 20 % der Anschlüsse in Deutschland profitabel. In Tabelle 4-7 wurden - an die Darstellung der kritischen Penetrationsraten angelehnt - diejenigen Zellen eingefärbt, bei denen zum definierten Marktanteil die Gesamtkosten pro Kunde 35 € übersteigen.

Tabelle 5-1: Gesamtkosten pro Kunde pro Monat: FTTH/P2P ohne Inhausverkabelung

Cluster	P2P bei 70 %	P2P alternativ bei 70 %	Differenz	P2P alternativ bei 60 %	Differenz
1	30.40 €	31.75 €	1.35 €	33.93 €	3.52 €
2	32.84 €	34.24 €	1.40 €	36.78 €	3.94 €
3	33.90 €	35.32 €	1.42 €	38.02 €	4.12 €
4	34.31 €	35.81 €	1.50 €	38.53 €	4.21 €
5	35.03 €	36.58 €	1.55 €	39.38 €	4.35 €
6	36.26 €	37.85 €	1.60 €	40.82 €	4.56 €
7	37.17 €	38.78 €	1.60 €	41.88 €	4.71 €
8	39.20 €	40.89 €	1.69 €	44.26 €	5.06 €
9	39.84 €	41.56 €	1.72 €	45.01 €	5.17 €
10	42.00 €	43.80 €	1.80 €	47.56 €	5.56 €
11	42.40 €	44.21 €	1.81 €	48.03 €	5.62 €
12	43.04 €	44.88 €	1.85 €	48.77 €	5.74 €
13	43.95 €	45.86 €	1.90 €	49.88 €	5.92 €
14	45.06 €	47.11 €	2.04 €	51.19 €	6.13 €
15	45.23 €	47.24 €	2.01 €	51.40 €	6.18 €
16	47.00 €	49.05 €	2.06 €	53.43 €	6.43 €
17	46.76 €	48.90 €	2.14 €	53.22 €	6.45 €
18	51.39 €	53.65 €	2.26 €	58.68 €	7.29 €
19	56.45 €	58.83 €	2.38 €	64.61 €	8.15 €
20	69.30 €	71.99 €	2.69 €	79.74 €	10.44 €

Berechnet man auf dieser Grundlage den Subventionsbedarf, so ergibt sich ein einheitlicher Preis von über 48 €, den alle Kunden zahlen müssten, um die defizitären Cluster zu subventionieren, d.h. eine Abgabe von 13 € zuzüglich zum ARPU. Das Volumen erforderlicher Investitionszuschüsse für den flächendeckenden Vollausbau in allen Clustern würde sich von 14 auf über 27 Milliarden Euro nahezu verdoppeln. Zusammen mit einer weiteren Sensitivität für 60% Penetration bei 38€ ARPU sind die Ergebnisse im Vergleich zum Basis Szenario in Tabelle 5-2 dargestellt.

Tabelle 5-2: Überblick über Basisszenario und Sensitivitäten für FTTH/P2P

	70% Penetration, 38 € ARPU	65 % Penetration, 35 € ARPU	60 % Penetration, 38 € ARPU
Anzahl der profitablen Cluster	7	1	5
Für profitablen Vollausbau erforderlicher einheitlicher ARPU (€ pro Monat)	44 €	48 €	47 €
Breitbandabgabe für alle NGA-Kunden bei Vollausbau (€ pro Monat)	6 €	13 €	9 €
benötigter Investitionszuschuss (Mrd. €)	14 Mrd. €	27 Mrd. €	25 Mrd. €

5.3 Tabellarische Zusammenfassung der Ergebnisse für alle Architekturen

In Tabelle 5-3 sind die wichtigsten Kennzahlen der Subventionsrechnung im Überblick für alle Architekturen zusammengefasst. Dabei wurden das Basis Szenario mit 70 % Penetration und 38 € ARPU zugrunde gelegt. In der ersten Zeile ist die Anzahl der profitablen Cluster angegeben. Danach wird die Summe der Verluste aller defizitären Cluster ausgewiesen. Dies ist die Grundlage für die Berechnung eines für alle Kunden einheitlichen, erhöhten Preises, der diese Verluste ausgleichen kann. Dieser Preis und die Zusatzabgabe, die von allen NGA-Kunden zusätzlich zum Grundbetrag von 38 € entrichtet werden sind in Zeile 3 und 4 dargestellt. In der fünften Zeile wird alternativ dargestellt, wie hoch Investitionszuschüsse sein müssten, um ein nationales FTTH/H Netz ohne Verluste zu betreiben. In der letzten Zeile sind die dazugehörigen monatlichen Zuschüsse für das Betriebskostendelta angegeben, das sich modellbedingt ergibt.

