

Empirische Untersuchung der FTTB/H- Ausbauaktivität im europäischen Vergleich

Autoren:
Marcus Stronzik
Gonzalo Zuloaga

Bad Honnef, Dezember 2020

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	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

Zusammenfassung	V
Summary	VI
1 Einleitung	1
2 Investitionskostenindex für FTTB/H	4
2.1 Datengrundlage	4
2.2 Methodische Vorgehensweise	7
2.2.1 Anwendung des NGA-Modells	7
2.2.2 Zusammenhang zwischen Investition und Bevölkerungsdichte	9
2.2.3 Extrapolation auf andere EU-Länder	11
2.3 Ergebnisse	17
3 Empirische Analyse der Einflussgrößen von FTTB/H-Investitionen im europäischen Vergleich	19
3.1 Datenbasis	19
3.2 Schätzansatz	23
3.3 Ergebnisse	25
4 Einordnung der Ergebnisse aus der empirischen Analyse	30
4.1 Länderbeispiele	30
4.1.1 Deutschland	31
4.1.2 Estland	32
4.1.3 Spanien	34
4.2 Zukünftige Entwicklungen	36
5 Fazit	38
Anhang	39
Literaturverzeichnis	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Entwicklung des FTTB/H-Ausbaus in Europa	1
Abbildung 2-1:	Bruttoarbeitskosten je geleisteter Arbeitsstunde der EU-27 im Verhältnis zu Deutschland (Jahr 2017)	5
Abbildung 2-2:	Bevölkerungsdichte nach NUTS-3-Gebieten	6
Abbildung 2-3:	Bodennutzung nach NUTS-3-Gebieten	7
Abbildung 2-4:	NGA-modellbasierter Investitionsindex und Abdeckungsskala	8
Abbildung 2-5:	Zusammenhang zwischen FTTB/H Investition und Anschluss pro km ²	9
Abbildung 2-6:	Verschiebung der Investitionskurve nach Berücksichtigung der Arbeitskosten der jeweiligen EU-Länder	12
Abbildung 2-7:	Bevölkerungsdichte und Abdeckungsskala nach EU-Land	14
Abbildung 2-8:	Flächenvergleich nach Bodennutzung und heterogenen NUTS-3-Abgrenzungen	15
Abbildung 2-9:	FTTB/H-P2P-Investitionskurve nach EU-Land	17
Abbildung 3-1:	Überführung der Modellergebnisse für den Investitionskostenindex in eine Panelvariable	20
Abbildung 3-2:	Nichtlinearer Zusammenhang zwischen FTTB/H-Investitionen und DOCSIS-Abdeckung	27
Abbildung 4-1:	Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Deutschland 2011 bis 2017	31
Abbildung 4-2:	Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Estland von 2011 bis 2017	33
Abbildung 4-3:	Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Spanien von 2011 bis 2017	34
Abbildung 4-4:	Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Estland von 2011 bis 2019	36
Abbildung 4-5:	Leistungsfähigkeit verschiedener Übertragungstechnologien in der Telekommunikation	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Regression von FTTB/H-P2P-Investition und Anschluss pro km ²	10
Tabelle 2-2:	Korrelationsanalyse: Anschluss pro km ² gegen sonstige Einflussfaktoren	11
Tabelle 3-1:	Beschreibung der wesentlichen Variablen des Datensatzes	22
Tabelle 3-2:	Deskriptive Statistiken für die abhängigen Variablen	23
Tabelle 3-3:	Ergebnisse der FE-Schätzungen	26
Tabelle 3-4:	Ergebnisse der BE-Schätzungen	28
Tabelle 4-1:	Überblick über die Länderbeispiele	30

Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der EU-Ziele zur Digitalisierung und den sehr unterschiedlichen Entwicklungen in den Mitgliedsstaaten sind zukünftig erhebliche Anstrengungen zum Ausbau leistungsfähiger Kommunikationsnetze erforderlich. Im Rahmen einer ökonometrischen Analyse wird untersucht, welche Faktoren einen Glasfaserausbau auf Basis von FTTB/H-Anschlüssen beschleunigen und welche Parameter dieses Ziel eventuell konterkarieren könnten. Im Gegensatz zu herkömmlichen Studien, die die Änderung der Abdeckung (*Coverage*) als Proxy für die Investitionskosten verwenden, wird ein modellgestützter Investitionskostenindex für FTTB/H-Anschlüsse für die EU-27 entwickelt. Dieser Index berücksichtigt explizit, dass der Ausbau mit zunehmendem Abdeckungsgrad kostenintensiver wird, und ist daher deutlich realitätsnäher als bisherige Analysen.

Die Ergebnisse der quantitativen Analysen potenzieller Einflussfaktoren auf FTTB/H-Investitionen in Europa deuten auf einen starken nichtlinearen Zusammenhang zwischen Kabel (in Form von DOCSIS) und FTTB/H hin. Demnach führt der Infrastrukturwettbewerb zwischen diesen beiden Technologien zunächst zu einem beschleunigten FTTB/H-Ausbau. Ab einer DOCSIS-Abdeckung von 50 % kommt es jedoch zu einer bremsenden Wirkung von Kabel auf den FTTB/H-Ausbau. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass mit steigender DOCSIS-Abdeckung ein höheres Risiko für Glasfaserinvestitionen einhergeht, da DOCSIS grundsätzlich ebenfalls gigabitfähig ist und der durch FTTB/H adressierbare Markt somit relativ abnimmt.

Der der Analyse zugrunde gelegte Datensatz umfasst die 27 Mitgliedsstaaten der EU und einen Zeitraum von 2011 bis 2017. Die Analyse ist daher vergangenheitsbezogen. Zukünftig zu erwartende Entwicklungen deuten eher in eine andere Richtung. Es ist von einer weiterhin stark ansteigenden Nachfrage nach Übertragungsraten mit einer Tendenz in Richtung Gigabit auszugehen. Auf der Angebotsseite wird FTTB/H europaweit durch umfangreiche staatliche Fördermaßnahmen vorangetrieben. Beide Entwicklungen könnten vor dem Hintergrund der zukünftig zu erwartenden Leistungsfähigkeit der Technologien dazu führen, dass Breitbandkabel als *Shared Medium* in Relation zu Glasfaser eher an Attraktivität verlieren könnte. Studien zu den Kosten des FTTB/H-Ausbaus zeigen zudem, dass in rund der Hälfte der Anschlussbereiche in Deutschland Vermarktungsquoten von über 50 % für einen profitablen eigenwirtschaftlichen Glasausbau erforderlich sind. Prospektiv könnte dies zu einer Situation führen, in der in vielen Anschlussbereichen nur eine Infrastruktur verbleibt, nämlich FTTB/H.

Summary

Against the background of the EU targets for digitisation and the very different developments in the Member States, considerable efforts will be required in the future to expand high-performance communications networks. Based on Within the framework of an econometric analysis, it is being investigated which factors could accelerate the expansion of fibre based on FTTB/H connections and which parameters could possibly counteract this goal. In contrast to conventional studies, which use the change in coverage as a proxy for investment costs, a model-based investment cost index for FTTB/H connections is developed for the EU-27. This index explicitly takes into account the fact that expansion becomes more cost-intensive with increasing coverage and is therefore much closer to reality than previous analyses.

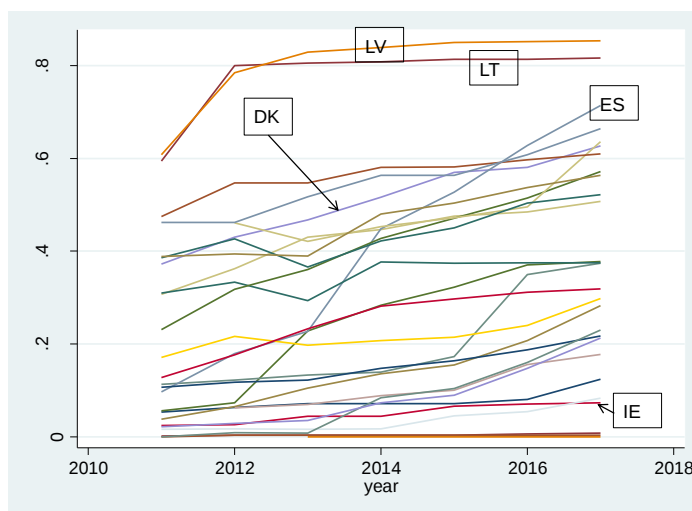
The results of the quantitative analyses of potential factors influencing FTTB/H investment in Europe indicate a strong non-linear correlation between cable (in the form of DOCSIS) and FTTB/H. According to this, infrastructure competition between these two technologies will initially lead to an accelerated deployment of FTTB/H. However, above a DOCSIS coverage of 50%, cable has a restraining effect on FTTB/H deployment. This could be due to the fact that an increase in DOCSIS coverage is accompanied by a higher risk for fibre investments, as DOCSIS is in principle also gigabit-capable. Therefore, the market addressable by FTTB/H is relatively declining.

The data set on which the analysis is based covers the 27 EU Member States and a period from 2011 to 2017. The analysis is therefore based on past experience. Developments expected in the future tend to point in a different direction. It can be assumed that demand for bit rates will continue to rise strongly with a trend towards gigabit. On the supply side, FTTB/H is being promoted throughout Europe by extensive government support measures. Against the background of the performance of the technologies expected in the future, both developments could lead to a situation where broadband cable could become less attractive as a "shared medium" in relation to fibre. Studies on the costs of FTTB/H expansion also show that in about half of the access areas in Germany, marketing quotas of more than 50% are necessary for a profitable fibre expansion. Prospectively, this could lead to a situation in which only one infrastructure remains in many areas, namely FTTB/H.

1 Einleitung

Die Europäische Union (EU) und ihre Mitgliedsstaaten haben das Ziel ausgegeben, die Digitalisierung von Gesellschaft und Wirtschaft nachhaltig zu unterstützen und voranzubringen.¹ Grundvoraussetzung für das Gelingen dieses Vorhabens sind leistungsfähige Kommunikationsnetze. Vor diesem Hintergrund soll der Ausbau von Hochgeschwindigkeitsnetzen in der EU deutlich intensiviert werden. Im Rahmen dieses Beitrages steht dabei der leitungsgebundene Ausbau von gigabitfähigen Glasfasernetzen im Mittelpunkt der Betrachtungen, da diese Technologie als besonders geeignet angesehen wird, um die zukünftige Breitbandnachfrage angebotsseitig gewährleisten zu können.²

Abbildung 1-1: Entwicklung des FTTB/H-Ausbaus in Europa



Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis von Europäische Kommission (2018)

Technologisch liegt somit der Fokus auf FTTB- (*Fibre to the Building*) und FTTH-Anschlüssen (*Fibre to the Home*).³ Wie aus Abbildung 1-1 hervorgeht, schreitet der Ausbau mit FTTB/H-Anschlüssen sehr unterschiedlich in den einzelnen Mitgliedsstaaten der EU voran. Während z. B. in Dänemark (DK) ein recht kontinuierlicher Ausbau über den Zeitraum 2011 bis 2017 für die Abdeckung (*Coverage*) zu beobachten ist, sind in anderen Ländern signifikante Sprünge (z. B. Spanien, ES) zu verzeichnen. Ferner verharren einige Länder auf einem recht niedrigen Niveau (z. B. Irland, IE), während andere Länder bereits zu Beginn des Betrachtungszeitraums eine hohe Anschlussdichte mit FTTB/H verzeichnen (z. B. Litauen, LV, und Lettland, LT).

¹ Vgl. Europäische Kommission (2020a).

² Vgl. BMVI (2019).

³ Übergreifend wird oft auch von FTTP (*Fiber to the Premises*) gesprochen. Im Rahmen dieser Studie werden FTTB/H und FTTP synonym verwendet.

Vor dem Hintergrund des EU-Ziels eines digitalen Binnenmarktes mit einem deutlichen Ausbau der Glasfaserinfrastruktur und den sehr unterschiedlichen Entwicklungen in den Mitgliedsstaaten stellt sich die Frage, was die wesentlichen Treiber einer erfolgreichen Ausbaustrategie sind. Im Rahmen einer ökonometrischen Analyse soll daher untersucht werden, welche Faktoren einen FTTB/H-Ausbau beschleunigen und welche Parameter dieses Ziel eventuell konterkarieren könnten.

Bisher existieren nur sehr wenige empirische Studien, die sich mit den Einflussgrößen auf Investitionen in Glasfasernetze beschäftigen. Briglauer et al. (2013) identifizieren auf Basis eines Datensatzes für 27 EU-Mitgliedsstaaten für einen Zeitraum von 2005 bis 2011 einen u-förmigen Zusammenhang zwischen der Penetration von Kabelnetzen und der Änderung der Abdeckung von FTTx-Anschlüssen⁴, wobei letzteres als Proxy für Investitionen in Glasfasernetze dient.

Queder (2020) und Queder et al. (2019) führen eine sehr ähnliche Analyse durch, wobei sie den Zeitraum 2011 bis 2017 betrachten und anstatt der Penetration auch für die Kabelnetze den Abdeckungsgrad als Erklärungsvariable verwenden. Während für das Startjahr eine positive Korrelation zwischen Kabel- und FTTx-Abdeckung festgestellt wird, übt die Kabelabdeckung über die Zeit einen negativen Einfluss auf Investitionen in Glasfasernetze aus. Als möglichen Grund für den negativen Zusammenhang führen die Autoren an, dass der für die Betreiber von Glasfasernetzen adressierbare Markt mit zunehmender Kabelabdeckung abnehme.

Die Studien finden somit alle eine klare Inzidenz für das Bestehen eines Infrastrukturwettbewerbs zwischen Kabel- und Glasfasernetzen, wobei die identifizierten Wettbewerbseffekte je nach Analyse variieren. Allerdings sind Aussagen zu ultraschnellen, gigabitfähigen Telekommunikationsnetzen nur bedingt möglich, da bei den genannten Studien die Abdeckung mit Glasfaser neben FTTB/H- auch FTTC-Anschlüsse umfasst. Wernick et al. (2020), die allein auf die Änderung der FTTB/H-Abdeckung als Proxy für die Investitionstätigkeit abstellen, umgehen dieses Problem. Sie identifizieren einen nichtlinearen (quadratischen) Zusammenhang zwischen Kabel- und FTTB/H-Abdeckung. Problematisch bei allen genannten Studien verbleibt allerdings, dass die Änderung der Glasfaserabdeckung als Proxy für die tatsächliche Investitionstätigkeit herangezogen wird. Dies bedeutet, dass unabhängig vom bereits erreichten Abdeckungsgrad jede weitere Steigerung um 1 Prozentpunkt gleich bewertet wird. In der Realität werden jedoch in der Regel zunächst die Gebiete erschlossen, die für den Netzbetreiber mit den geringsten Investitionskosten je Anschluss verbunden sind.⁵ Dies impliziert, dass die Investitionskosten mit zunehmender Abdeckung steigen.

Um der Frage nach den wesentlichen Einflussgrößen für den Ausbau gigabitfähiger Glasfasernetze nachzugehen, werden im Rahmen dieser Studie die beiden genannten

⁴ FTTx umfasst neben FTTB/H auch noch FTTC (*Fibre to the Curb*). FTTC beinhaltet im Wesentlichen die VDSL-Technologie (*Very High Speed Digital Subscriber Line*) mit Übertragungsraten von rund 250 Mbit/s.

⁵ Vgl. z. B. Jay et al. (2011).

Mängel explizit adressiert. Zum einen erfolgt wie bei Wernick et al. (2020) eine Fokussierung auf FTTB/H-Anschlüsse und zum anderen werden die Investitionskosten für gigabitfähige Glasfaseranschlüsse der Realität angenähert. Da Informationen über die tatsächlichen Investitionskosten für alle Mitgliedsstaaten der EU öffentlich nicht verfügbar sind, werden diese modellbasiert über einen Investitionskostenindex für FTTB/H-Anschlüsse approximiert, wobei der Zusammenhang zwischen erreichtem Abdeckungsgrad und Investitionskosten explizit berücksichtigt wird.

Nach dieser Einleitung wird die Herleitung des Investitionskostenindex beschrieben. In Kapitel 3 werden die wesentlichen Einflussgrößen auf den Glasfaserausbau auf Basis eines Datensatzes für die 27 EU-Mitgliedsstaaten (2011 bis 2017) mittels Ansätzen aus der Panelökonometrie ermittelt. Die Ergebnisse werden in Kapitel 4 vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen und auf Basis ausgewählter Länderbeispiele eingeordnet und diskutiert. Schlussfolgerungen erfolgen in Kapitel 5.

2 Investitionskostenindex für FTTB/H

In diesem Kapitel wird der Investitionskostenindex für FTTB/H-Anschlüsse hergeleitet. Dies erfolgt auf Basis von vom WIK entwickelten georeferenzierten Modellansätzen, die für Kostenabschätzungen für die Ausbringung von Glasfaseranschlüssen im Festnetz für Deutschland konzipiert wurden (NGA-Modell). Das Modell ermöglicht Kostenabschätzungen für Investitionen in FTTB/H in Abhängigkeit vom bereits erreichten Abdeckungsgrad. Im Rahmen dieser Studie werden die Ergebnisse für Deutschland auf die anderen EU-Mitgliedsstaaten extrapoliert, so dass im Ergebnis eine Matrix kreiert wird, die über alle Länder und Abdeckungsgrade von 1 % bis 100 % jeweils die Kosten für eine Steigerung der Abdeckung um 1 % enthalten. Die Modellergebnisse gehen anschließend als erklärende Variable in die empirische Analyse der Einflussgrößen von FTTB/H-Investitionen ein, die in Kapitel 3 vorgestellt werden.