Tabelle 5-3: Übersicht über die Ergebnisse der Subventionsrechnung für alle Architekturen

	FTTB	FTTH/PON	FTTH/PON + inhouse	FTTH/P2P	FTTH/P2P + inhouse	GPON over P2P	GPON over P2P + in-house
Anzahl der profitablen Cluster	4	9	7	7	5	9	7
Gesamtverlust pro Monat in defizitären Clustern (Mrd. €)	0.41 € (Mrd.)	0.13 € (Mrd.)	0.15 € (Mrd.)	0.18 € (Mrd.)	0.21 € (Mrd.)	0.14 € (Mrd.)	0.16 € (Mrd.)
Für profitablen Vollausbau erforderlicher einheitlicher ARPU bei 70 % Penetration (€ pro Monat) ⁴⁰	51.55 €	42.29 €	43.11 €	43.89 €	44.98 €	42.56 €	43.44 €
Breitbandabgabe für alle NGA-Kunden bei Vollausbau, 38 € ARPU und 70 % Penetration (€ pro Monat)	13.55 €	4.29 €	5.11 €	5.89 €	6.98 €	4.56 €	5.44 €
benötigter Investitionszuschuss (Mrd. €)	27.07 € (Mrd.)	10.54 € (Mrd.)	12.49 € (Mrd.)	14.21 € (Mrd.)	16.89 € (Mrd.)	11.15 € (Mrd.)	13.32 € (Mrd.)
Benötigter Betriebskostenzuschuss pro Monat (Mrd. €)	0.04 € (Mrd.)	0.02 € (Mrd.)	0.02 € (Mrd.)	0.02 € (Mrd.)	0.03 € (Mrd.)	0.02 € (Mrd.)	0.02 € (Mrd.)

⁴⁰ Laut Zeilen 3 und 4 von Tabelle 5-3 beträgt der Unterschied zwischen der FTTH-Variante mit und ohne Berücksichtigung der Inhausverkabelung 0.82 € (PON), 1.09 € (P2P) und 0.88 € (GPON over P2P). Intuitiv würde man annehmen, dass der Unterschied stets allein durch die Höhe der Inhausverkabelungskosten bestimmt ist und daher – da diese Kosten bei allen FTTH Architekturen identisch sind – auch stets in gleicher Höhe vorliegt. Dass dem nicht so ist, erklärt sich wie folgt:

Bei der Bestimmung des neuen einheitlichen Endkundenpreises, der zu profitablen Abdeckung aller deutschen Teilnehmer führt, ist die Höhe der Verluste in defizitären Clustern maßgeblich, denn dieser einheitliche Preis gleicht gerade alle Verluste der defizitären Cluster aus. Da die drei FTTH-Konzepte unterschiedliche Kosten aufweisen, aber stets am Basis-ARPU von 38 € gemessen werden, entstehen Defizite in unterschiedlicher Höhe, die entsprechend unterschiedlich stark kompensiert werden müssen. Daran ändert auch die Addition einer konstanten Größe (die Kosten der Inhausverkabelung) nichts.

An einem "Extrembeispiel" wird der Effekt deutlich: Angenommen, die monatlichen Gesamtkosten pro Kunde (ohne Inhausverkabelung) betrügen bei PON 35 €, bei P2P hingegen 36.75 €, dann wäre dieser Cluster also in beiden FTTH-Varianten (ohne Inhausverkabelung) profitabel. Bei einem Hinzurechnen der Kosten der Inhausverkabelung (Annahme 2 € pro Kunde und Monat) betragen die Kosten dann 37 € (PON) und 38.75 € (P2P). Im PON-Fall wäre der Cluster weiterhin profitabel, aber bei P2P würde der Cluster nun Verluste generieren, die zusätzlich ausgeglichen werden müssen.

So erklärt sich, dass bei Hinzufügen der Inhausverkabelung der einheitliche Preis, der eine profitable Flächendeckung ermöglicht, bei den drei FTTH Varianten nicht in gleichem Maße ansteigt.

6 Schlussfolgerungen

Die Versorgung von 43 Millionen Anschlüssen in Deutschland mit FTTB/H und ein Betrieb bei 70 % Penetration erfordert in einer Greenfieldbetrachtung je nach Betrachtungsszenario Investitionen in Höhe von 70 bis 80 Milliarden Euro. Die Unterschiede im Investitionsvolumen zwischen den Architekturen sind relativ gering. GPON erfordert die geringsten Investitionen, GPON over P2P benötigt nur wenige Prozent mehr und selbst P2P nur etwa 5 % mehr. Der Grund für die geringen Unterschiede liegt in mehreren weitgehend identischen Netzsegmenten, für die bei allen Architekturen Investitionen in nahezu gleicher Höhe anfallen. Diese sind vor allem die dem Kunden am nächsten gelegenen Segmente: Dropsegment, Hauszuführung und Inhausverkabelung. Selbst im Feedersegment ergeben sich für GPON im Rahmen des Greenfieldaufbaus nur geringe Vorteile, denn die Tiefbauarbeiten sind für alle Architekturen erforderlich und skalieren kaum mit dem Faserbedarf.

Sensitivitäten zeigen, dass die Mitnutzung existierender Leerrohre – selbst wenn sie kostenlos ist – in den weniger dicht besiedelten Regionen nur wenig Einsparungen bringt, weil Leerrohre dort nur in geringem Maße verfügbar sind. Deshalb profitiert GPON von einer Mitnutzung zwar deutlich mehr als P2P, jedoch ist das Sparpotenzial durch den Grad der nutzbaren Verrohrung begrenzt. Ausgeprägter können diese Ersparnisse in den dichten Clustern sein. Wir haben nur Schätzungen über das Sparpotenzial zugrunde gelegt, das von Mitnutzung der Infrastruktur des existierenden Kupfernetzes ausgeht. Durch den (kostenlosen) Zugang zu anderen Infrastrukturen könnte die Reichweite eines profitablen Ausbaus vergrößert werden. Hier könnten ein Infrastrukturatlas oder Leerrohrkataster einen Beitrag dazu leisten, das Potenzial zur Reichweitenvergrößerung zu identifizieren und in der Folge auch zu heben.

Eine Flächendeckung mit Glasfaseranschlussnetzen ist in Deutschland ohne Zuzahlungen gleich welcher Natur nicht ökonomisch abbildbar. Die Grenze der Profitabilität liegt je nach NGA-Architektur und Szenario zwischen 25 % und 45 % der deutschen Teilnehmer. Unsere Ergebnisse zeigen, dass diese Grenze sich im Brownfieldfall nur begrenzt verschiebt. Größere Effekte zeigen sich durch die Mitnutzung daher eher in dichten Clustern, wo die kritische Penetrationsrate bei GPON beispielsweise um etwa 5 %-Punkte zurückgeht.

Die Profitabilität von NGA hängt in kritischer Weise von der Penetration, also der Netzauslastung ab, oder anders ausgedrückt, dem Marktanteil eines glasfaserbasierten Festnetzes. Investoren müssen hohe Penetrationsraten erzielen, die bei dem von uns unterstellten Vollausbau deutlich über 40 %, oft sogar bei 60 % und mehr liegen müssen. Wir erwarten, dass Investoren, die keinen Vollausbau in ihren jeweiligen Ausbaugebieten, sondern nur einen Teilausbau durchführen, ihre Kosten überproportional senken können. Bei einer Beschränkung des Ausbaus in einem Cluster auf z.B. 80 % der Teilnehmer sollten sich regelmäßig deutlich mehr als 20 % der Kosten einsparen lassen, vermutlich sogar mehr als 30 %. Es sollte einem solchen Investor daher möglich

sein, bereits bei etwas niedrigeren Penetrationsraten und auch in den dichteren Zonen anderer Cluster profitabel agieren zu können⁴¹. Ein solcher Ansatz war aber nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Er wäre jedoch mit dem NGA-Modell des WIK grundsätzlich rechenbar. Auch wenn Cluster bei uns individuell betrachtet werden können, so wird jeder Cluster daher in dieser Untersuchung immer zu 100 % ausgebaut. Dieser Ansatz war für die Fragestellungen dieser Studie erforderlich, obwohl insbesondere in der Anfangsphase eines FTTB/H Roll-Outs Netzbetreiber durchaus selektiver vorgehen.

Um flächendeckend FTTH aufzubauen und die ermittelten hohen Penetrationsraten zu erreichen, ist einerseits Wholesale Geschäft wichtig, um die Auslastung der Plattform (schnell) sicherzustellen. Unserer Ansicht nach ist langfristig eine Substitution der bisherigen Kupferarchitektur unumgänglich. In der Praxis werden die Investitionsanreize aber durch Opportunitätskosten, nämlich Kannibalisierungsverluste, vermindert.⁴² Diese Problematik dürfte auch eine Begründung für die derzeitigen geringen Investitionsaktivitäten in den dichtesten Clustern sein, für die es rechnerisch einen Business Case gibt.

Selbst bei hohen Penetrationsraten von 70 % sind die Kosten in weniger dicht besiedelten Regionen noch zu hoch, um bei marktüblichen Preisen einen profitablen Betrieb zu gestatten. Um die Flächendeckung dennoch zu erreichen, müssten die Endkunden dort höhere Preise in Kauf nehmen. "Auf dem Land" müsste ein NGA-Anschluss dann bis zu 70 Euro im Monat kosten. Alternativ ist denkbar, dass die Endkunden einen einmaligen Investitionsbeitrag leisten, der je nach Cluster zwischen wenigen Hundert bis über 2.000 € beträgt. Das Gesamtvolumen solcher erforderlichen Zuschüsse im Fall von FTTH/P2P ohne Einrechnen der Inhausverkabelung beträgt rund 14 Milliarden Euro.