Nachfolgend wird in Abschnitt 2.1 die Datengrundlage für den Investitionskostenindex erläutert. In Abschnitt 2.2 wird das methodische Vorgehen beschrieben. Die Ergebnisse für den Investitionskostenindex werden in Abschnitt 2.3 vorgestellt.

2.1 Datengrundlage

NGA-Modell

Auf Basis von umfangreichen georeferenzierten Daten (z. B. zu dem gesamtdeutschen Straßenlayer, Hauptverteiler(HVt)-Standorten und Gebäudepunkten) werden modellrelevante Größen wie Trassenlängen, Teilnerdichte sowie die Zahl der effizienten Standorte der Verzweigerbereiche modellendogen für jeden HVt-Standort ermittelt. Diese Größen werden anhand des NGA-Modells in Investitions-, Kosten und Subventionswerte übersetzt.⁶ Die vom WIK entwickelten NGA-Modelle beinhalten folgende Grundannahmen:⁷

- Das FTTB/H-Anschlussnetz basiert auf einer Point-to-Point-Architektur (P2P).
- Es erfolgt eine Bottom-up-Netzmodellierung.
- Steady-State-Betrachtung, d. h. die Berücksichtigung einer sukzessiven Migration von Kupfer- auf Glasfaseranschlussnetze erfolgt nicht.
- Die Modellierung erfolgt auf Basis eines Greenfield-Szenarios, bei dem sämtliche Tiefbauarbeiten neu zu tätigen sind.

Der Fokus im vorliegenden Kontext liegt auf dem Investitionsbedarf.

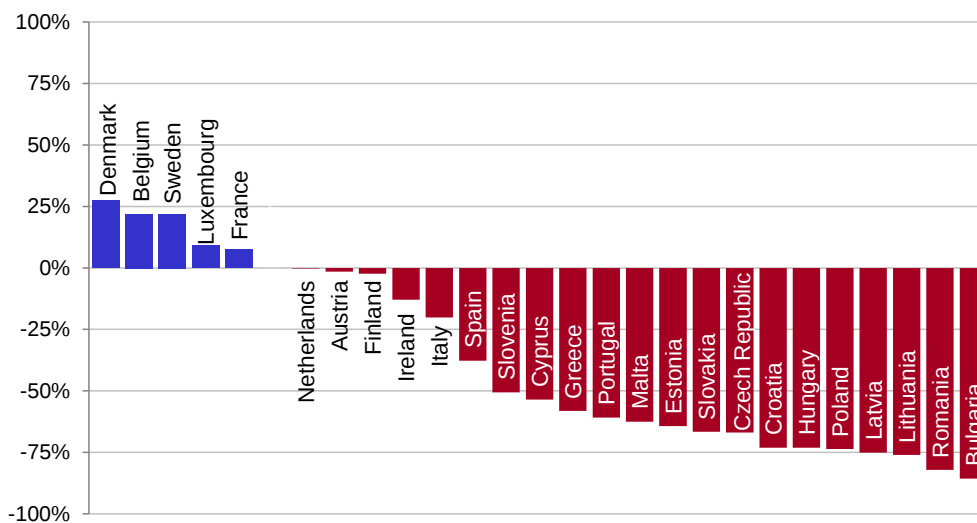
⁶ Zur Erläuterung des Modells siehe Jay et al. (2011).

⁷ Vgl. Sörries et al. (2020).

Arbeitskosten

Für den europäischen Vergleich werden Daten zu den Bruttoarbeitskosten je geleisteter Arbeitsstunde für das produzierende Gewerbe und den Dienstleistungsbereich (NACE Rev. 2: B-N) vom Statistischen Bundesamt (Destatis) erhoben. Die Bruttoarbeitskosten je geleisteter Arbeitsstunde betrugen 2017 in Deutschland 34,20 €. Somit lag Deutschland auf Platz 6 der EU-Skala, nach Dänemark (+27 %), Belgien (+22 %), Schweden (+22 %), Luxembourg (+9 %) und Frankreich (+8 %) (siehe Abbildung 2-1).

Abbildung 2-1: Bruttoarbeitskosten je geleisteter Arbeitsstunde der EU-27 im Verhältnis zu Deutschland (Jahr 2017)



Quelle: Statistisches Bundesamt (2018)

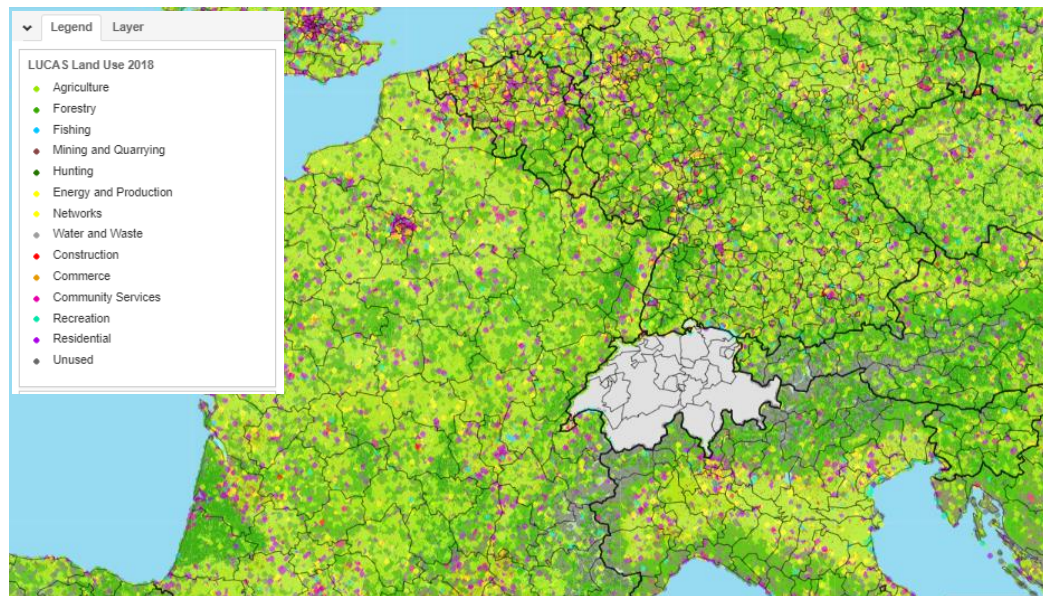
Bevölkerung

Die Bevölkerungszahlen der analysierten EU-Länder werden von der Datenbank der Europäischen Kommission EUROSTAT für das Jahr 2018 bezogen. Um die Analyse möglichst genau durchzuführen, werden diese Zahlen auf der NUTS-3-Ebene erhoben. Die NUTS-Klassifikation (*Nomenclature of Territorial Units for Statistics*) teilt in seiner aktuellen Fassung vom Jahr 2016 die Mitgliedstaaten auf 104 Gebiete auf der NUTS-1-Ebene, 281 Gebiete auf der NUTS-2-Ebene und auf 1.348 Gebiete auf der NUTS-3-Ebene auf. Die NUTS-3-Ebene stellt somit die tiefste verfügbare Gliederungsebene dar.

Bevölkerungsdichte

Neben Bevölkerungszahlen korrespondiert mit jedem NUTS-3-Gebiet eine Bevölkerungsdichte. Daten hierzu werden für das Jahr 2018 gleichermaßen von der Datenbank EUROSTAT bezogen. Die Bevölkerungsdichte ist als Einwohneranzahl pro km² des

Abbildung 2-3: Bodennutzung nach NUTS-3-Gebieten



Quelle: EUROSTAT (2015)

Anmerkung: code: lan_use_oww

2.2 Methodische Vorgehensweise

Die Herleitung des Investitionskostenindex für FTTB/H-Anschlüsse erfolgt in drei Schritten. Zunächst wird in Abschnitt 2.2.1 erläutert, wie das NGA-Modell für den vorliegenden Kontext adaptiert wird. In Abschnitt 2.2.2 wird der zentrale Zusammenhang zwischen Investitionskosten und Bevölkerungsdichte beschrieben. Die Extrapolation der Ergebnisse für Deutschland auf die anderen Mitgliedsstaaten der EU wird in Abschnitt 2.2.3 vorgestellt.

2.2.1 Anwendung des NGA-Modells

Grundlage ist das vom WIK entwickelte NGA-Modell.⁸ Das Modell berechnet den Investitionsbedarf für den FTTB/H-P2P-Ausbau im Anschlussbereich für 100 % der anschließbaren Haushalte in Deutschland. Dabei werden Netzelemente im Verzweigerkabel- und Hauptkabelsegment sowie Verzweigerknoten und Verteiler am *Metropolitan Point of Presence* (MPoP) berücksichtigt. Für den Zweck dieser Studie werden Take-up-bezogene Kosten von der weiteren Analyse ausgegrenzt.⁹ Der aus dem NGA-

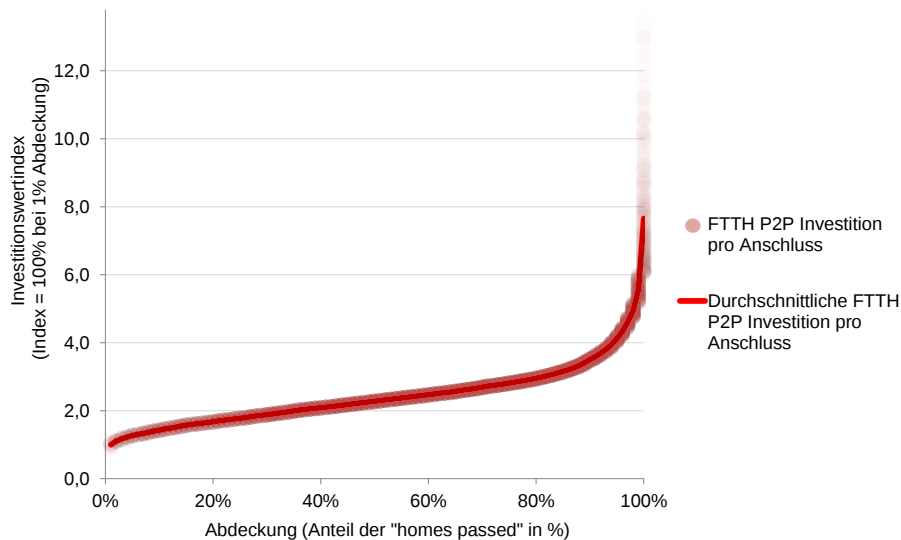
⁸ Vgl. Sörries et al. (2020).

⁹ Darunter fallen Kosten für die gebäudeinterne Infrastruktur (beispielweise *Customer Premises Equipment* (CPE) und die Hauszuführung) sowie einige Kosten für das aktive Equipment am MPoP

Modell resultierende Investitionswert ist MPoP-genau, d. h., es wird ein Investitionswert für jeden der 7.896 MPoPs in Deutschland berechnet. Um diese Werte auf die Abdeckungsskala zu übertragen, werden folgende Schritte durchgeführt:

- Im ersten Schritt werden die MPoPs nach Maßgabe der Kosteneffizienz klassifiziert, d. h. die MPoPs mit den niedrigsten durchschnittlichen Investitionskosten pro Anschluss werden gegenüber den MPoPs mit höheren Investitionskosten pro Anschluss auf der Rangliste höher bewertet.
- In einem zweiten Schritt wird die Abdeckungsskala (1 bis 100 %) abhängig von der Anzahl, der am MPoP vorhandenen Anschlüsse erstellt. Bei einer Gesamtanzahl von 44,2 Mio. Anschlüssen in Deutschland liegt der Anteil eines MPoP an der Gesamtanzahl zwischen 0,0002 % und 0,15 %. Um diese Abdeckungsskala auf 1%-Stufen zu normieren, werden die 7.896 MPoPs in 100er Gruppen (bzw. Cluster) mit jeweils 1 % der Gesamtanschlüsse aufgeteilt. Die Aufteilung der MPoPs auf 1%-stufige Cluster wird ferner durch die Reihenfolge im Schritt 1 definiert (nach Maßgabe der Kosteneffizienz). Dadurch wird gewährleistet, dass nur MPoPs mit vergleichbaren Investitionskosten pro Anschluss gruppiert werden (siehe Abbildung 2-4). Aus diesen homogenen Gruppen werden 100 gewichtete Durchschnitte ermittelt, die die 7.896 Investitionswerte aus dem NGA-Modell auf einer normierten Abdeckungsskala abbilden.

Abbildung 2-4: NGA-modellbasierter Investitionsindex und Abdeckungsskala



Quelle: eigene Berechnungen.

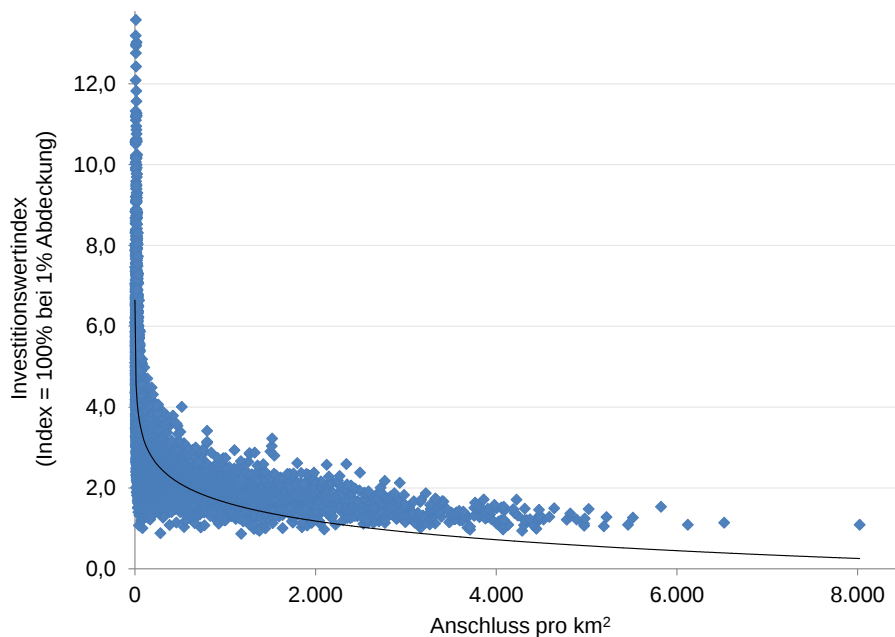
(z. B. *Optical Distribution Frame* (ODF), netzseitige Ports, Ethernet Ports und Raumbedarf des MPoP).

2.2.2 Zusammenhang zwischen Investition und Bevölkerungsdichte

Für den FTTB/H-Ausbau sind kostenintensive Tiefbauarbeiten (Grabungen) erforderlich. Je höher die Anzahl von Haushalten und Geschäften ist, die an einer gemeinsamen Infrastruktur angeschlossen sind, desto geringer fallen die Investitionskosten pro Einheit aus.¹⁰ Das bedeutet, dass bei zunehmender räumlicher Konzentration von Anschlüssen geringere Kosten pro Anschluss anfallen. Diese geographische Komponente wird durch die Bevölkerungsdichte aufgenommen.¹¹

Um den Zusammenhang zwischen Investitionskosten und Bevölkerungsdichte zu quantifizieren, werden Daten aus dem NGA-Modell für Deutschland in einer Regressionsanalyse ausgewertet. Die folgende Abbildung stellt für jeden MPoP den durchschnittlichen Investitionswert pro Anschluss dar, der der Anzahl von Anschlüssen pro km² entspricht.

Abbildung 2-5: Zusammenhang zwischen FTTB/H Investition und Anschluss pro km²



Quelle: eigene Berechnungen.

Aus der Abbildung wird ein negativer und nicht-linearer Zusammenhang ersichtlich, d. h. je höher die Anzahl von Anschlüssen pro km² ist, desto geringer ist der Investi-

¹⁰ BEREC (2016).

¹¹ FTTH Council Europe (2017).

onsbedarf.¹² Zur Quantifizierung des Zusammenhangs wird ein Log-log-Modell gewählt. Tabelle 2-1 zeigt den Regressionsoutput von *FTTB/H-Investition pro Anschluss* als zu erklärende Variable und *Anschluss pro km²* als erklärende Variable.

Tabelle 2-1: Regression von FTTB/H-P2P-Investition und Anschluss pro km²

	LOG (FTTB/H P2P Investition pro Anschluss)
LOG (Anschluss pro km ²)	-0,2083*** (0,0020)
Konstante	3,5843*** (0,0044)
Beobachtungen	7.893
Bestimmtheitsmaß (R ²)	0,5672
Adjustiertes R ²	0,5671
Standardfehler	0,1182

Anmerkung: 3 von den 7.896 Beobachtungen (HvT) fallen aufgrund fehlender Angaben zu den unabhängigen Variablen aus der Regressionsanalyse heraus. Standardfehler in Klammern. Statistische Signifikanz: * $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$

Quelle: eigene Berechnungen.

Die Regressionsanalyse ergibt einen statistisch signifikanten Koeffizienten von **-0,2083**. In Log-log-Modellen können Koeffizienten als Elastizitäten interpretiert werden. Wenn sich die Anzahl der Anschlüsse pro km² um 1 % erhöht, sinkt die erforderliche Investition pro Anschluss um 0,2083 %. Dieser Wert wird dann im Abschnitt 2.2.3 für die Extrapolation auf andere EU-Länder verwendet.

Andere Kostentreiber wie die durchschnittliche Länge der Hauszuführung oder die durchschnittliche Länge im Verzweigerkabel- und Hauptkabelsegment beeinflussen ebenfalls die FTTB/H-Investitionen. Es ist allerdings anzumerken, dass diese Einflussfaktoren stark mit der geographischen Variable „Anschluss pro km²“ korreliert sind (siehe Tabelle 2-2).