Würden die Hauseigentümer den Gebäudeanschluss selber tragen, so würde das die Netzbetreiber um etwa 11 Milliarden Euro entlasten. Die Inhausverkabelung selbst stellt ebenfalls einen wichtigen Kostentreiber dar. In den meisten Detailergebnissen haben wir diese in der Sphäre des Hauseigentümers angesiedelt. Muss der Netzbetreiber die Kosten der Inhausverkabelung selber tragen, so fallen zusätzlich (mindestens) 5 Milliarden Euro für die von uns zugrunde gelegten 22,5 Millionen Gebäude an. Dieser Wert ist vermutlich eher konservativ niedrig einzuordnen, da die Anbahnung der Verlegung im Haus organisatorische Kosten nach sich zieht, die wir vernachlässigt haben. Müssten am Ende die Netzbetreiber diese Investitionen tragen, würde sich die mögliche Reichweite eines Glasfaserausbaus weiter vermindern.

Zur Erreichung von Flächendeckung sind Preisdifferenzierung und die Übernahme von Investitionen für Hausverkabelung und Gebäudeanschluss durch den Hauseigentümer

⁴¹ Es gibt Ansätze, die Bewohner der aus infrastruktureller Sicht weniger attraktiven Gebieten, z.B. Einfamilienhausgebiete, ländliche Bereiche, nur bei höheren Zuschüssen für den Anschluss mit in die Breitbandnetze einzubeziehen - und auch das nur bei einer ex ante akquirierten Mindestpenetration. Derartige Modelle lassen sich mit dem von uns gewählten einfachen Modellansatz nicht abbilden. Vielmehr sollen unsere Ergebnisse zeigen, wo und wie ggf. strukturell vorgegangen werden kann, um eine möglichst hohe Flächendeckung zu erreichen.

⁴² Siehe dazu Hoernig / Jay / Neu / Neumann / Plückebaum / Vogelsang (2011).

oder durch staatliche Investitionszuschüsse diskutiert worden. Alternativ zur Preisdifferenzierung wäre auch eine Abgabe denkbar, die von allen NGA-Nutzern in gleicher Höhe eingesammelt wird. Eine solche Abgabe wäre selbst dann erforderlich, wenn man die Gewinne aus profitablen Clustern zur Subvention unprofitabler Cluster verwenden würde. Die Höhe der Abgabe hängt entscheidend vom gewählten einheitlichen ARPU und der Penetration ab. Beim Basis-Szenario mit 70 % Penetration und 38 € monatlichem ARPU erreicht man mit 1 € monatlicher "Breitbandabgabe" für alle Kunden 55 % der Teilnehmer, mit 2 € 65 % und mit 3 € 80 %. Um die letzten drei Cluster auch noch zu erreichen wäre gar eine Verdoppelung auf fast 6 € nötig.

Die kritischen Erfolgsfaktoren eines Glasfaserausbaus in Deutschland sind somit in erster Linie die erreichbare Penetrationsrate und die Zahlungsbereitschaft der Endkunden. Des Weiteren spielt die Bereitschaft der Nutzer, einen eigenen Beitrag zu leisten eine Rolle, wie weit die profitable Reichweite eines Glasfaserausbaus in Deutschland ausgedehnt werden kann. Aufgrund der zusätzlichen Kosten eines Parallelbetriebs und der Notwendigkeit hoher Penetrationsraten spielt die Schnelligkeit der Migration von Kupfer auf Glasfaser ebenfalls eine wichtige Rolle. Aus der Erfordernis hoher Penetrationsraten erwächst auch die Notwendigkeit, Wholesaleprodukte zu entwickeln und zu vermarkten, um den nötigen Auslastungsgrad möglichst schnell zu erreichen.

Literaturverzeichnis

- Analysys (2007): "The business case for sub-loop unbundling in Dublin", Final Report for Com-Reg, URL: http://www.comreg.ie/_fileupload/publications/ComReg0810a.pdf
- Bundesnetzagentur (2010): "Jahresbericht 2010". URL:
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Presse/Berichte/2011/Jahresbericht2010pdf.pdf?__blob=publicationFile
- Doose, A. / Elixmann, D. / Jay, S. (2009): "Breitband/Bandbreite für alle": Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur); WIK Diskussionsbeitrag Nr. 330; Bad Honnef, URL:
[http://wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraegedetails&tx_ttnews\[cat\]=4&tx_ttnews\[year\]=2009&tx_ttnews\[tt_news\]=1091&tx_ttnews\[backPid\]=93&cHash=b0e78ad18bdb75ea17b2aad1cef80cec](http://wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraegedetails&tx_ttnews[cat]=4&tx_ttnews[year]=2009&tx_ttnews[tt_news]=1091&tx_ttnews[backPid]=93&cHash=b0e78ad18bdb75ea17b2aad1cef80cec)
- Elixmann / Ilic / Neumann / Plückebaum (2008): "The Economics of Next Generation Access", URL:
[http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews\[pointer\]=5&tx_ttnews\[tt_news\]=1028&tx_ttnews\[backPid\]=85&cHash=48b8ceb92f713cf7fe062b4ace08430b](http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews[pointer]=5&tx_ttnews[tt_news]=1028&tx_ttnews[backPid]=85&cHash=48b8ceb92f713cf7fe062b4ace08430b)
- European Commission (2010): Special Eurobarometer 335 / Wave 72.5 – TNS Opinion & Social, URL: http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_335_en.pdf
- Hoernig, S. / Jay, S. / Neumann, K.-H. / Peitz, M. / Plückebaum, T. / Vogelsang, I. (2010): "Architectures and competitive models in fibre networks", URL:
[http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews\[tt_news\]=1269&tx_ttnews\[backPid\]=85&cHash=8208bc049759e82e9e26e6da79a7e7f4](http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews[tt_news]=1269&tx_ttnews[backPid]=85&cHash=8208bc049759e82e9e26e6da79a7e7f4)
- Hoernig, S. / Jay, S. / Neu, W. / Neumann, K.-H. / Plückebaum, T. / Vogelsang, I. (2011): "Wholesale pricing, NGA take-up and competition". URL:
[http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews\[tt_news\]=1284&tx_ttnews\[backPid\]=85&cHash=33d27148b68810af975e0dd0c41d266d](http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews[tt_news]=1284&tx_ttnews[backPid]=85&cHash=33d27148b68810af975e0dd0c41d266d)
- Hoffmann, R. (2010): "Marktforschung zu Kundenerwartungen an Breitband der Zukunft", Präsentation auf dem NGA-Forum der Bundesnetzagentur, 3. November 2010, URL:
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Tel-telekommunikation/Regulierung/NGAForum/7teSitzung/Hoffmann_NGAForum_20101103.pdf?__blob=publicationFile
- Ilic, D./Neumann, K.-H./Plückebaum, T. (2009): "The Economics of Next Generation Access – Addendum", URL:
[http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews\[pointer\]=4&tx_ttnews\[tt_news\]=1043&tx_ttnews\[backPid\]=85&cHash=785c077e0b6630d5cd39a6aa8171fffa](http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews[pointer]=4&tx_ttnews[tt_news]=1043&tx_ttnews[backPid]=85&cHash=785c077e0b6630d5cd39a6aa8171fffa)
- Ilic, D./Neumann, K.-H./Plückebaum, T. (2010): „Szenarien einer nationalen Glasfaserausbaustrategie in der Schweiz“, URL:
[http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews\[pointer\]=2&tx_ttnews\[tt_news\]=1227&tx_ttnews\[backPid\]=85&cHash=2e90eb5db163aec3a755be86cba7c706](http://wik.org/index.php?id=studiedetails&tx_ttnews[pointer]=2&tx_ttnews[tt_news]=1227&tx_ttnews[backPid]=85&cHash=2e90eb5db163aec3a755be86cba7c706)

- Jay, S. / Plückebaum, T. / Ilic, D. (2010): "Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung,
[http://wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews\[cat\]=4&tx_ttnews\[year\]=2010&tx_ttnews\[tt_news\]=1147&tx_ttnews\[backPid\]=93&cHash=3ead1e3403554987f141b8fe299b616f](http://wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews[cat]=4&tx_ttnews[year]=2010&tx_ttnews[tt_news]=1147&tx_ttnews[backPid]=93&cHash=3ead1e3403554987f141b8fe299b616f)
- Jay, S. / Plückebaum, T. / Ilic, D. (2009): Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access, WIK Diskussionsbeitrag Nr. 332, URL:
[http://wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews\[cat\]=4&tx_ttnews\[year\]=2009&tx_ttnews\[tt_news\]=1094&tx_ttnews\[backPid\]=93&cHash=6088a667f299e9d4a27b9649b3d68077](http://wik.org/index.php?id=diskussionsbeitraege&details&tx_ttnews[cat]=4&tx_ttnews[year]=2009&tx_ttnews[tt_news]=1094&tx_ttnews[backPid]=93&cHash=6088a667f299e9d4a27b9649b3d68077)
- Neumann, K.-H. (2010): "Das flächendeckende Glasfasernetz für 1 Euro", WIK-Newsletter Nr. 81, Dezember 2010, Bad Honnef.
- SOLON (2011): "Broadband on Demand: Cable's 2020 Vision", URL:
http://www.solonstrategy.com/uploads/tx_soloncm003/20110329_Solon_Study_Broadband_on_Demand_01.pdf
- Stehle, Richard (2010): "Wissenschaftliches Gutachten zur Ermittlung des kalkulatorischen Zinssatzes, der den spezifischen Risiken des Breitbandausbaus Rechnung trägt". URL:
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Tel_ekommunikation/Regulierung/NextGenerationAccess/GutachtenProfStehle241110pdf.pdf?__blob=publicationFile