¹² Aufgrund der kleinteiligen Aufteilung des Netzes in über 7.000 MPoP-Gebiete ist im Gegensatz zum FTTH Council (2017) an dieser Stelle keine Bereinigung der „irrelevanten“ Flächen erforderlich.

Tabelle 2-2: Korrelationsanalyse: Anschluss pro km² gegen sonstige Einflussfaktoren

	LOG (FTTB/H-Investition pro Anschluss)	LOG (Anschluss pro km ²)	sonstige Einflussfaktoren		
			LOG (Länge Hauszuführung pro km ²)	LOG (Länge Verzweigerkabel pro km ²)	LOG (Länge Hauptkabel pro km ²)
LOG (FTTB/H-Investition pro Anschluss)	1,000	-0,753	-0,687	-0,539	-0,380
LOG (Anschluss pro km²)	-0,753	1,000	0,973	0,951	0,852
LOG (Länge Hauszuführung pro km ²)	-0,687	0,973	1,000	0,950	0,852
LOG (Länge Verzweigerkabel pro km ²)	-0,539	0,951	0,950	1,000	0,929
LOG (Länge Hauptkabel pro km ²)	-0,380	0,852	0,852	0,929	1,000

Anmerkung: 3 von den 7.896 Beobachtungen (HVT) fallen aufgrund fehlender Angaben zu den unabhängigen Variablen aus der Regressionsanalyse heraus

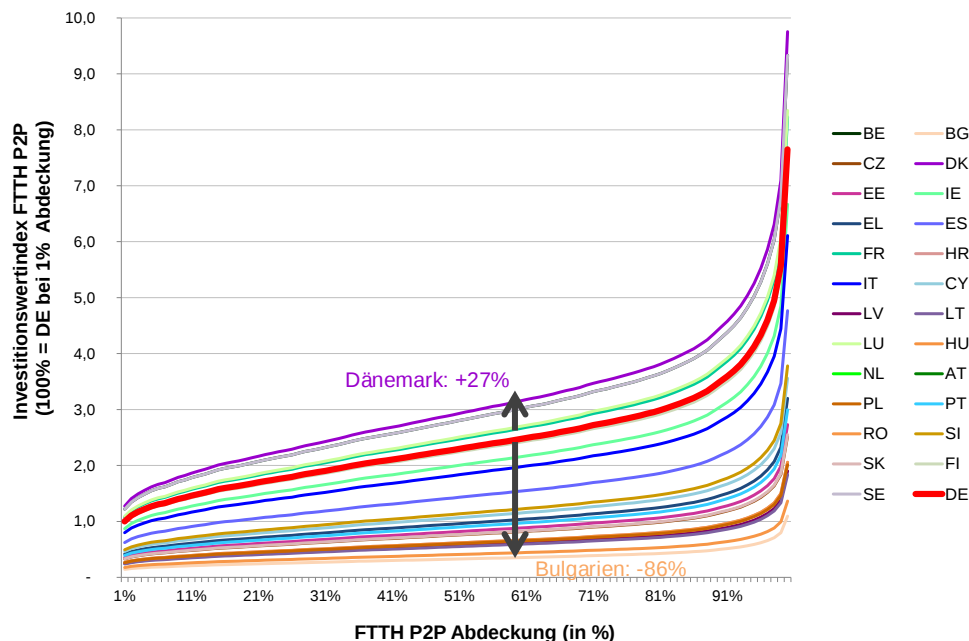
Quelle: eigene Berechnungen.

2.2.3 Extrapolation auf andere EU-Länder

Anpassung nach Arbeitskosten

Auf Basis der im Abschnitt 2.2.1 erstellten Investitionskurve für Deutschland werden für andere EU-Länder Investitionskurven extrapoliert. Dafür werden im ersten Schritt die Unterschiede in den Arbeitskosten zwischen den EU-Ländern berücksichtigt. Anhand der in Abbildung 2-1 dargestellten Vergleichsdaten zu den Arbeitskosten in der EU wird die Investitionskurve für jedes EU-Land angepasst. Die Anpassung geht von einer 100%igen Überwälzungsrate der Arbeitskosten in die FTTB/H-Investition aus. Somit liegt beispielweise die Investitionskurve für Dänemark aufgrund der höheren Arbeitskosten 27 % über der deutschen Kurve, während für Bulgarien die Investitionskurve 86 % darunter liegt (siehe Abbildung 2-6).

Abbildung 2-6: Verschiebung der Investitionskurve nach Berücksichtigung der Arbeitskosten der jeweiligen EU-Länder



Quelle: eigene Berechnungen.

Anpassung nach Bevölkerungsdichte

Aufgrund des Kosteneffizienzprinzips sind stark besiedelte Gebiete (z. B. Großstädte) auf der Abdeckungsskala vorrangig platziert. Dennoch ist die Bevölkerungsverteilung zwischen EU-Ländern sehr unterschiedlich. Beispielsweise macht die Großstadt Kopenhagen in Dänemark oder Wien in Österreich im Gegensatz zu vergleichbar besiedelten Gebieten in Deutschland über 20 % der Bevölkerung aus. Der Extremfall ist der Inselstaat Malta, in dem durch ein Verwaltungsgebiet bereits 93 % der gesamten Bevölkerung abgedeckt sind.

Zudem haben Städte wie Paris, München, Budapest oder Mailand unterschiedliche Bevölkerungsdichten. Paris hat eine Bevölkerungsdichte von 21.044 Einwohnern/km², München von 4.722 Einwohnern/km², Budapest von 3.433 Einwohnern/km² und Mailand von 2.079 Einwohnern/km². Auch bei der Dichte und Verteilung von suburbanen oder ländlichen Gebieten ist Deutschland mit anderen EU-Ländern wie den Niederlanden, Spanien oder Schweden nicht vergleichbar.

Anhand dieser Erkenntnis wird in einem weiteren Schritt die Steigung bzw. Progression der Investitionskurve der jeweiligen EU-Länder entlang der Abdeckungsskala so angepasst, dass die Kurve die länderspezifische Bevölkerungsverteilung widerspiegelt.

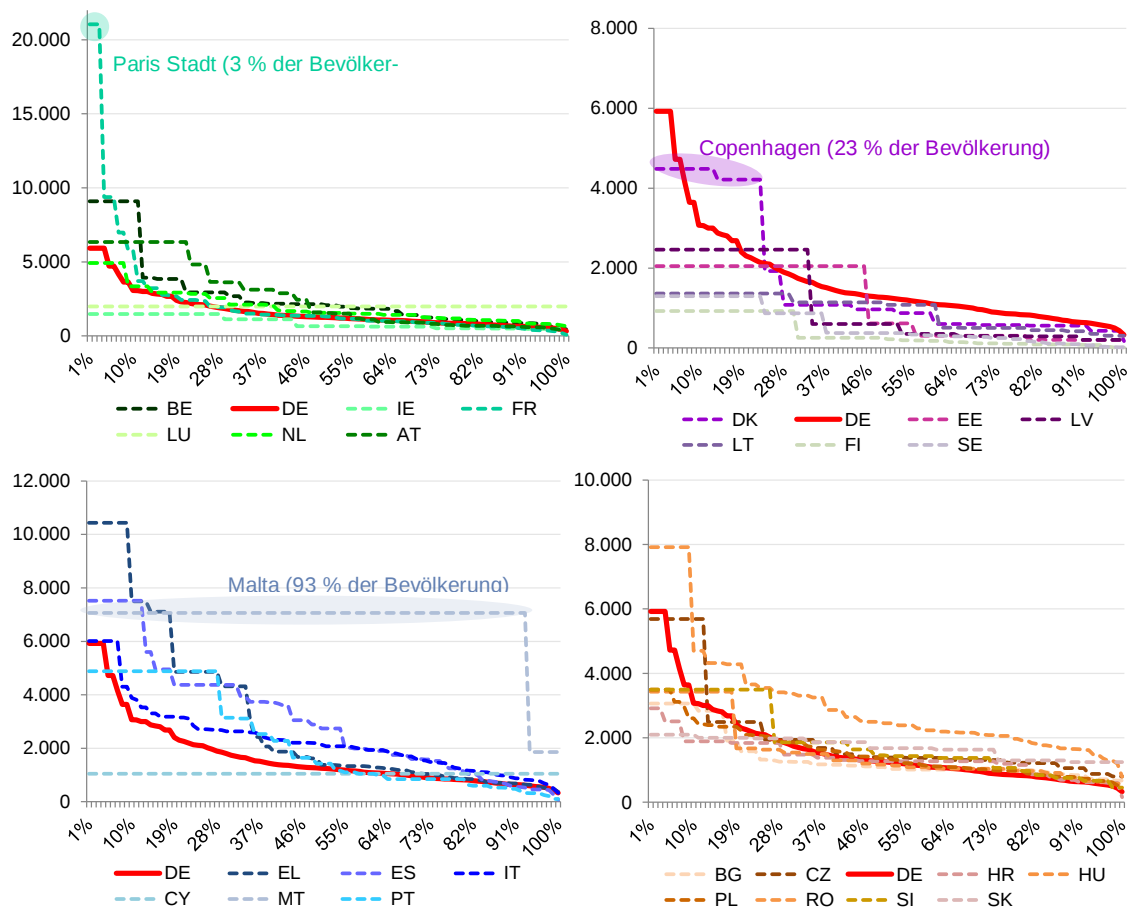
Dabei werden zwei geographische Einflussgrößen für die Anpassung der Investitionskurve einbezogen: der **Bevölkerungsanteil** und die **Bevölkerungsdichte**.

Anhand der Bevölkerungsdaten von EUROSTAT auf NUTS-3-Ebene wird die Anpassung auf dem höchsten disaggregierten Niveau hinsichtlich der Flächenabgrenzung und Datenverfügbarkeit in der EU durchgeführt. Die *Nomenclature of Territorial Units for Statistics* bzw. NUTS entspricht auf Niveau 3 in Deutschland den Landkreisen.

Mittels dieser disaggregierten Bevölkerungszahlen werden Bevölkerungsanteile pro NUTS-3-Gebiet produziert, die mit der entsprechenden Bevölkerungsdichte zugeordnet werden. Dann werden dichtere Gebieten analog zum Abschnitt 2.2.1 auf der Abdeckungsskala vorrangig platziert. Somit deckt beispielsweise Frankreich mit „FR101“ (NUTS-3: Paris-Stadt) mit einer Bevölkerungsdichte von 21.044 Einwohnern/km² die ersten 3 % auf der Abdeckungsskala ab. Dadurch wird für jedes Land die disaggregierte Bevölkerungsdichte auf der Abdeckungsskala (von 1 bis 100 %) anhand der länderspezifischen Bevölkerungsdaten zugeordnet.¹³

¹³ In Fällen, bei denen das jeweilige NUTS-3-Gebiet weniger als 1 % der Bevölkerung ausmacht, wird analog wie im Abschnitt 2.2.1 ein Durchschnitt zwischen vergleichbaren NUTS-3-Gebieten gebildet, bis der 1%ige Anteil erreicht ist.

Abbildung 2-7: Bevölkerungsdichte und Abdeckungsskala nach EU-Land



Quelle: eigene Berechnungen.

Aufgrund der unterschiedlichen NUTS-3-Abgrenzungen¹⁴ kann bei einigen (kleinen bzw. schwach bevölkerten) Mitgliedstaaten ein künstlicher Stufenverlauf in der Bevölkerungsdichte vorliegen (siehe Abbildung 2-7). Diese Stufen werden mittels gleitender Durchschnitte geglättet.

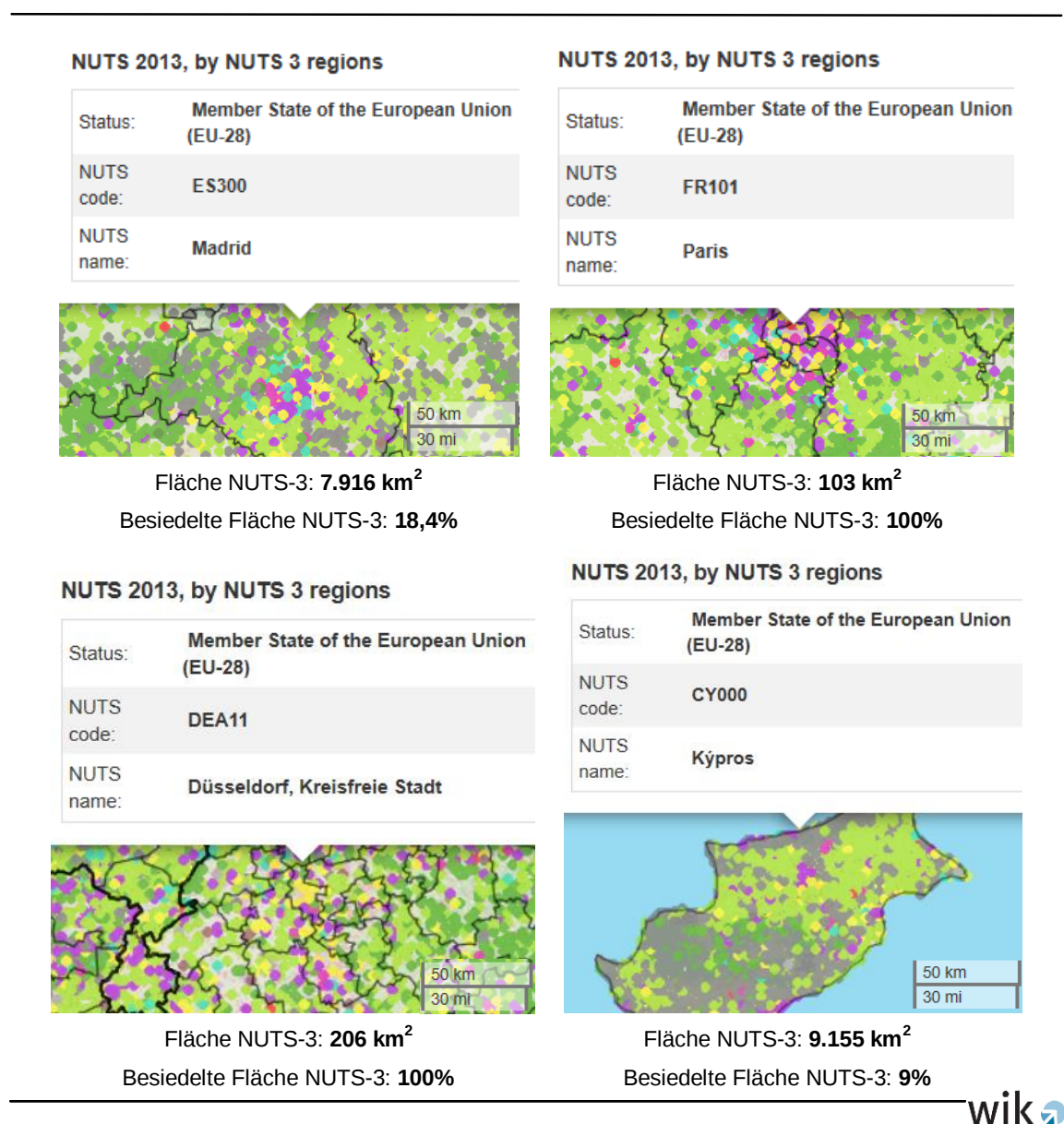
Bereinigung um irrelevante Flächen

Vor Anwendung der oben dargestellten länderspezifischen Bevölkerungsverteilung wird eine Korrektur der Bevölkerungsdichte gemäß der tatsächlich besiedelten Flächen durchgeführt. Dies erfolgt vor dem Hintergrund, dass für einen Großteil der NUTS-3-Gebiete ungenutzte Flächen oder sonstige FTTB/H-irrelevante soziowirtschaftliche Aktivitäten (wie Land- und Forstwirtschaft) bei der Flächenabgrenzung eingeschlossen sind.

¹⁴ Während Deutschland über 401 NUTS-3-Gebiete verfügt, hat Zypern nur 1 NUTS-3-Gebiet.

Beispielsweise hat FR101 (Paris-Stadt) eine Fläche von 103 km². ES300 (Madrid) 7.916 km². Diese Fläche ist 77-mal größer als Paris-Stadt. Wie aus der untenstehenden Abbildung ersichtlich ist, schließt die NUTS-3-Abgrenzung ES300 (Madrid) im Gegensatz zu Paris eine große Menge an nicht FTTB/H-relevanten Flächen ein.

Abbildung 2-8: Flächenvergleich nach Bodennutzung und heterogenen NUTS-3-Abgrenzungen



Quelle: eigene Darstellung.

Anhand von Daten aus EUROSTAT LUCAS werden NUTS-3-Gebiete um die Flächen bereinigt, die für den FTTB/H-Ausbau nicht relevant sind. Dabei werden im ersten

Schritt die „nicht FTTB/H-relevanten“ Flächen ausgegrenzt und Anteile für die tatsächlich besiedelten Flächen berechnet. Als besiedelte Flächen gelten:

- Wohngebiete und Dienstleistungen (Code: LUE)
- Bodennutzung mit starken Umweltauswirkungen (Code: LUF)

Da diese Angaben lediglich für NUTS-2-Gebiete verfügbar sind, erfolgt die Berechnung der besiedelten Anteile auf NUTS-3-Ebene nach Maßgaben der von FTTB Council Europe (2017) angewandten Regeln. Somit verbleiben beispielsweise von der Gesamtfläche von 7.916 km² in ES300 (Madrid) nur 18,4 % an FTTB/H-relevanter Fläche. Auf dieser Basis steigt die Bevölkerungsdichte in ES300 (Madrid) von 827 auf 4.496 Einwohner/km², da die gleiche Einwohnerzahl nun auf eine kleinere (FTTB/H-relevante) Fläche bezogen wird.