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

- Nr. 284: Mark Oelmann, Sonja Schölermann:
Die Anwendbarkeit von Vergleichsmarktanalysen bei Regulierungsentscheidungen im Postsektor, Dezember 2006
- Nr. 285: Iris Böschen:
VoIP im Privatkundenmarkt – Marktstrukturen und Geschäftsmodelle, Dezember 2006
- Nr. 286: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Stand und Perspektiven der Telekommunikationsnutzung in den Breitbandkabelnetzen, Januar 2007
- Nr. 287: Konrad Zoz:
Modellgestützte Evaluierung von Geschäftsmodellen alternativer Teilnehmernetzbetreiber in Deutschland, Januar 2007
- Nr. 288: Wolfgang Kiesewetter:
Marktanalyse und Abhilfemaßnahmen nach dem EU-Regulierungsrahmen im Ländervergleich, Februar 2007
- Nr. 289: Dieter Elixmann, Ralf G. Schäfer, Andrej Schöbel:
Internationaler Vergleich der Sektorperformance in der Telekommunikation und ihrer Bestimmungsgründe, Februar 2007
- Nr. 290: Ulrich Stumpf:
Regulatory Approach to Fixed-Mobile Substitution, Bundling and Integration, März 2007
- Nr. 291: Mark Oelmann:
Regulatorische Marktzutrittsbedingungen und ihre Auswirkungen auf den Wettbewerb: Erfahrungen aus ausgewählten Briefmärkten Europas, März 2007
- Nr. 292: Patrick Anell, Dieter Elixmann:
"Triple Play"-Angebote von Festnetzbetreibern: Implikationen für Unternehmensstrategien, Wettbewerb(s)politik und Regulierung, März 2007
- Nr. 293: Daniel Schäffner:
Bestimmung des Ausgangsniveaus der Kosten und des kalkulatorischen Eigenkapitalzinssatzes für eine Anreizregulierung des Energiesektors, April 2007
- Nr. 294: Alex Kalevi Dieke, Sonja Schölermann:
Ex-ante-Preisregulierung nach vollständiger Marktöffnung der Briefmärkte, April 2007
- Nr. 295: Alex Kalevi Dieke, Martin Zauner:
Arbeitsbedingungen im Briefmarkt, Mai 2007
- Nr. 296: Antonia Niederprüm:
Geschäftsstrategien von Postunternehmen in Europa, Juli 2007
- Nr. 297: Nicole Angenendt, Gernot Müller, Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Stromerzeugung und Stromvertrieb – eine wettbewerbsökonomische Analyse, August 2007
- Nr. 298: Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Die Liberalisierung des Zähl- und Messwesens, September 2007
- Nr. 299: Stephan Jay:
Bedeutung von Bitstrom in europäischen Breitbandvorleistungsmärkten, September 2007
- Nr. 300: Christian Growitsch, Gernot Müller, Margarethe Rammerstorfer, Prof. Dr. Christoph Weber (Lehrstuhl für Energiewirtschaft, Universität Duisburg-Essen):
Determinanten der Preisentwicklung auf dem deutschen Minutenreservemarkt, Oktober 2007
- Nr. 301: Gernot Müller:
Zur kostenbasierten Regulierung von Eisenbahninfrastrukturentgelten – Eine ökonomische Analyse von Kostenkonzepten und Kostentreibern, Dezember 2007

- Nr. 302: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Nachfrage nach Internetdiensten – Dienstearnten, Verkehrseigenschaften und Quality of Service, Dezember 2007
- Nr. 303: Christian Growitsch, Margarethe Rammerstorfer:
Zur wettbewerblichen Wirkung des Zweivertragsmodells im deutschen Gasmarkt, Februar 2008
- Nr. 304: Patrick Anell, Konrad Zoz:
Die Auswirkungen der Festnetzmobilfunksubstitution auf die Kosten des leitungsvermittelten Festnetzes, Februar 2008
- Nr. 305: Marcus Stronzik, Margarethe Rammerstorfer, Anne Neumann:
Wettbewerb im Markt für Erdgasspeicher, März 2008
- Nr. 306: Martin Zauner:
Wettbewerbspolitische Beurteilung von Rabattsystemen im Postmarkt, März 2008
- Nr. 307: Franz Büllingen, Christin-Isabel Gries, Peter Stamm:
Geschäftsmodelle und aktuelle Entwicklungen im Markt für Broadband Wireless Access-Dienste, März 2008
- Nr. 308: Christian Growitsch, Gernot Müller, Marcus Stronzik:
Ownership Unbundling in der Gaswirtschaft – Theoretische Grundlagen und empirische Evidenz, Mai 2008
- Nr. 309: Matthias Wissner:
Messung und Bewertung von Versorgungsqualität, Mai 2008
- Nr. 310: Patrick Anell, Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Netzzugang im NGN-Core, August 2008
- Nr. 311: Martin Zauner, Alex Kalevi Dieke, Torsten Marnier, Antonia Niederprüm:
Ausschreibung von Post-Universaldiensten. Ausschreibungsgegenstände, Ausschreibungsverfahren und begleitender Regulierungsbedarf, September 2008
- Nr. 312: Patrick Anell, Dieter Elixmann:
Die Zukunft der Festnetzbetreiber, Dezember 2008
- Nr. 313: Patrick Anell, Dieter Elixmann, Ralf Schäfer:
Marktstruktur und Wettbewerb im deutschen Festnetz-Markt: Stand und Entwicklungstendenzen, Dezember 2008
- Nr. 314: Kenneth R. Carter, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Network Neutrality: Implications for Europe, Dezember 2008
- Nr. 315: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Strategien zur Realisierung von Quality of Service in IP-Netzen, Dezember 2008
- Nr. 316: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Iris Bösch, Gabriele Kulenkampff:
Relevant cost elements of VoIP networks, Dezember 2008
- Nr. 317: Nicole Angenendt, Christian Growitsch, Rabindra Nepal, Christine Müller:
Effizienz und Stabilität des Stromgroßhandelsmarktes in Deutschland – Analyse und wirtschaftspolitische Implikationen, Dezember 2008
- Nr. 318: Gernot Müller:
Produktivitäts- und Effizienzmessung im Eisenbahninfrastruktursektor – Methodische Grundlagen und Schätzung des Produktivitätsfortschritts für den deutschen Markt, Januar 2009
- Nr. 319: Sonja Schölermann:
Kundenschutz und Betreiberauflagen im liberalisierten Briefmarkt, März 2009
- Nr. 320: Matthias Wissner:
IKT, Wachstum und Produktivität in der Energiewirtschaft - Auf dem Weg zum Smart Grid, Mai 2009
- Nr. 321: Matthias Wissner:
Smart Metering, Juli 2009
- Nr. 322: Christian Wernick unter Mitarbeit von Dieter Elixmann:
Unternehmensperformance führender TK-Anbieter in Europa, August 2009

- Nr. 323: Werner Neu, Gabriele Kulenkampff:
Long-Run Incremental Cost und Preissetzung im TK-Bereich - unter besonderer Berücksichtigung des technischen Wandels, August 2009
- Nr. 324: Gabriele Kulenkampff:
IP-Interconnection – Vorleistungsdefinition im Spannungsfeld zwischen PSTN, Internet und NGN, November 2009
- Nr. 325: Juan Rendon, Thomas Plückebaum, Stephan Jay:
LRIC cost approaches for differentiated QoS in broadband networks, November 2009
- Nr. 326: Kenneth R. Carter
with contributions of Christian Wernick, Ralf Schäfer, J. Scott Marcus:
Next Generation Spectrum Regulation for Europe: Price-Guided Radio Policy, November 2009
- Nr. 327: Gernot Müller:
Ableitung eines Inputpreisindex für den deutschen Eisenbahninfrastruktursektor, November 2009
- Nr. 328: Anne Stetter, Sonia Strube Martins:
Der Markt für IPTV: Dienstverfügbarkeit, Marktstruktur, Zugangsfragen, Dezember 2009
- Nr. 329: J. Scott Marcus, Lorenz Nett, Ulrich Stumpf, Christian Wernick:
Wettbewerbliche Implikationen der On-net/Off-net Preisdifferenzierung, Dezember 2009
- Nr. 330: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Stephan Jay:
"Breitband/Bandbreite für alle": Kosten und Finanzierung einer nationalen Infrastruktur, Dezember 2009
- Nr. 331: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm, Martin Zauner:
Preisstrategien von Incumbents und Wettbewerbern im Briefmarkt, Dezember 2009
- Nr. 332: Stephan Jay, Dragan Ilic, Thomas Plückebaum:
Optionen des Netzzugangs bei Next Generation Access, Dezember 2009
- Nr. 333: Christian Growitsch, Marcus Stronzik, Rabindra Nepal:
Integration des deutschen Gasgroßhandelsmarktes, Februar 2010
- Nr. 334: Ulrich Stumpf:
Die Abgrenzung subnationaler Märkte als regulatorischer Ansatz, März 2010
- Nr. 335: Stephan Jay, Thomas Plückebaum, Dragan Ilic:
Der Einfluss von Next Generation Access auf die Kosten der Sprachterminierung, März 2010
- Nr. 336: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Martin Zauner:
Netzzugang und Zustellwettbewerb im Briefmarkt, März 2010
- Nr. 337: Christian Growitsch, Felix Höffler, Matthias Wissner:
Marktmachanalyse für den deutschen Regelenergiemarkt, April 2010
- Nr. 338: Ralf G. Schäfer unter Mitarbeit von Volker Köllmann:
Regulierung von Auskunfts- und Mehrwertdiensten im internationalen Vergleich, April 2010
- Nr. 339: Christian Growitsch, Christine Müller, Marcus Stronzik:
Anreizregulierung und Netzinvestitionen, April 2010
- Nr. 340: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann, Rolf Schwab:
Das VNB-Geschäftsmodell in einer sich wandelnden Marktumgebung: Herausforderungen und Chancen, April 2010
- Nr. 341: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Schölermann:
Die Entwicklung von Hybridpost: Marktentwicklungen, Geschäftsmodelle und regulatorische Fragestellungen, August 2010
- Nr. 342: Karl-Heinz Neumann:
Structural models for NBN deployment, September 2010
- Nr. 343: Christine Müller:
Versorgungsqualität in der leitungsgebundenen Gasversorgung, September 2010