Erstellung der FTTB/H-Investitionsindizes

Mit den bereinigten Bevölkerungsdichten wird die FTTB/H-Investitionskurve für jedes EU-Land angepasst. Dafür werden Anpassungsfaktoren konstruiert. Diese reflektieren das Verhältnis der jeweiligen EU-Länder zu Deutschland bei jedem Abdeckungslevel hinsichtlich der korrigierten Bevölkerungsdichten. Beispielsweise beträgt der Anpassungsfaktor für Spanien 1,36 beim ersten Prozent auf der Abdeckungsskala, und 0,74 beim letzten Prozent. Das weist darauf hin, dass in städtischen Gebieten (erstes 1 % auf der Abdeckungsskala) die Bevölkerungsdichte in Spanien 36 % höher ist als in Deutschland. Umgekehrt ist es in ländlichen Gebieten. Dort ist die Bevölkerungsdichte in Spanien in Relation zu Deutschland 26 % geringer.

Anhand des quantifizierten Zusammenhangs zwischen Anzahl der Anschlüsse pro km² und FTTB/H-Investition aus Abschnitt 2.2.2 ist bekannt, dass die erforderliche FTTB/H-Investition pro Anschluss um 0,2083 % sinkt, wenn die Zahl der Anschlüsse pro km² um 1 % steigen (sog. Elastizität). Da der Korrelationskoeffizient zwischen der Anzahl von Anschlüssen pro km² (in Deutschland) und der bereinigten Bevölkerungsdichte bei nahezu 1 ist, wird diese geographische Variable als geeigneter Proxy für die tatsächliche Anzahl von Anschlüssen pro km² für andere EU-Länder verwendet.

Die errechneten Anpassungsfaktoren werden sodann mit der Elastizität (-0,2083) verknüpft, um die erforderliche Anpassung für die Zielvariable FTTB/H-Investition pro Anschluss für jeden Mitgliedsstaat zu ermitteln. Beispielsweise ergibt sich für Spanien ein Investitionskostenindex in Höhe von 0,92 beim ersten Prozentpunkt der Abdeckungsskala nach Multiplikation der Elastizität (-0,2083) mit der entsprechenden Anpassungsrate der Bevölkerungsdichte (+36 %). Dies bedeutet, dass aufgrund der höheren Bevölkerungsdichte in dem ersten 1 % der Abdeckungsskala die erforderliche FTTB/H-Investition in Spanien 8 % geringer ausfällt als in Deutschland. Einschließlich der Anpassung um Arbeitskosten sinkt die erforderliche FTTB/H-Investition pro Anschluss in Spanien von 0,92 auf 0,58 Indexpunkte für den ersten Prozentpunkt auf

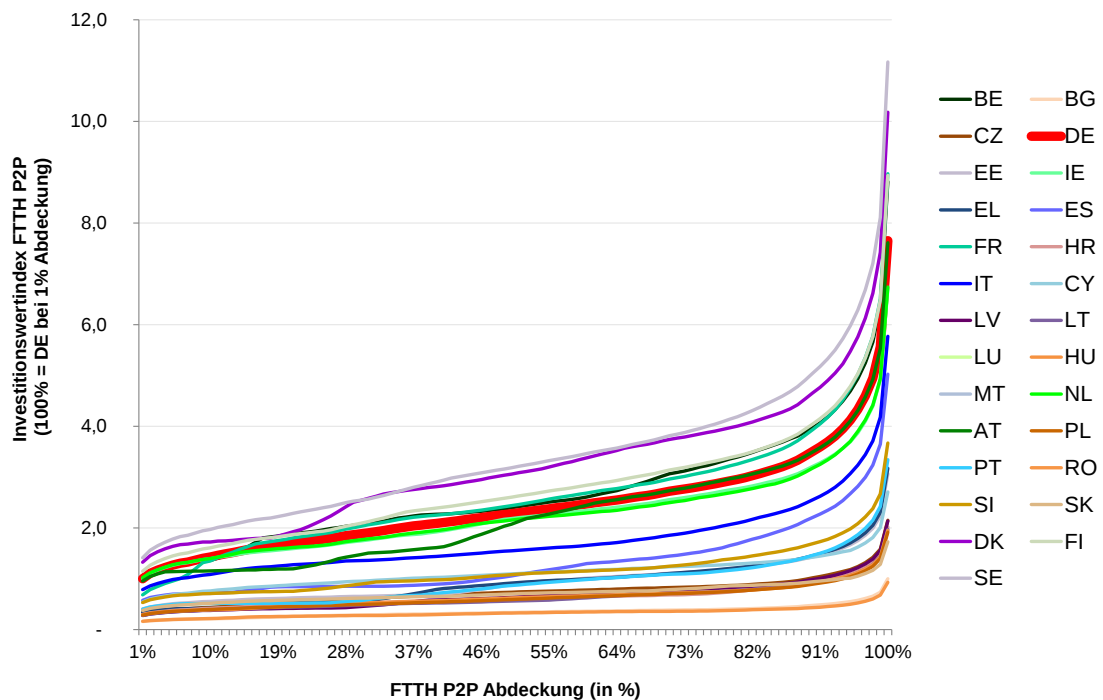
der Abdeckungsskala. Dieses Verfahren findet für jedes EU-Land und Prozentpunkt auf der Abdeckungsskala Anwendung.

2.3 Ergebnisse

Das beschriebene Vorgehen resultiert in einer Investitionskostenindexkurve für jeden Mitgliedsstaat der EU, wobei die Indexwerte mit der erreichten FTTB/H-Abdeckung steigen (siehe Abbildung 2-9). Referenzpunkt ist Deutschland und dort der erste Prozentpunkt auf der Abdeckungsskala. Deutschland liegt in Bezug auf die Investitionskosten für den Glasfaserausbau im oberen Drittel der EU-27. Der Indexwert steigt von 1 für das erste Prozent auf 7,56 für das letzte Prozent der Abdeckungsskala. Rumänien und Bulgarien weisen die geringsten Indexwerte des Samples auf. Das letzte Prozent auf der Abdeckungsskala kann in diesen beiden Ländern um rund den Faktor 10 kostengünstiger erschlossen werden als in Schweden oder Dänemark, die mit 11,17 bzw. 10,18 den oberen Rand der Indexskala bilden.

Die Indexierung gewährleistet somit die Vergleichbarkeit der Werte zwischen den Mitgliedsstaaten. Es ist leicht ersichtlich, dass den Kurvenverläufen eine Matrix zugrunde liegt mit der Dimension 100 (Schritte auf der Abdeckungsskala) $\times$ 27 (Anzahl der Mitgliedsstaaten).

Abbildung 2-9: FTTB/H-P2P-Investitionskurve nach EU-Land



Quelle: eigene Berechnungen.

Der modellbasierte Investitionskostenindex ist deutlich näher an der Realität der tatsächlichen Kosten eines FTTB/H-Ausbaus als die in der empirischen Literatur als Proxy für die Investitionskosten verwendeten Änderungsraten der FTTB/H-Abdeckung.¹⁵ Letztere unterstellen implizit, dass ein Ausbau am unteren Rand der Abdeckungsskala genauso teuer ist wie am oberen Rand. In Abbildung 2-9 wäre dies eine Gerade parallel zur X-Achse.

Es ist daher zu vermuten, dass empirische Analysen auf Basis des Investitionskostenindex zu besseren Schätzergebnissen führen als die Änderungsraten der FTTB/H-Abdeckung. Um dies zu überprüfen, werden in den nun folgenden Schätzungen beide Größen gegenübergestellt.

15 Der Investitionskostenindex berücksichtigt explizit Unterschiede in den Arbeitskosten sowie die Bevölkerungsdichte und deren Verteilung in der Fläche. Es sei jedoch erwähnt, dass aufgrund fehlender Informationen der Einfluss unterschiedlicher Verlegetechniken nicht erfasst ist. So kann die Glasfaser auf verschiedene Art und Weise sowohl ober- als auch unterirdisch verlegt werden mit entsprechenden Implikationen für die Investitionskosten. Siehe z. B. Breitband.NRW (2017).

3 Empirische Analyse der Einflussgrößen von FTTB/H-Investitionen im europäischen Vergleich

In diesem Kapitel werden die quantitativen Analysen zur Evaluierung der wesentlichen Einflussgrößen auf den Ausbau gigabitfähiger Glasfasernetze in Europa dargestellt. Sie stellen durch die Einbeziehung des Investitionskostenindex eine Weiterentwicklung von Wernick et al. (2020) dar. Die Datengrundlage wird in Abschnitt 3.1 beschrieben. Anschließend wird der Schätzansatz in Abschnitt 3.2 erläutert. Die Ergebnisse der Schätzungen werden in Abschnitt 3.3 vorgestellt.

3.1 Datenbasis

Der Datensatz umfasst die 27 Mitgliedsstaaten der EU (EU-27).¹⁶ Die Daten sind überwiegend der jährlichen Studie Broadband Coverage in Europe entnommen.¹⁷ Der Betrachtungszeitraum ist 2011 bis 2017.

Die zu erklärende Variable sind die Investitionskosten für FTTB/H-Anschlüsse. Es werden zwei Proxys für die Investitionskosten betrachtet. Analog der empirischen Literatur wird dabei einmal die FTTB/H-Abdeckung (*fttbh_cov*) bzw. deren jährliche Änderungsrate (*dfttbh_cov*) als erste Differenz von *fttbh_cov* verwendet.¹⁸ Zum anderen wird auf die modellbasierten Ergebnisse für den Investitionskostenindex aus Kapitel 2 zurückgegriffen. Da die Ergebnisse als Matrix über die EU-27 und über die Abdeckungsgrade von 1 % bis 100 % in 1-%-Schritten vorliegen, müssen die Ergebnisse noch in eine Panelvariable überführt werden. Das Vorgehen ist schematisch in Abbildung 3-1 dargestellt. Die modellbasierten Ergebnisse in Matrixform befinden sich in der linken Hälfte der Graphik. Die Paneldatenstruktur erfordert jedoch für alle Länder Informationen für jedes Jahr des Betrachtungszeitraums 2011 bis 2017 in Abhängigkeit der tatsächlich in diesem Jahr erreichten Abdeckung und der zu beobachtenden Änderung der Abdeckung. In Abbildung 3-1 ist das Beispiel Österreich (AT) für das Jahr 2012 hervorgehoben. Die FTTB/H-Abdeckung ist von 2011 auf 2012 um 1 % von 5,3 % auf 6,3 % gestiegen. Diese Werte werden nun mit den Informationen aus der Investitionskostenindexmatrix kombiniert, indem die jeweiligen Abdeckungsgrade anteilig berücksichtigt werden. Da es sich bei den Kosten um Wertgrößen handelt, müssen diese noch abschließend mit dem Verbraucherpreisindex (VPI) für Österreich deflationiert werden. Daraus ergibt sich final der Eintrag für den Investitionskostenindex (*index*) für Öster-

¹⁶ Aufgrund des BREXIT bleibt das Vereinigte Königreich unberücksichtigt. Kontrollrechnungen unter Einbeziehung des Vereinigten Königreichs zeigen, dass die Ergebnisse nahezu unverändert bleiben.

¹⁷ Vgl. Europäische Kommission (2018). Aufgrund von Dateninkonsistenzen konnte nicht auf die neueste Veröffentlichung aus 2019 zurückgegriffen werden.

¹⁸ Ein weiterer Grund liegt in der Autokorrelation der FTTB/H-Abdeckung. Dies bedeutet, dass die FTTB/H-Abdeckung eines Landes im Jahr t auch vom Niveau der FTTB/H-Abdeckung des vorangehenden Jahres ($t-1$) abhängt. Bei Autokorrelationen führen Panelschätzungen zu verzerrten Ergebnissen. Die ersten Differenzen umgehen dieses Problem.

reich für das Jahr 2012 in Höhe von 1,42.¹⁹ Der Index gewährleistet, dass ein Land mit steigenden Abdeckungsgraden und gleichen jährlichen Änderungsraten höhere Investitionskosten aufweist.

Abbildung 3-1: Überführung der Modellergebnisse für den Investitionskostenindex in eine Panelvariable

Abdeckung	AT	BE	...
1%	0,99	1,22	
2%	1,09	1,35	
3%	1,15	1,43	
4%	1,2	1,49	
5%	1,25	1,55	
6%	1,29	1,59	
7%	1,31	1,62	
8%	1,35	1,66	
9%	1,38	1,71	
10%	1,41	1,74	
...	...		
100%	7,54	9,33	

→

country_id	year	fttp_cov	dfttp_cov	Index
AT	2011	5,3%		
AT	2012	6,3%	1,0%	1,42
AT	2013	7,1%	0,8%	1,08
AT	2014	7,1%	0,0%	0,00
AT	2015	7,1%	0,0%	0,00
AT	2016	8,0%	0,9%	2,61
AT	2017	12,4%	4,4%	6,09
BE	2011	0,2%		
BE	2012	0,3%	0,1%	0,15
BE	2013	0,4%	0,0%	0,04
BE	2014	0,4%	0,0%	0,01
BE	2015	0,4%	0,0%	0,00
BE	2016	0,6%	0,2%	0,30
BE	2017	0,8%	0,2%	0,27

- Benötigt Änderung (*dfttp_cov*) und Niveau (*fttp_cov*) der Abdeckung
- Bsp. AT 2012: $[0,7 * 1,29 + 0,3 * 1,31]$
- Deflationiert mit VPI_{AT} (Basis 2015=100)

Quelle: eigene Darstellung.

Hinsichtlich möglicher Einflussfaktoren (Erklärungsvariable) können grundsätzlich sowohl angebots- und nachfrageseitige als auch strukturelle Faktoren auf den FTTB/H-Ausbau einwirken. Die Wirtschaftlichkeit von FTTB/H-Investitionen hängt maßgeblich von den Ausbaurkosten, der Take-up-Rate und dem erzielbaren Umsatz pro Kunde (*Average Revenue per User*, ARPU) ab.²⁰ Je niedriger die Ausbaurkosten und je höher die Take-up-Rate und der ARPU sind, umso profitabler und attraktiver wird ein Ausbauvorhaben.

Die Ausbaurkosten als angebotsseitiger Bestimmungsfaktor werden wiederum stark von der Bevölkerungsdichte als strukturellem Faktor beeinflusst. In weniger dicht besiedelten Gebieten ist der Ausbau teurer als in sehr dicht besiedelten Gebieten, da für die Erschließung eines Haushaltes in sehr ländlichen Gebieten wesentlich längere Stre-

¹⁹ Es sei darauf hingewiesen, dass die Werte für den Investitionskostenindex nicht in Euro notiert sind. Vielmehr sind sie auf den deutschen Abdeckungsgrad von 1 % normiert und daher dimensionslos, wodurch die Vergleichbarkeit der Werte gewährleistet wird und Verzerrungen vermieden werden. Siehe Kapitel 2.

²⁰ Vgl. z. B. Jay et al. (2011).

cken an Glasfaser verlegt werden müssen als in sehr städtischen Gebieten.²¹ Dies wird durch die Variablen Bevölkerungsdichte (*log_pop_dens*)²² und prozentualer Anteil an ländlichen Haushalten (*hh_rural_proz*) abgebildet. Eine hohe Bevölkerungsdichte sollte aus den genannten Gründen positive, ein hoher Anteil an ländlichen Haushalten negative Auswirkungen auf den FTTP Ausbau haben.

Die FTTB/H-Take-up-Rate (*fttbh_take_up*) sowie die Breitbandpenetration (*bb_pen*) als nachfrageseitige Bestimmungsfaktoren der Wirtschaftlichkeit des Glasfaserausbaus werden direkt als unabhängige Variable einbezogen. Als weiterer nachfrageseitiger Einflussfaktor wird das Bruttoinlandsprodukt pro Kopf (*log_gdp_cap*) als allgemeiner Wohlstandsindikator berücksichtigt. Das BIP sollte positive Auswirkungen auf die Zahlungsbereitschaft für hochwertige Breitbandprodukte sowie auf die Nachfrage nach diesen Produkten und damit auf die FTTB/H-Take-up-Rate bzw. die Breitbandpenetration haben.

Ferner ist bei der vorliegenden Fragestellung der infrastrukturelle Wettbewerb mit anderen Technologien zu berücksichtigen. Daher werden auch die Abdeckungen durch andere Technologien – Kabel (*cb_cov*), DOCSIS als höherwertige Kabelvariante (*dcs_cov*),²³ DSL (*dsl_cov*) und VDSL (*fttc_cov*) – als mögliche Erklärungsvariable mit in die Analyse einbezogen. Das Vorhandensein alternativer Technologien, über die ähnliche Endkundenprodukte generiert werden können, kann Anreize für Investitionen und einen dynamischen Infrastrukturwettbewerb und damit für den FTTB/H-Ausbau bieten, allerdings verringern sich durch das Vorhandensein alternativer Technologien auch der adressierbare Markt und die erreichbare Take-up-Rate. Daher ist die zu erwartende Wirkungsrichtung zunächst unbestimmt. In vielen EU-Ländern sind auf den Breitbandmärkten die Kabelnetzbetreiber die wesentlichen alternativen Wettbewerber.²⁴

Tabelle 3-1 enthält einen Überblick über die wesentlichen abhängigen und unabhängigen Variablen des Datensatzes.

²¹ Vgl. z. B. Jay et al. (2011) und Plückebaum (2014).

²² Absolutwerte werden aus Skalierungsgründen logarithmiert, was bessere Schätzeigenschaften impliziert. Vgl. z. B. Kumbhakar et al. (2015).

²³ DOCSIS steht für *Data Over Cable Service Interface Specification* und ist ein Übertragungsstandard in Kabelnetzen. Die Einführung des DOCSIS-Standards bildete die Basis für hochleistungsfähige Breitbandprodukte, so dass Kabelnetzbetreiber in zahlreichen Mitgliedsstaaten zu den wesentlichen alternativen Wettbewerbern auf den Märkten für Breitbanddienste geworden sind. Der Datensatz enthält Abdeckungsgrade für den Standard DOCSIS 3.0 oder höher, der Übertragungsraten von rund 1 Gbit/s im Download und rund 100 Mbit/s im Upload ermöglicht. Vgl. Kroon et al. (2017: 43).

²⁴ Vgl. Queder et al. (2019).

Tabelle 3-1: Beschreibung der wesentlichen Variablen des Datensatzes

Variable	Bezeichnung	Quelle	Wirkung
Abhängige Variable			
FTTB/H-Abdeckung	<i>fttbh_cov</i>	Broadband Coverage EU	
Investitionskostenindex	<i>index</i>	WIK-NGA-Modell	
Erklärungsvariable			
Angebotsseitig			
Bevölkerungsdichte	<i>log_pop_dens</i>	Broadband Coverage EU	Pos.
Anteil ländlicher Haushalte	<i>hh_rural_proz</i>	Broadband Coverage EU	Neg.
Nachfrageseitig			
BIP pro Kopf	<i>log_gdp_cap</i>	Weltbank	Pos.
Breitbandpenetration (Breitbandkunden/Haushalte)	<i>bb_pen</i>	EU-Studien zu Abdeckung und Zugang	Pos.
FTTB/H-Take-up-Rate	<i>fttbh_take_up</i>	EU-Studien zu Abdeckung und Zugang	Pos.
Infrastrukturwettbewerb			
Kabelabdeckung	<i>cb_cov</i>	Broadband Coverage EU	?
DOCSIS-Abdeckung	<i>dcs_cov</i>	Broadband Coverage EU	?
DSL-Abdeckung	<i>dsl_cov</i>	Broadband Coverage EU	?
VDSL-Abdeckung	<i>fttc_cov</i>	Broadband Coverage EU	?

Anmerkung: Vermutete Wirkungsrichtung auf abhängige Variable: pos. = positiv, neg. = negativ, ? = unbestimmt.

Quelle: eigene Zusammenstellung.

Die Variablen im Rahmen von Panelbetrachtungen enthalten zwei Arten von Informationen

- die Veränderung im Zeitverlauf (Within-Variation), also der zusätzliche Ausbau von FTTB/H innerhalb eines Landes über die Zeit, sowie
- den Unterschied zwischen den Ländern (Between-Variation).

Tabelle 3-2 enthält die deskriptiven Statistiken für die abhängigen Variablen (*fttbh_cov*, *dfttbh_cov* und *index*).²⁵ Die geringere Beobachtungsanzahl (N=158) bei den jährlichen Veränderungsraten der FTTB/H-Abdeckung (*dfttbh_cov*) sowie beim Investitionskostenindex (*index*) gegenüber *fttbh_cov* (N=185) ist auf die Differenzenbildung zurückzuführen. In der Spalte „Anteile“ in Tabelle 3-2 ist die Aufsplittung der Gesamtvariation in Within- und Between-Variation enthalten. Ein Großteil der Variation der FTTB/H-Abdeckung ist durch die Unterschiede zwischen den Ländern bedingt. Bei der Ausbaurate besteht kein großer Unterschied zwischen Between- und Within-Variation. Diese Feststellung ist von Relevanz für die Schätzstrategie, um die in den Daten enthaltenen Informationen adäquat nutzbar zu machen. Beide Variationen können unter Umständen durch unterschiedliche Ursachen hervorgerufen werden und somit unterschiedliche Erklärungsansätze für den zu beobachtenden FTTB/H-Ausbau liefern. Die unterschied-

²⁵ Die deskriptiven Statistiken für alle Variablen aus Tabelle 3-1 sind im Anhang zu finden.

liche Verteilung der Variationskomponenten zwischen den beiden für die Investitionskosten verwendeten Proxys *dfttbh_cov* und dem Investitionskostenindex könnte zudem ein Indiz dafür sein, dass die Variablen durch unterschiedliche Einflussgrößen getrieben werden. Allerdings besteht mit 0,75 eine relativ hohe Korrelation zwischen beiden Größen, was wiederum eher das Gegenteil vermuten lässt. Diese Aspekte sind jedoch bei der Schätzstrategie entsprechend zu berücksichtigen, um fehlerhafte Interpretationen der Daten zu vermeiden.

Tabelle 3-2: Deskriptive Statistiken für die abhängigen Variablen

Variable		Mean	Std. Dev.	Anteile	Min	Max	Observations
<i>fttbh_cov</i>	overall	0,294	0,243		0	0,853	N = 185
	between		0,234	75,2%	0	0,802	n = 27
	within		0,077	24,8%	0	0,605	T-bar = 6,852
<i>dfttbh_cov</i>	overall	0,031	0,039		0	0,221	N = 158
	between		0,021	39,1%	0	0,103	n = 27
	within		0,033	60,9%	0	0,200	T-bar = 5,852
<i>index</i>	overall	3,684	5,122		0	27,168	N = 158
	between		3,965	54,6%	0	13,720	n = 27
	within		3,293	45,4%	0	17,133	T-bar = 5,889

Quelle: eigene Berechnungen.

3.2 Schätzansatz

In der bestehenden Literatur wird in erster Linie ein Fixed-Effect-Schätzer (FE) verwendet. Ein solcher hat den Vorteil, dass eine etwaige unbeobachtete Effektheterogenität entlang der Länder nicht das Ergebnis verzerrt. Andererseits besteht der Nachteil, dass die Between-Variation keine Berücksichtigung findet. Ein Fixed-Effect-Schätzer berücksichtigt lediglich die Within-Variation, mithin die zusätzlichen ausgebauten Haushalte je Land und damit nur die von 2011 bis 2017 erschlossenen Haushalte. Die in der Between-Variation enthaltenen Informationen bleiben dabei ungenutzt. Da unter Umständen unterschiedlich gerichtete Effekte für die Between- und Within-Variation bestehen, lässt sich die Frage nur über eine zusätzliche Verwendung des Between-Schätzers (BE) beantworten, der die Unterschiede im Niveau der FTTB/H-Abdeckung berücksichtigt.²⁶

Der Between-Schätzer wird vergleichsweise selten in der empirischen Wirtschaftsforschung angewandt. Dies liegt darin begründet, dass in der Regel einheitliche Effekte für Between- und Within-Variationen angenommen werden können.²⁷ Wird beispielsweise der Effekt des BIP auf den Breitbandausbau geschätzt, ist anzunehmen, dass sowohl

²⁶ Ein Random-Effect-Schätzer (RE) könnte zwar beide Effekte zugleich evaluieren. Allerdings kommt es bei nicht gleichgerichteten Wirkungen zu Überlagerungen, so dass die Effekte nicht isoliert werden können mit der Folge, dass die Schätzergebnisse verzerrt sind.

²⁷ Vgl. Gould (2017).

die Steigerung des BIP eines Landes als auch das höhere BIP des Landes A gegenüber dem Land B positive Effekte auf das Steueraufkommen haben. In unserem Kontext jedoch ist a priori offen, ob eine einheitliche Effektrichtung vorliegt. So können hohe FTTB/H-Abdeckungsraten zu Beginn des Betrachtungszeitraums, wie z. B. in den baltischen Staaten, eine andere Ursache haben als die Ausbauverläufe zwischen 2011 und 2017. Daher wird neben dem Fixed-Effekt-Schätzer auch der Between-Schätzer angewendet.

Der FE-Schätzer hat folgende Schätzgleichung:

$$(1) y_{it} = \beta' X_{it} + \alpha_i + u_{it},$$

wobei y_{it} die zu erklärende Variable (*dfttbh_cov* bzw. *index*), X_{it} die Matrix der Erklärungsvariablen, α_i zeitinvariante länderspezifische Effekte und u_{it} den normalverteilten Fehlerterm abbilden. Die beiden Dimensionen des Panels werden durch die Subskripts i für das Land und t für das Jahr erfasst.

Für die BE-Schätzgleichung gilt analog:

$$(2) \bar{y}_i = \alpha + \beta' \bar{X}_i + \bar{u}_i,$$

wobei pro Land nur jeweils die Mittelwerte über die Zeit für die abhängige Variable ($\bar{y}_i = \frac{1}{T} * \sum y_{it}$), die Erklärungsvariablen ($\bar{X}_i = \frac{1}{T} * \sum X_{it}$) und den normalverteilten Fehlerterm ($\bar{u}_i = \frac{1}{T} * \sum u_{it}$) in die Schätzgleichung eingehen. Die Konstante α kontrolliert für eventuell nicht berücksichtigte Niveauunterschiede zwischen den Staaten.

Um adäquate Schätzgleichungen zu erhalten und somit Aussagen über die wesentlichen Einflussfaktoren für den FTTB/H-Ausbau treffen zu können, müssen aus Tabelle 3-1 die für die Schätzung relevanten Erklärungsvariablen identifiziert werden. Dabei wird auf einen Suchalgorithmus zurückgegriffen, der die unterschiedlichen Variablenkombinationen testet. Stufenweise oder heuristische²⁸ Suchalgorithmen, die z. B. Vorwärts- und Rückwärtsselektionsmechanismen miteinander kombinieren, sind in der Regel nicht für Schätzungen von Paneldaten geeignet. Ferner sind die Ergebnisse abhängig vom Suchpfad und können daher ein globales Optimum nicht garantieren (*In Sample Optimality Problem*). Der Ansatz von Gluzman und Panigo (2015) überwindet diese Probleme und sucht nach dem globalen Optimum hinsichtlich eines Zielkriteriums aus allen möglichen Variablenkombinationen. Als Zielkriterium wurde eine Kombination aus dem Akaike Informationskriterium (AIC) und dem Informationskriterium nach Schwartz (BIC) gewählt. Bei der Auswahl möglicher Erklärungsvariablen besteht ein Trade-off zwischen der Erhöhung des Erklärungsgehalts und Modellkomplexität. Die verschiedenen zur Verfügung stehenden Selektionskriterien unterscheiden sich in der Regel darin, wie die Hinzunahme weiterer Erklärungsvariablen und somit die Zunahme der Modellkomplexität sanktioniert wird. Beim AIC besteht eine Tendenz zum Overfitting

²⁸ Hierzu zählt auch die Methode „Versuch und Irrtum“.

(Einbeziehung zu vieler Variablen mit der Folge einer unnötig hohen Modellkomplexität). Beim BIC besteht hingegen eine Tendenz zum Underfitting (Einbeziehung zu weniger Variablen mit der Folge, wesentliche Erklärungsinhalte unberücksichtigt zu lassen). Durch die Verwendung einer Kombination aus unterschiedlichen Kriterien kann ein Ausgleich dieser Tendenzen erreicht werden.

Der Suchalgorithmus nach Gluzman und Panigo (2015) wurde sowohl für den Fixed-Effekt-Schätzer als auch für den Between-Schätzer separat durchgeführt. Die potenziellen Erklärungsvariablen aus Tabelle 3-1 wurden dabei auch als erste Differenzen, quadriert, kubisch sowie mit einer Verzögerung von einer Periode betrachtet. Zusätzlich wurde auch ein Zeittrend und ein quadrierter Zeittrend einbezogen. Zeitverzögerte Variablen ermöglichen es zu testen, ob sich ein Einfluss auf den FTTB/H-Ausbau erst in der Folgeperiode auswirkt. Quadrierte und kubische Terme kontrollieren für eventuelle nichtlineare Zusammenhänge zwischen abhängiger und unabhängiger Variable.

3.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der empirischen Analyse vorgestellt. Der Fixed-Effect-Schätzer evaluiert die Ausbautätigkeit von FTTB/H-Anschlüssen über die Zeit (Within-Variation). Wie aus Tabelle 3-3 hervorgeht, ergeben sich für beide betrachteten Investitionsproxys, die Änderung der FTTB/H-Abdeckung wie in der empirischen Literatur und den originär im Rahmen dieser Studie entwickelten Investitionskostenindex, ähnliche Ergebnisse. Der höhere F-Wert weist auf einen besseren Erklärungsgehalt beim Investitionskostenindex hin. Dies bestätigt die Vermutung, dass die modellbasierte Approximierung der Investitionskosten zu verbesserten Schätzergebnissen führt, da berücksichtigt wird, dass die Investitionskosten mit dem erreichten FTTB/H-Abdeckungsgrad steigen.

Tabelle 3-3: Ergebnisse der FE-Schätzungen

Erklärungsvariable	Änderung der FTTB/H-Abdeckung	Investitionskostenindex
<i>DOCSIS-Abdeckung</i>	0,990*** (-0,287)	
<i>DOCSIS-Abdeckung (quadratisch)</i>	-0,989*** (-0,288)	112,173*** (-27,412)
<i>DOCSIS-Abdeckung (kubisch)</i>		-136,837*** (-33,269)
<i>Breitbandpenetration (erste Differenz)</i>		59,459*** (-12,352)
<i>Bevölkerungsdichte</i>	0,647** (-0,248)	15,653* (-8,922)
<i>Konstante</i>	-3,148** (-1,160)	-276,619*** (-57,214)
R ²	0,214	0,178
Anzahl der Beobachtungen	158	158
F-Wert	4,936	9,431

Anmerkungen: *t* Statistiken in Klammern; cluster-robuste Standardfehler; * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

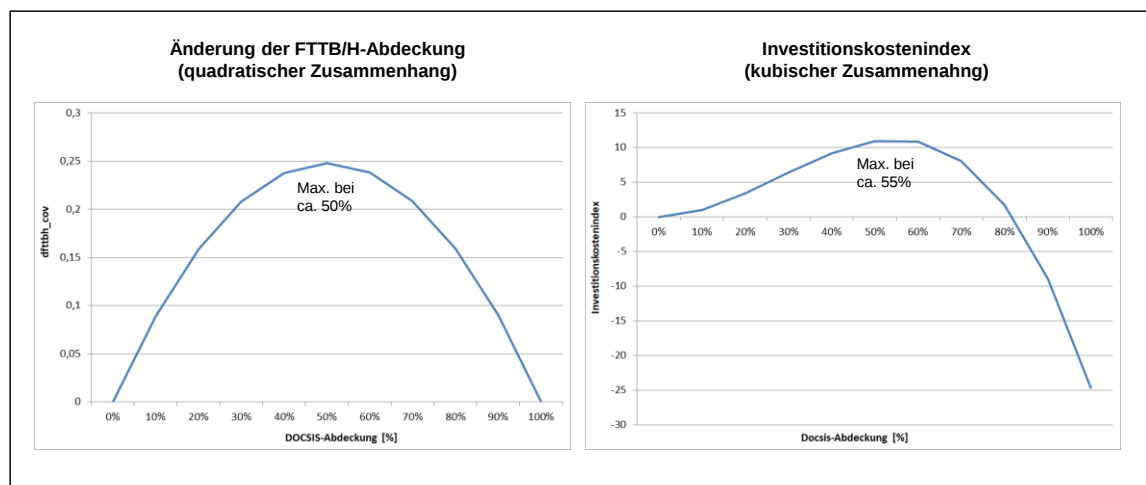
Quelle: eigene Berechnungen.

Bei beiden Investitionsproxys werden die Abdeckung mit DOCSIS und die Bevölkerungsdichte als wesentliche Treiber für die FTTB/H-Ausbautätigkeit identifiziert. Die Bevölkerungsdichte übt den erwarteten positiven Einfluss auf FTTB/H-Investitionen aus (siehe Tabelle 3-1). Eine höhere Bevölkerungsdichte bedingt geringere Investitionskosten und erleichtert somit den Ausbau. Hinsichtlich DOCSIS gibt es eine deutliche Inzidenz für einen nichtlinearen Zusammenhang. Während für *dfttbh_cov* ein quadratischer Zusammenhang festgestellt wird, besteht zwischen DOCSIS und dem Investitionskostenindex für FTTB/H-Anschlüsse ein kubischer Zusammenhang. Die sich aus den Schätzkoeffizienten ergebenden Kurvenverläufe sind in Abbildung 3-2 dargestellt.

DOCSIS und FTTB/H sind beide (potenziell) gigabitfähig und stehen daher in einem infrastrukturellen Wettbewerb. Wie aus Abbildung 3-2 hervorgeht, führt dieser Wettbewerb bis zu einer DOCSIS-Abdeckung von rund 50 % bis 55 % zu einer beschleunigten Investitionstätigkeit bei FTTB/H (aufsteigender Ast der Kurve). Eine darüber hinausgehende DOCSIS-Abdeckung bremst das Ausbautempo bei FTTB/H jedoch zunehmend ab (absteigender Ast der Kurve). Das zunächst zunehmende Ausbautempo bei FTTB/H deutet darauf hin, dass der DOCSIS-Ausbau durch die Betreiber von Glasfasernetzen mit entsprechenden Gegeninvestitionen in FTTB/H beantwortet wird. Beide Technologien kämpfen gewissermaßen darum, sich die Kunden mit einer Nachfrage nach hohen Übertragungsraten zu sichern. Erreicht die DOCSIS-Abdeckung jedoch ein gewisses Niveau, kann es zu einem dämpfenden Effekt beim weiteren FTTB/H-Ausbau kommen. Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, dass sich bei hohen DOCSIS-Abdeckungen die Kabelanbieter bereits viele Kunden mit einer Nachfrage nach hohen

Übertragungsraten gesichert haben.²⁹ Der verbleibende Rest wird für FTTB/H zunehmend unattraktiver. Somit nimmt der durch FTTB/H adressierbare Markt relativ ab, wodurch Investitionen in diese Infrastruktur weniger lohnend werden.³⁰

Abbildung 3-2: Nichtlinearer Zusammenhang zwischen FTTB/H-Investitionen und DOCSIS-Abdeckung



Quelle: eigene Darstellung.