- Nr. 344: Roman Inderst, Jürgen Kühling, Karl-Heinz Neumann, Martin Peitz:
Investitionen, Wettbewerb und Netzzugang bei NGA, September 2010
- Nr. 345: Christian Growitsch, J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Auswirkungen niedrigerer Mobilterminierungsentgelte auf Endkundenpreise und Nachfrage, September 2010
- Nr. 346: Antonia Niederprüm, Veronika Söntgerath, Sonja Thiele, Martin Zauner:
Post-Filialnetze im Branchenvergleich, September 2010
- Nr. 347: Peter Stamm:
Aktuelle Entwicklungen und Strategien der Kabelbranche, September 2010
- Nr. 348: Gernot Müller:
Abgrenzung von Eisenbahnverkehrsmärkten – Ökonomische Grundlagen und Umsetzung in die Regulierungspraxis, November 2010
- Nr. 349: Christine Müller, Christian Growitsch, Matthias Wissner:
Regulierung und Investitionsanreize in der ökonomischen Theorie, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Dezember 2010
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 350: Lorenz Nett, Ulrich Stumpf:
Symmetrische Regulierung: Möglichkeiten und Grenzen im neuen EU-Rechtsrahmen, Februar 2011
- Nr. 351: Peter Stamm, Anne Stetter unter Mitarbeit von Mario Erwig:
Bedeutung und Beitrag alternativer Funklösungen für die Versorgung ländlicher Regionen mit Breitbandanschlüssen, Februar 2011
- Nr. 352: Anna Maria Doose, Dieter Elixmann:
Nationale Breitbandstrategien und Implikationen für Wettbewerbspolitik und Regulierung, März 2011
- Nr. 353: Christine Müller:
New regulatory approaches towards investments: a revision of international experiences, IRIN working paper for working package: Advancing incentive regulation with respect to smart grids, April 2011
- Nr. 354: Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Sonja Thiele:
Elektronische Zustellung: Produkte, Geschäftsmodelle und Rückwirkungen auf den Briefmarkt, Juni 2011
- Nr. 355: Christin Gries, J. Scott Marcus:
Die Bedeutung von Bitstrom auf dem deutschen TK-Markt, Juni 2011
- Nr. 356: Kenneth R. Carter, Dieter Elixmann, J. Scott Marcus:
Unternehmensstrategische und regulatorische Aspekte von Kooperationen beim NGA-Breitbandausbau, Juni 2011
- Nr. 357: Marcus Stronzik:
Zusammenhang zwischen Anreizregulierung und Eigenkapitalverzinsung, IRIN Working Paper im Rahmen des Arbeitspakets: Smart Grid-gerechte Weiterentwicklung der Anreizregulierung, Juli 2011
- Nr. 358: Anna Maria Doose, Alessandro Monti, Ralf G. Schäfer:
Mittelfristige Marktpotenziale im Kontext der Nachfrage nach hochbitratigen Breitbandanschlüssen in Deutschland, September 2011
- Nr. 359: Stephan Jay, Karl-Heinz Neumann, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Konrad Zoz:
Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf, Oktober 2011

ISSN 1865-8997