Wie aus Tabelle 3-4 ersichtlich ist, werden die Unterschiede zwischen den Ländern (Between-Variation) in der Tat durch andere Einflussgrößen bedingt als der FTTB/H-Ausbau über die Zeit (Within-Variation). Neben dem zu erwartenden positiven Einfluss des Bruttoinlandsproduktes (vgl. Tabelle 3-1) wirkt sich FTTC signifikant negativ auf FTTB/H-Investitionen aus. Länder mit einer hohen FTTC-Abdeckung haben somit über den gesamten Betrachtungszeitraum 2011 bis 2017 gemittelt relativ weniger in FTTB/H investiert als Länder mit einer geringen FTTC-Abdeckung. Dies bedeutet, dass Länder, die auf diese Übergangstechnologie³¹ gesetzt haben, über den Betrachtungszeitraum gegenüber Ländern, die diesen Weg nicht gegangen sind, hinsichtlich FTTB/H zurückgefallen sind.

Bezüglich des Vergleichs der beiden betrachteten Investitionsproxy, $dfttbh_cov$ und dem Investitionskostenindex, gelten die Aussagen analog zu den FE-Schätzungen.

²⁹ Es könnte eingewendet werden, dass es sich bei der zunehmenden DOCSIS-Abdeckung eher um eine Aufrüstung bestehender Kabelnetze auf den höheren Übertragungsstandard als um einen tatsächlichen Ausbau handele. Dieser Einwand lässt sich durch die Datenbasis jedoch nicht bestätigen. Die beiden Variablen Kabelabdeckung (cb_cov) und DOCSIS-Abdeckung (dcs_cov) weisen eine nahezu perfekte Korrelation auf (Korrelationskoeffizient von 0,9871), was eher die im Text aufgestellte These eines infrastrukturellen Wettlaufs zwischen DOCSIS und Glasfaser unterstützt.

³⁰ Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen von Queder (2020) und Queder et al. (2019).

³¹ FTTC bzw. VDSL kann auf dem Weg in eine gigabitbasierte Welt von Morgen als Übergangstechnologie charakterisiert werden. Vgl. z. B. Kroon et al. (2017).

Auch bei den BE-Schätzungen führen beide Proxy zu ähnlichen Ergebnissen, wobei der Investitionskostenindex tendenziell bessere Schätzergebnisse liefert (höherer F-Wert).

Tabelle 3-4: Ergebnisse der BE-Schätzungen

Erklärungsvariable	Änderung der FTTB/H-Abdeckung	Investitionskostenindex
<i>FTTC-Abdeckung</i>	-0,047** (-0,018)	-8,187*** (-2,792)
<i>BIP pro Kopf</i>	0,020 (-0,013)	9,455*** (-2,068)
<i>Konstante</i>	-0,157 (-0,135)	-92,125*** (-20,996)
R^2	0,160	0,421
Anzahl der Beobachtungen	158	158
F-Wert	3,476	10,467

Anmerkungen: *t* Statistiken in Klammern; cluster-robuste Standardfehler; * $p < 0,10$, ** $p < 0,05$, *** $p < 0,01$.

Quelle: eigene Berechnungen.

Zwischenfazit

Der Investitionskostenindex und die Änderung der FTTB/H-Abdeckung als Proxy für die Investitionskosten führen zu ähnlichen Ergebnissen. Der modellbasierte Investitionskostenindex, der im Gegensatz zur Änderung der FTTB/H-Abdeckung den Zusammenhang zwischen Investitionskosten und erreichtem Abdeckungsgrad berücksichtigt, liefert tendenziell bessere Schätzergebnisse. Hinsichtlich der empirischen Analyse der Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf FTTB/H-Investitionen ausüben, lassen sich folgende zwei Kernhypothesen ableiten:

- Hypothese 1: Länder, die verstärkt auf VDSL gesetzt haben, haben relativ weniger in FTTB/H-Anschlüsse investiert.
- Hypothese 2: Es besteht anscheinend ein stark nichtlinearer Zusammenhang zwischen FTTB/H-Investitionen und der Abdeckung mit DOCSIS. Bis zu einer Abdeckung von 50 % wird die Investitionstätigkeit durch den infrastrukturellen Wettbewerb beschleunigt. Darüber hinaus übt die DOCSIS-Abdeckung jedoch zunehmend einen dämpfenden Effekt auf Investitionen in FTTB/H-Anschlüsse aus.

Die empirische Analyse betrachtet Zusammenhänge, die für die Gesamtheit der 27 Mitgliedsstaaten der EU über den Zeitraum 2011 bis 2017 zu beobachten waren. Aufgrund der retrospektiven und durchschnittsorientierten Betrachtungsweise ist bei der Ergebnisinterpretation eine gewisse Vorsicht angebracht.³² Um zu überprüfen, inwiefern die

³² So geht beim Investitionskostenindex der absteigende Ast deutlich in den negativen Bereich, was Desinvestitionen bzw. einen Rückbau bei FTTB/H implizieren würde. Das Ergebnis ist allerdings vor allem durch die Daten getrieben. Gegen Ende des Betrachtungszeitraums weisen einige Länder einen deutlichen Rückgang bei den FTTB/H-Investitionen bei gleichzeitig hoher Kabelabdeckung auf.

aus der empirischen Analyse abgeleiteten Aussagen ihre Gültigkeit behalten oder nur eine Momentaufnahme für den gewählten Betrachtungszeitraum darstellen, werden daher im folgenden Kapitel einzelne Länderbeispiele betrachtet und zukünftige Entwicklungen in den Blick genommen.

4 Einordnung der Ergebnisse aus der empirischen Analyse

Den Ergebnissen der empirischen Analyse werden in Abschnitt 4.1 exemplarisch die tatsächlichen Gegebenheiten in drei Mitgliedsstaaten gegenübergestellt. Anschließend werden in Abschnitt 4.2 mögliche zukünftige Entwicklungen bezüglich der Breitbandnachfrage und der Übertragungstechnologien skizziert.

4.1 Länderbeispiele

Die Auswahl der Fallbeispiele erfolgte mit dem Ziel, der Heterogenität der Märkte im Festnetzbereich in Europa möglichst gerecht zu werden. So ist mit Deutschland das bevölkerungsreichste Land der EU vertreten, das zudem eine der höchsten Wirtschaftsleistungen pro Kopf aufweist. Estland vertritt die kleinen Mitgliedsstaaten mit einer eher unterdurchschnittlichen Wirtschaftsleistung. Während Deutschland beim Breitbandausbau vor allem zunächst auf VDSL gesetzt hat, hat Estland bereits frühzeitig in FTTB/H-Anschlüsse investiert. Spanien repräsentiert die Länder, die über den Betrachtungszeitraum ein schnelles Wachstum der FTTB/H-Abdeckung verzeichnet haben. Zudem gehört Spanien zu den Ländern in der EU, die die Leerrohre mittels einer Zugangsverpflichtung für Dritte geöffnet haben.

Tabelle 4-1 gibt einen ersten Einblick in die drei Beispielsländer anhand ausgewählter Indikatoren zu generellen Ländercharakteristika sowie zum Festnetzmarkt. Während Deutschland von den drei Ländern die höchste DOCSIS-Abdeckung aufweist, bilden sie bei der Abdeckung mit FTTB/H-Anschlüssen und der FTTB/H-Penetration das Schlusslicht. Genau andersherum verhält es sich bei Estland. Spanien nimmt in allen Fällen die Mittelposition ein.

Tabelle 4-1: Überblick über die Länderbeispiele

	Deutschland	Estland	Spanien
Strukturelle Indikatoren			
Einwohner [Mio.]	82,176	1,316	46,572
Haushalte [Mio.]	40,744	0,61	17,971
BIP pro Kopf [€]	52.600	33.500	39.200
Urbanisierungsgrad	91%	79%	82%
Indikatoren zum Festnetzmarkt			
Breitbandverfügbarkeit ($\geq 2\text{Mbit/s}$)	98%	91%	96%
DOCSIS-Verfügbarkeit	64%	56%	49%
FTTB/H-Verfügbarkeit	9%	54%	77%
Anteil der Haushalte mit Festnetzbreitbandanschluss	82%	70%	77%
Anteil der Haushalte mit Breitbandkabelanschluss	19%	20%	12%
Anteil der Haushalte mit FTTB/H-Anschluss	3%	28%	44%

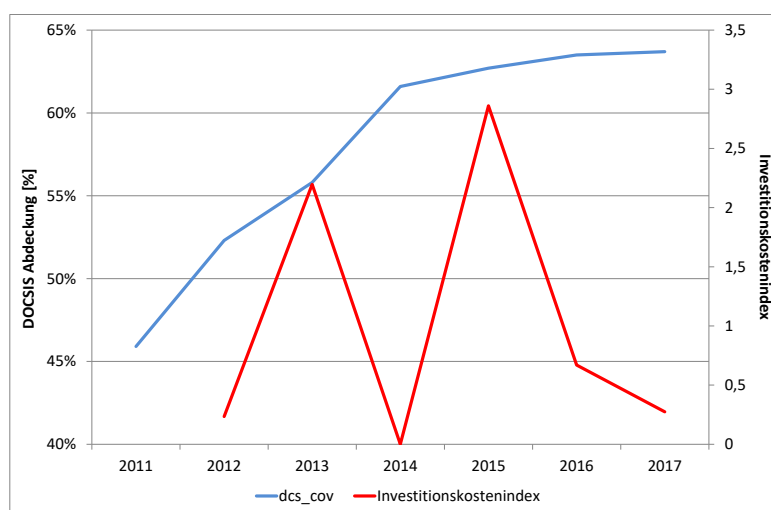
Anmerkung: Die Zahlen beinhalten den Stand 2018

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von Europäische Kommission (2019) und Wernick et al. (2020).

4.1.1 Deutschland

Über den Betrachtungszeitraum 2011 bis 2017, der der empirischen Analyse in Kapitel 3 zugrunde liegt, hat Deutschland einen stetigen Anstieg der DOCSIS-Abdeckung zu verzeichnen (linke Skala in Abbildung 4-1), während die Investitionen in FTTB/H-Anschlüsse auf relativ niedrigem Niveau oszillieren (rechte Skala in Abbildung 4-1).

Abbildung 4-1: Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Deutschland 2011 bis 2017



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Europäische Kommission (2018).

Ein Charakteristikum des Festnetzmarktes für Breitbandprodukte in Deutschland ist der hohe Abdeckungsgrad von FTTC mit Vectoring.³³ Die FTTC-Abdeckung ist von 2011 bis 2017 von 41 % auf 69 % gestiegen. Die bisherige Regulierung im Festnetz hat dazu geführt, dass nicht nur der Incumbent Deutsche Telekom sondern auch alternative Wettbewerber auf FTTC mittels VDSL bzw. (Super-)Vectoring gesetzt haben. Der Glasfaserausbau erfolgte bisher eher auf lokaler bzw. regionaler Ebene durch kleinere und mittlere Unternehmen. Die hohe DOCSIS-Abdeckung erstreckt sich vor allem auf die Ballungsräume mit einer hohen Bevölkerungsdichte.

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, einen flächendeckenden Ausbau mit Gigabit-Netzen bis 2025 zu erreichen. In diesem Kontext hat die Bundesregierung u. a. 2015 ein milliardenschweres Förderprogramm zur Breitbandförderung im Rahmen der NGA-Rahmenregelung der Europäischen Kommission aufgelegt, um mit Breitband unterversorgte Gebiete zu erschließen.³⁴ Ursprünglich sah das Programm eine Aufgreif-

³³ Für die Ausführungen zu Deutschland siehe Wernick et al. (2020: 23ff.).

³⁴ Diese unterversorgten Gebiete werden auch als „weiße Flecken“ bezeichnet. Zu einer Übersicht zu den Förderprogrammen siehe z. B. WIK-Consult et al. (2020).

schwelle von 30 Mbit/s vor, so dass das Programm neben FTTB/H auch FTTC umfasste. Mit einer Novelle in 2018 wurde das Programm auf Gigabit umgestellt, so dass nur noch FTTB/H-Anschlüsse förderungsfähig sind. Dies hat sich in der Zwischenzeit auch in einer Umbenennung des von der Bundesregierung beauftragten Projektträgers von „Breitbandbüro des Bundes“ in „Gigabitbüro des Bundes“ manifestiert.³⁵ Das Bundesförderprogramm wird durch diverse Förderprogramme der Bundesländer ergänzt.

In Deutschland sind primär vertikal integrierte Anbieter anzutreffen. Diese Unternehmen sind auf allen Wertschöpfungsstufen aktiv. Neuere Entwicklungen könnten diese Landschaft zukünftig ergänzen. So sieht das Bundesförderprogramm zwei Fördermodelle vor. Dies ist zum einen das Wirtschaftslückenmodell, das im Wesentlichen der bisherigen Anbieterstruktur entspricht. Der Betreiber des Netzes ist auch gleichzeitig dessen Eigentümer und vertreibt über die Infrastruktur seine Endprodukte. Beim Betreibermodell verbleibt das Eigentum am Netz bei der Kommune und wird an den Betreiber nur verpachtet, was Ähnlichkeiten mit Geschäftsmodellen eines reinen Vorleistungsbetreibers (Wholesale-only) aufweist.³⁶ In diesen Kontext passt auch die Kooperation von Deutsche Telekom und der EWE Tel im Zuge des Joint Ventures „Glasfaser NordWest“ zum eigenwirtschaftlichen Bau von 300.000 FTTB/H-Anschlüssen bis 2024. Trotz einer Selbstverpflichtung zur Gewährleistung eines diskriminierungsfreien Zugangs für Dritte werden die wesentlichen Nachfrager auf der Infrastruktur jedoch die beiden Kooperationspartner sein, so dass eine Unabhängigkeit des Netzbetreibers im eigentlichen Sinne eines Wholesale-only-Ansatzes nicht vorliegt.

Eine weitere wesentliche Änderung auf dem Telekommunikationsmarkt ist die 2020 vollzogene Übernahme des Kabelnetzbetreibers Unity Media durch Vodafone. Dadurch hat Vodafone als zweitgrößter Anbieter im Festnetz die Kontrolle über weite Teile des Kabelnetzes erlangt. Vodafone nimmt somit sowohl beim Festnetz als auch bei Kabel starke Positionen im deutschen Markt ein. Die Vereinigung dieser beiden Technologien unter einem Dach wird nicht ohne Folgen für den Infrastrukturwettbewerb zwischen Kabel- und Festnetz bleiben.

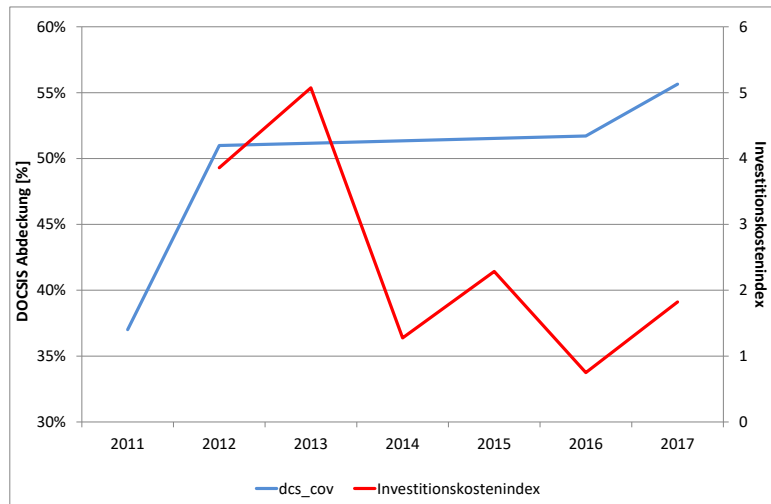
4.1.2 Estland

Wie aus Abbildung 4-2 hervorgeht, kommt Estland der Kernaussage der empirischen Analyse recht nahe. Nachdem die DOCSIS-Abdeckung die Schwelle von rund 50 % überschritten hat, nehmen die FTTB/H-Investitionen einen fallenden Verlauf ein.

³⁵ Vgl. BMVI (2020).

³⁶ Vgl. Sörries (2020).

Abbildung 4-2: Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Estland von 2011 bis 2017



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Europäische Kommission (2018).

In Estland wurden vor allem städtische Regionen bereits frühzeitig mit Glasfaseranschlüssen erschlossen.³⁷ Allerdings weist das Land auch eine der größten Disparitäten in der Breitbandversorgung zwischen Stadt und Land innerhalb der EU auf. Während landesweit die FTTB/H-Abdeckung fast doppelt so hoch wie der EU-Durchschnitt ist (54,2 % für Estland vs. 29,6 % für die EU), liegt sie im ländlichen Raum nur knapp über dem EU-Durchschnitt (18 % vs. 14,2%).

Trotz der überdurchschnittlichen FTTB/H-Abdeckung liegen die Penetrationsraten für 30 Mbit/s und 100 Mbit/s unter dem EU-Durchschnitt. Dies impliziert relativ geringe Take-up-Raten für ultraschnelle Breitbandverbindungen, was wiederum auf eine limitierte Zahlungsbereitschaft bei den Endkunden zurückzuführen ist.

Der estnische Breitbandmarkt zeichnet sich durch eine hohe Konzentration aus. Während der Incumbent in Deutschland (Deutsche Telekom) knapp 40 % Marktanteil bei Festnetzbreitbandanschlüssen hat, liegt der Anteil von Telia Estonia als estnischer Incumbent bei knapp 60 %. Telia Estonia betreibt einen aktiven Rückbau der Kupferinfrastruktur, indem Kunden auf FTTB/H migriert werden. Die Einstellung DSL-basierter Dienste ist bis Ende 2020 geplant.³⁸

Estland hat zwei wesentliche Fördermaßnahmen zum Breitbandausbau initiiert. Die Regierung hat ein staatliches Förderprogramm zur Erschließung der letzten Meile mit Glasfaser aufgelegt. Das Programm läuft seit 2019 und ist mit rund 40 Mio. € dotiert.

³⁷ Für die Ausführungen zu Estland siehe Europäische Kommission (2017, 2020b).

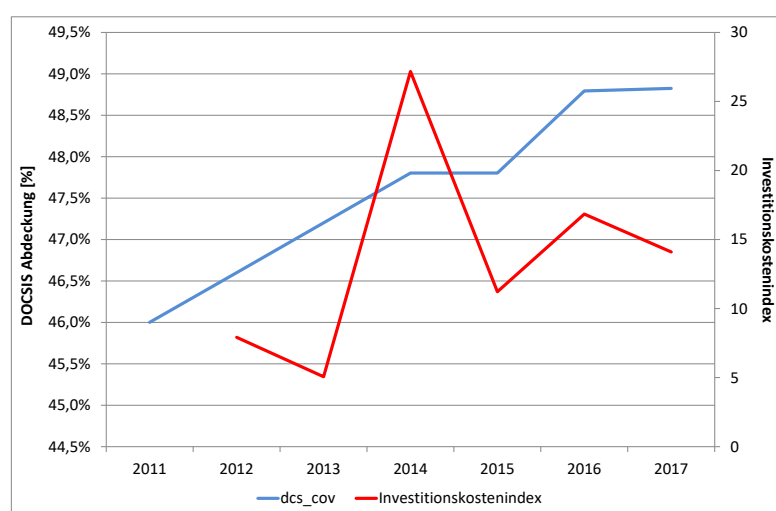
³⁸ Business Wire (2019).

Zudem läuft eine Fördermaßnahme zur Erschließung der ländlichen Regionen mit Glasfaser, das Estonian Wideband Infrastructure Network (EstWIN). Bis Ende 2020 soll der Aufbau eines 7.000 km langen Backbone-Netzes in ländlichen Regionen realisiert sein. Die Maßnahme wird zu 100 % durch den Europäischen Landwirtschaftsfond für die Entwicklung des ländlichen Raums (European Agricultural Fund for Rural Development) finanziert. Betreiber des Backbone-Netzes wird die Estonian Broadband Development Foundation im Rahmen eines Wholesale-only-Ansatzes sein.

4.1.3 Spanien

Spanien weist im Vergleich zu Deutschland und Estland deutlich höhere FTTB/H-Investitionen über den gesamten Zeitraum von 2011 bis 2017 auf (rechte Skala in Abbildung 4-3) mit einem ausgewiesenen Peak in 2014. Demgegenüber steht ein recht diskreter Anstieg der DOCSIS-Abdeckung um knapp 3 % über 7 Jahre.

Abbildung 4-3: Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Spanien von 2011 bis 2017



Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Europäische Kommission (2018).

Spanien zeichnet sich somit durch eine hohe Dynamik beim FTTB/H-Ausbau aus.³⁹ So konnte diese Technologie ihren Marktanteil von 3 % in 2012 auf 57,5 % in 2018 steigern. Der Ausbau geht vor allem zu Lasten von xDSL und seit 2016 auch von Kabel.

Spanien werden allgemein relativ geringe Ausbaurkosten für Glasfaser beigemessen.⁴⁰ Dies ist zum einen durch die Möglichkeit der oberirdischen Verlegung bedingt, was er-

³⁹ Für die Ausführungen zu Spanien siehe Wernick et al. (2020: 52ff.).

⁴⁰ Vgl. Hierzu auch Sörries et al. (2018).

forderliche Tiefbauarbeiten auf ein Minimum reduziert, die üblicherweise den größten Kostenblock bei der Glasfaserverlegung darstellen. Ferner besteht in Spanien im Rahmen der sektorspezifischen Regulierung eine Zugangsverpflichtung zur Leerrohrinfrastruktur inklusive eines Transparenzregisters, was die Mitnutzung dieser Infrastruktur durch Dritte deutlich erleichtert. Transaktionskosten für die Informationsgewinnung, wo entsprechende Rohre verlegt sind, und langwierige Verhandlungen über die Mitnutzung der Leerrohre werden somit signifikant reduziert. Im Gegenzug hat die Regulierungsbehörde davon abgesehen, dem Incumbent Telefónica in einigen Bereichen Zugangsverpflichtungen aufzuerlegen.⁴¹

Telefónica betreibt einen aktiven Rückbau der Kupferinfrastruktur inklusive der Migration der Kunden auf die FTTB/H-Infrastruktur. Der Breitbandmarkt ist relativ hoch konzentriert. Die drei großen Anbieter (Telefónica, Orange und Vodafone) vereinen knapp 90 % Marktanteil auf sich. Insgesamt zeichnet sich der spanische Markt durch eine hohe Zahl marktgetriebener Kooperationen zwischen den großen Anbietern beim Breitbandausbau aus.

Die Regierung hat zudem ein umfangreiches staatliches Förderprogramm zum Glasfaserausbau aufgelegt mit dem Ziel, 95 % der Bevölkerung mit Datenraten von 300 Mbit/s bis 2021 zu versorgen.⁴²

Zwischenfazit

Die Validierung der beiden Kernhypothesen aus der empirischen Analyse in Kapitel 3 durch die vorgestellten Länderbeispiele fällt unterschiedlich aus:

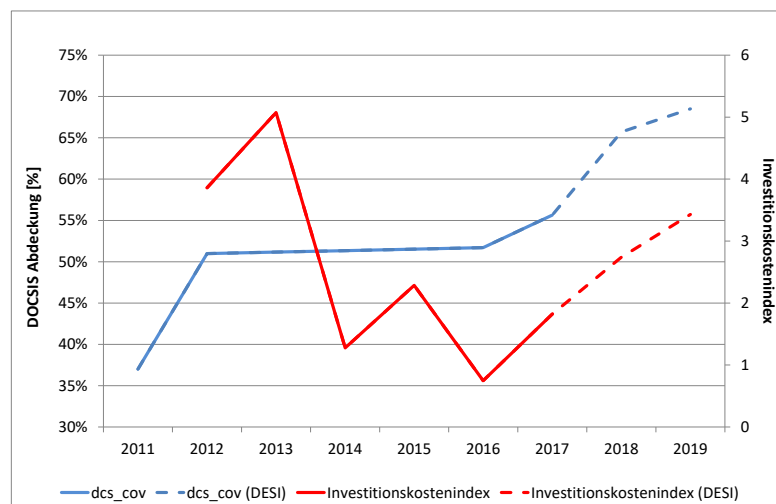
- Hypothese 1 wird durch die Länderbeispiele tendenziell bestätigt. Länder mit einer hohen FTTC-Abdeckung underperformen bzgl. des FTTB/H-Ausbaus.
- Hypothese 2 wird eher nicht bestätigt. Insbesondere die in der Zwischenzeit europaweit initiierten umfangreichen staatliche Fördermaßnahmen deuten auf eine Trendwende bei den FTTB/H-Investitionen hin. So ergibt sich z. B. für Estland unter Berücksichtigung aktueller Entwicklungen nach 2017 ein Aufwärtstrend beim FTTB/H-Ausbau trotz weiterhin steigender Kabelabdeckung, was der aufgestellten Hypothese widerspricht (siehe Abbildung 4-4). Auch für Deutschland werden für den Zeitraum September 2019 bis September 2020 rund eine Million neuer FTTB/H-Anschlüsse gemeldet.⁴³ Dies bedeutet für Deutschland einen neuen Rekordzuwachs an FTTB/H-Abdeckung von rund 2,5 %.

⁴¹ Dabei ging es zunächst generell um den Zugang zu hochbitratigen Vorleistungsprodukten. Bei späteren Marktanalysen wurde bei den Vorleistungsverpflichtungen in Abhängigkeit der Wettbewerbsverhältnisse regional differenziert.

⁴² Zu weiteren Details des spanischen Förderprogramms siehe WIK-Consult et al. (2020).

⁴³ Vgl. Dialog Consult und VATM (2020).

Abbildung 4-4: Entwicklung der DOCSIS-Abdeckung und von FTTB/H-Investitionen in Estland von 2011 bis 2019



Anmerkung: Zahlen für 2018 und 2019 aus 2020 Digital Economy and Society Index Report (DESI) der EU-Kommission

Quelle: eigene Berechnung auf Basis von Europäische Kommission (2018, 2020b).

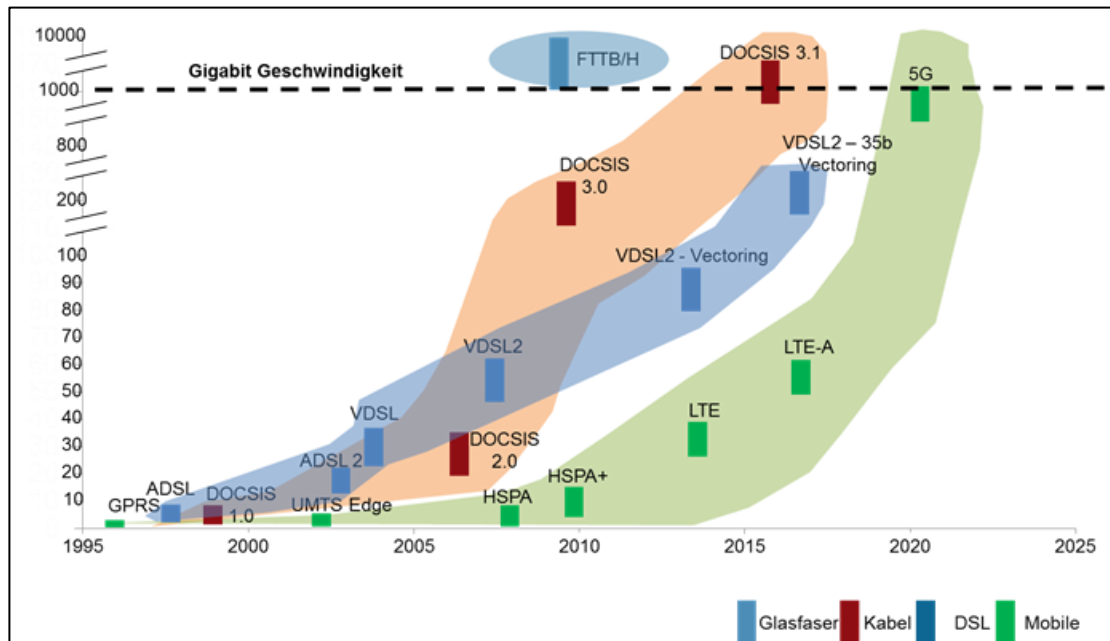
4.2 Zukünftige Entwicklungen

Ein Großteil der derzeitigen Breitbandnachfrage kann durch die Leistungsfähigkeit eines VDSL2-35b-Anschlusses (250 Mbit/s im Download) befriedigt werden, so dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt neben FTTB/H und Kabel auch FTTC ein Wettbewerber im Breitbandmarkt ist. Wie sich der Infrastrukturwettbewerb zwischen Kabel und Festnetz zukünftig gestalten wird, hängt maßgeblich von künftigen Entwicklungen auf der Nachfrageseite und dem von den Technologien zu erwartenden Leistungsspektrum ab.

In Bezug auf die Nachfrageseite werden bis 2025 deutlich höhere Übertragungsbandbreiten als heute erwartet, die von den Kunden gewünscht werden. So zeigen Strube Martins et al.(2017: 21) auf Basis eines Marktpotenzialmodells, dass in 2025 rund 75 % der Haushalte Übertragungsbandbreiten oberhalb von 500 Mbit/s nachfragen werden. Eine Befragung des BREKO (2020) unter Marktteilnehmern bestätigt diese Tendenz und prognostiziert für 2025 eine Nachfrage von durchschnittlich 700 Mbit/s im Upload.⁴⁴

⁴⁴ Bemerkenswert ist, dass der BREKO seine Prognose aus 2019 für 2025 somit deutlich angehoben hat. 2019 wurde noch von einer durchschnittlichen Übertragungsbandbreite von 350 Mbit/s im Upload für 2025 ausgegangen. Innerhalb eines Jahres hat sich die Erwartungshaltung für 2025 somit verdoppelt. Hauptgrund für die Anhebung der Prognose ist die Erwartung, dass Cloud-Dienste deutlich stärker genutzt werden als ursprünglich angenommen. Für den Download wurde die Prognose von 600 Mbit/s auf 1 Gbit/s angehoben.

Abbildung 4-5: Leistungsfähigkeit verschiedener Übertragungstechnologien in der Telekommunikation



Quelle: Queder et al. (2020: 16).

Abbildung 4-5 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Leistungsfähigkeit verschiedener Technologien in der Telekommunikation. Es wird erwartet, dass kupferbasierte Technologien (z. B. Weiterentwicklungen von G.fast), zu denen auch VDSL und somit FTTC zu zählen sind, die zukünftig zu erwartende Breitbandnachfrage nicht mehr befriedigen können.⁴⁵ Auch Kabel als *Shared Medium* ist gewissen Beschränkungen unterworfen. So werden für die Weiterentwicklung Full Duplex Docsis 3.1 10 Gbit/s symmetrisch prognostiziert. Als *Shared Medium* verteilt sich jedoch diese maximal verfügbare Bandbreite auf die Zahl der Nutzer, so dass mit zunehmender Nutzerzahl die tatsächlich am Individualanschluss erreichbare Übertragungsrate signifikant unter dem Maximum liegt. Dies ist bei FTTB/H nicht Fall, wenn eine Point-to-Point-Architektur (P2P) gewählt wird.⁴⁶

Wenn eine Vielzahl von Kunden zukünftig Übertragungsraten von weit über einem Gbit/s nachfragt, könnte es daher zu einer Situation kommen, in der als einzige Option FTTB/H verbleibt. In diesem Fall wäre die aus der empirischen Analyse abgeleitete Hypothese 2 obsolet, da kein Infrastrukturwettbewerb mehr existent wäre.

⁴⁵ Für einen umfangreichen Überblick über den derzeitigen Stand der Übertragungstechnologien und zukünftige Weiterentwicklungen inklusive deren zu erwartender Leistungsfähigkeit siehe Kroon et al. (2017).

⁴⁶ Bei einer GPON (*Gigabit Passive Optical Network*)-Netzarchitektur ist auch FTTB/H ein *Shared Medium*.

5 Fazit

Die Ergebnisse der ökonometrischen Analyse potenzieller Einflussfaktoren auf FTTB/H-Investitionen in Europa deuten auf einen starken nichtlinearen Zusammenhang zwischen Kabel (in Form von DOCSIS) und FTTB/H hin. Demnach führt der Infrastrukturwettbewerb zwischen diesen beiden Technologien zunächst zu einem beschleunigten FTTB/H-Ausbau. Ab einer DOCSIS-Abdeckung von 50 % kommt es jedoch zu einer bremsenden Wirkung von Kabel auf den FTTB/H-Ausbau. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass mit steigender DOCSIS-Abdeckung ein höheres Risiko für Glasfaserinvestitionen einhergeht, da DOCSIS grundsätzlich ebenfalls gigabitfähig ist und der durch FTTB/H adressierbare Markt somit relativ abnimmt.

Der der Analyse zugrunde gelegte Datensatz umfasst die 27 Mitgliedsstaaten der EU und einen Zeitraum von 2011 bis 2017. Die Analyse ist daher vergangenheitsbezogen. Zukünftig zu erwartende Entwicklungen deuten eher in eine andere Richtung. Es ist von einer weiterhin stark ansteigenden Nachfrage nach Übertragungsraten auszugehen mit einer Tendenz in Richtung Gigabit. Auf der Angebotsseite wird FTTB/H europaweit durch umfangreiche staatliche Fördermaßnahmen vorangetrieben. Beide Entwicklungen könnten vor dem Hintergrund der zukünftig zu erwartenden Leistungsfähigkeit der Technologien dazu führen, dass Breitbandkabel als *Shared Medium* in Relation zu Glasfaser eher an Attraktivität verlieren könnte. Studien zu den Kosten des FTTB/H-Ausbaus zeigen zudem, dass in rund der Hälfte der Anschlussbereiche in Deutschland Vermarktungsquoten von über 50 % für einen profitablen eigenwirtschaftlichen Glasausbau erforderlich sind.⁴⁷ Prospektiv könnte dies zu einer Situation führen, in der in vielen Anschlussbereichen nur eine Infrastruktur verbleibt, nämlich FTTB/H.

⁴⁷ Vgl. z. B. Sörries (2020).

Anhang

Anhang 1: Deskriptive Statistiken für die wesentlichen Variablen des Datensatzes

Variable		Mean	Std. Dev.	Min	Max	Observations
<u>Abhängige Variable</u>						
fttbh_cov	overall	0,294	0,243	0	0,853	N = 185
	between		0,234	0	0,802	n = 27
	within		0,077	0	0,605	T-bar = 6,852
dfttbh_cov	overall	0,031	0,039	0	0,221	N = 158
	between		0,021	0	0,103	n = 27
	within		0,033	0	0,200	T-bar = 5,852
index	overall	3,684	5,122	0	27,168	N = 158
	between		3,965	0	13,720	n = 27
	within		3,293	0	17,133	T-bar = 5,889
<u>Erklärungsvariable</u>						
log_pop_dens	overall	4,628	0,903	2,770	7,226	N = 189
	between		0,917	2,781	7,204	n = 27
	within		0,023	4,564	4,735	T = 7
hh_rural_proz	overall	0,181	0,084	0,009	0,387	N = 188
	between		0,084	0,010	0,372	n = 27
	within		0,017	0,080	0,223	T-bar = 6,963
log_gdp_cap	overall	10,452	0,370	9,660	11,587	N = 189
	between		0,366	9,782	11,505	n = 27
	within		0,088	10,217	10,753	T = 7
bb_pen	overall	0,691	0,136	0,388	1,071	N = 188
	between		0,124	0,488	0,958	n = 27
	within		0,060	0,508	0,857	T-bar = 6,963
fttbh_take_up	overall	0,326	0,180	0	0,778	N = 104
	between		0,170	0	0,692	n = 26
	within		0,066	0,159	0,485	T = 4
cb_cov	overall	0,502	0,255	0	1	N = 187
	between		0,255	0	0,997	n = 27
	within		0,043	0,400	0,676	T-bar = 6,926
dcs_cov	overall	0,477	0,256	0	1	N = 186
	between		0,255	0	0,997	n = 27
	within		0,047	0,310	0,641	T-bar = 6,889
dsl_cov	overall	0,881	0,167	0,338	1	N = 188
	between		0,162	0,444	1,000	n = 27
	within		0,049	0,679	1,153	T-bar = 6,963
fttc_cov	overall	0,368	0,305	0	1,638	N = 187
	between		0,262	0	0,888	n = 27
	within		0,162	-0,101	1,493	T-bar = 6,926

Quelle: eigene Berechnungen.

Literaturverzeichnis

- BEREC [Body of European Regulators for Electronic Communications] (2016): Challenges and drivers of NGA rollout and infrastructure competition, BoR (16) 171, abrufbar unter https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/6488-berec-report-challenges-and-drivers-of-n_0.pdf, zuletzt abgerufen am 25.03.2020.
- Breitband.NRW (2017): Alternative Verlegungsmethoden für den Glasfaserausbau, Informationsbroschüre des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen, Stand 20.01.2017, abrufbar unter <https://www.gigabit.nrw.de/images/PDFs/Leitfaden/Alternative-Verlegungsmethoden-fr-den-Glasfaserausbau.pdf>, zuletzt abgerufen am 11.12.2020.
- Briglauer, W., G. Ecker und K. Gugler (2013): The impact of infrastructure and service-based competition on the deployment of next generation access networks: Recent evidence from the European member states. Information Economics and Policy, 25(3), 142–153. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2012.11.003>
- BMVI [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur] (2019): Von der digitalen in die Gigabit-Gesellschaft, Pressemitteilung vom 10.10.2019, abrufbar unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Dossier/Breitbandausbau/breitbandausbau.html>, zuletzt abgerufen am 19.10.2020.
- BMVI [Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur] (2020): Gigabitbüro des Bundes, Pressemitteilung, abrufbar unter: <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Digitales/Breitbandausbau/Breitbandbuero-Bund/breitbandbuero-bund.html>, zuletzt abgerufen am 19.10.2020.
- BREKO [Bundesverband Breitbandkommunikation] (2020): BREKO Marktanalyse 20, September 2020, abrufbar unter: https://brekoverband.de/wp-content/uploads/2020/09/2020-08-31_Breko_Marktstudie.pdf, zuletzt abgerufen am 27.10.2020.
- Business Wire (2019): Estonia Fixed Broadband Market Statistics and Analyses 2019-2023, 18. Juni 2019, Dublin, abrufbar unter: <https://www.businesswire.com/news/home/20190618005867/en/Estonia-Fixed-Broadband-Market-Statistics-and-Analyses-2019-2023---ResearchAndMarkets.com>, zuletzt abgerufen am 26.10.2020.
- Dialog Consult und VATM (2020): 22. TK-Marktanalyse Deutschland, 6. Oktober 2020, https://www.vatm.de/wp-content/uploads/2020/10/VATM_TK-Marktstudie-2020_061020_a.pdf, zuletzt abgerufen am 27.10.2020.
- Europäische Kommission (2017): Europe's Digital Progress Report 2017 country profiles - Telecom country reports, 10. Mai 2017, abrufbar unter: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/europes-digital-progress-report-2017-country-profiles-telecom-country-reports>, zuletzt abgerufen am 26.10.2020.
- Europäische Kommission (2018): Study on Broadband Coverage in Europe 2017, 22 June 2018, abrufbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/study-broadband-coverage-europe-2017>, zuletzt abgerufen am 20.10.2020
- Europäische Kommission (2019): Study on Broadband Coverage in Europe 2018, abrufbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/study-broadband-coverage-europe-2018>, zuletzt abgerufen am 20.10.2020.

- Europäische Kommission (2020a): Shaping Europe's digital future, abrufbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en>, zuletzt abgerufen am 19.10.2020.
- Europäische Kommission (2020b): 2020 DESI Report– Electronic communications markets overview per Member State (Telecom Chapters), abrufbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/2020-desi-report-electronic-communications-markets-overview-member-state-telecom-chapters>, zuletzt abgerufen am 19.10.2020.
- EUROSTAT (2015): Land use overview by NUTS-2 regions, European Commission, abrufbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node_code=lan_use_ovw, zuletzt abgerufen am 03.04.2020.
- EUROSTAT (2018): Population Density by NUTS-3 Region, European Commission, abrufbar unter https://ec.europa.eu/eurostat/data/database?node_code=demo_r_d3dens, zuletzt abgerufen am 19.03.2020.
- FTTH Council Europe (2017): The Cost of Meeting Europe's Future Network Needs, abrufbar unter https://www.ftthcouncil.eu/documents/Reports/2017/FTTH%20Council%20Cost%20Model%202017_final.pdf, zuletzt abgerufen am 30.03.2020.
- Gluzman, P., und D. Panigo (2015): Global search regression: A new automatic model-selection technique for cross-section, time-series, and panel-data regressions, *The Stata Journal* 15(2), 325-349.
- Gould, W. (2018): What is the between estimator?, abrufbar unter: <https://www.stata.com/support/faqs/statistics/between-estimator/>, zuletzt abgerufen am 26.10.2020.
- Jay, S., K.-H. Neumann und T. Plückebaum (2011): Implikationen eines flächendeckenden Glasfaserausbaus und sein Subventionsbedarf. WIK Diskussionsbeitrag Nr. 359, Oktober 2011.
- Kroon, P., T. Plückebaum, J. S. Garcia, D. Sabeva und K. Zoc (2017): Study into current and future technological access options to all fixed telecommunication infrastructures in the Netherlands, Study for The Netherlands Authority for Consumers and Markets (ACM), WIK-Consult, Bad Honnef, 30. Juni 2017.
- Kumbhakar S.C, H.-J. Wang und A.P. Horncastle (2015): *A Practitioner's Guide to Stochastic Frontier Analysis Using Stata*, Cambridge University Press, New York.
- Plückebaum, T. (2014): Nationwide Ftx deployment and the question of profitability, presentation held at the IRG Capacity Building Workshop on NGA, Frauenfeld (Warth) Switzerland, 14 – 17 April 2014.
- Queder, F. (2020): Competitive effects of cable networks on FTTx deployment in Europe, *Telecommunications Policy* Vol. 44(10), <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102027>
- Queder, F., M. Stronzik und C. Wernick (2019): Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTX-Infrastrukturen in Europa, WIK Diskussionsbeitrag Nr. 442, Bad Honnef.
- Sörries, B. (2020): Neues Geschäftsmodell, neue Regulierung?, *Netzwirtschaft & Recht* 2020, 161-166.

- Sörries, B., S. Lucidi und M. Ockenfels (2020): Anhaltspunkte für die Replizierbarkeit von NGA-Anschlüssen im Rahmen des Art. 61 Abs. 3 EKEK. WIK Diskussionsbeitrag Nr. 460, März 2020
- Sörries, B., S. Lucidi und M. Stronzik (2018): Auswirkungen von asymmetrischem Zugang zu Leerrohren auf den FTTB/H-Ausbau – Eine Best-Practice-Analyse, Studie für Vodafone Deutschland, WIK-Consult, 4. Juni 2018, Bad Honnef.
- Statistisches Bundesamt (2018): Pressemitteilung Nr. 475, 07.12.2018, abrufbar unter https://www.destatis.de/EN/Press/2018/12/PE18_475_624.html, zuletzt abgerufen am 17.04.2020.
- Strube Martins, S., C. Wernick, T. Plückebaum und I. Henseler-Unger (2017): Die Privatkundennachfrage nach hochbitratigem Breitbandinternet im Jahr 2025, WIK Bericht, März 2017, Bad Honnef.
- Wernick, C., J. Knips, S. Tenbrock, M.R. Braun, M. Stronzik (2020): Der deutsche Telekommunikationsmarkt im internationalen Vergleich, Abschlussbericht, Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, WIK-Consult, Bad Honnef, Juli 2020.
- WIK-Consult, VVA, Squire Patton Boggs und LE Europe (2020): The role of State Aid for the rapid deployment of broadband networks in the EU, Final Report, Request No. 01402 of COMP/2016/014, Europäische Kommission, abrufbar unter: <https://ec.europa.eu/competition/publications/reports/kd0420461enn.pdf>, zuletzt abgerufen am 27.10.2020.

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

- | | |
|--|--|
| <p>Nr. 388: Lorenz Nett, Stephan Jay:
Entwicklung dynamischer Marktszenarien und Wettbewerbskonstellationen zwischen Glasfasernetzen, Kupfernetzen und Kabelnetzen in Deutschland, September 2014</p> | <p>Nr. 398: Annette Hillebrand, Martin Zauner:
Qualitätsindikatoren im Brief- und Paketmarkt, Mai 2015</p> |
| <p>Nr. 389: Stephan Schmitt:
Energieeffizienz und Netzregulierung, November 2014</p> | <p>Nr. 399: Stephan Schmitt, Marcus Stronzik:
Die Rolle des generellen X-Faktors in verschiedenen Regulierungsregimen, Juli 2015</p> |
| <p>Nr. 390: Stephan Jay, Thomas Plückebaum:
Kostensenkungspotenziale für Glasfaseranschlussnetze durch Mitverlegung mit Stromnetzen, September 2014</p> | <p>Nr. 400: Franz Büllingen, Solveig Börnsen:
Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, August 2015</p> |
| <p>Nr. 391: Peter Stamm, Franz Büllingen:
Stellenwert und Marktperspektiven öffentlicher sowie privater Funknetze im Kontext steigender Nachfrage nach nomadischer und mobiler hochbitratiger Datenübertragung, Oktober 2014</p> | <p>Nr. 401: Lorenz Nett, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Ein Benchmark neuer Ansätze für eine innovative Ausgestaltung von Frequenzgebühren und Implikationen für Deutschland, November 2015</p> |
| <p>Nr. 392: Dieter Elixmann, J. Scott Marcus, Thomas Plückebaum:
IP-Netzzusammenschaltung bei NGN-basierten Sprachdiensten und die Migration zu All-IP: Ein internationaler Vergleich, November 2014</p> | <p>Nr. 402: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk:
Zur Marktabgrenzung bei Kurier-, Paket- und Expressdiensten, November 2015</p> |
| <p>Nr. 393: Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung, Dezember 2014</p> | <p>Nr. 403: J. Scott Marcus, Christin Gries, Christian Wernick, Imme Philbeck:
Entwicklungen im internationalen Mobile Roaming unter besonderer Berücksichtigung struktureller Lösungen, Januar 2016</p> |
| <p>Nr. 394: Rolf Schwab:
Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland, Dezember 2014</p> | <p>Nr. 404: Karl-Heinz Neumann, Stephan Schmitt, Rolf Schwab unter Mitarbeit von Marcus Stronzik:
Die Bedeutung von TAL-Preisen für den Aufbau von NGA, März 2016</p> |
| <p>Nr. 395: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Produktive Effizienz von Postdienstleistern, November 2014</p> | <p>Nr. 405: Caroline Held, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum:
Entgelte für den Netzzugang zu staatlich geförderter Breitband-Infrastruktur, März 2016</p> |
| <p>Nr. 396: Petra Junk, Sonja Thiele:
Methoden für Verbraucherbefragungen zur Ermittlung des Bedarfs nach Post-Universaldienst, Dezember 2014</p> | <p>Nr. 406: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Kapazitätsmechanismen – Internationale Erfahrungen, April 2016</p> |
| <p>Nr. 397: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Analyse des Preissetzungsverhaltens der Netzbetreiber im Zähl- und Messwesen, März 2015</p> | <p>Nr. 407: Annette Hillebrand, Petra Junk:
Paketshops im Wettbewerb, April 2016</p> |

- Nr. 408: Tseveen Gantumur, Iris Henseler-Unger, Karl-Heinz Neumann:
Wohlfahrtsökonomische Effekte einer Pure LRIC - Regulierung von Terminierungsentgelten, Mai 2016
- Nr. 409: René Arnold, Christian Hildebrandt, Martin Waldburger:
Der Markt für Over-The-Top Dienste in Deutschland, Juni 2016
- Nr. 410: Christian Hildebrandt, Lorenz Nett:
Die Marktanalyse im Kontext von mehrseitigen Online-Plattformen, Juni 2016
- Nr. 411: Tseveen Gantumur, Ulrich Stumpf:
NGA-Infrastrukturen, Märkte und Regulierungsregime in ausgewählten Ländern, Juni 2016
- Nr. 412: Alex Dieke, Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
UPU-Endvergütungen und internationaler E-Commerce, September 2016 (in deutscher und englischer Sprache verfügbar)
- Nr. 413: Sebastian Tenbrock, René Arnold:
Die Bedeutung von Telekommunikation in intelligent vernetzten PKW, Oktober 2016
- Nr. 414: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Big Data und OTT-Geschäftsmodelle sowie daraus resultierende Wettbewerbsprobleme und Herausforderungen bei Datenschutz und Verbraucherschutz, November 2016
- Nr. 415: J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Ansätze zur Messung der Performance im Best-Effort-Internet, November 2016
- Nr. 416: Lorenz Nett, Christian Hildebrandt:
Marktabgrenzung und Marktmacht bei OTT-0 und OTT-1-Diensten, Eine Projektskizze am Beispiel von Instant-Messenger-Diensten, Januar 2017
- Nr. 417: Peter Kroon:
Maßnahmen zur Verhinderung von Preis-Kosten-Scheren für NGA-basierte Dienste, Juni 2017
- Nr. 419: Stefano Lucidi:
Analyse marktstruktureller Kriterien und Diskussion regulatorischer Handlungsoptionen bei engen Oligopolen, April 2017
- Nr. 420: J. Scott Marcus, Christian Wernick, Tseveen Gantumur, Christin Gries:
Ökonomische Chancen und Risiken einer weitreichenden Harmonisierung und Zentralisierung der TK-Regulierung in Europa, Juni 2017
- Nr. 421: Lorenz Nett:
Incentive Auctions als ein neues Instrument des Frequenzmanagements, Juli 2017
- Nr. 422: Christin Gries, Christian Wernick:
Bedeutung der embedded SIM (eSIM) für Wettbewerb und Verbraucher im Mobilfunkmarkt, August 2017
- Nr. 423: Fabian Queder, Nicole Angenendt, Christian Wernick:
Bedeutung und Entwicklungsperspektiven von öffentlichen WLAN-Netzen in Deutschland, Dezember 2017
- Nr. 424: Stefano Lucidi, Bernd Sörries, Sonja Thiele:
Wirksamkeit sektorspezifischer Verbraucherschutzregelungen in Deutschland, Januar 2018
- Nr. 425: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzpolitische Herausforderungen durch das Internet der Dinge - künftiger Frequenzbedarf durch M2M-Kommunikation und frequenzpolitische Handlungsempfehlungen, März 2018
- Nr. 426: Saskja Schäfer, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Stephan Schmitt:
Zugang zu gebäudeinterner Infrastruktur und adäquate Bepreisung, April 2018
- Nr. 427: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Marktbeobachtung in der digitalen Wirtschaft – Ein Modell zur Analyse von Online-Plattformen, Mai 2018
- Nr. 428: Christin Gries, Christian Wernick:
Treiber und Hemmnisse für kommerziell verhandelten Zugang zu alternativen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, Juli 2018

- Nr. 429: Serpil Taş, René Arnold:
Breitbandinfrastrukturen und die künftige Nutzung von audiovisuellen Inhalten in Deutschland: Herausforderungen für Kapazitätsmanagement und Netzneutralität, August 2018
- Nr. 430: Sebastian Tenbrock, Sonia Strube Martins, Christian Wernick, Fabian Queder, Iris Henseler-Unger:
Co-Invest Modelle zum Aufbau von neuen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, August 2018
- Nr. 431: Johanna Bott, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Die Nutzung von Daten durch OTT-Dienste zur Abschöpfung von Aufmerksamkeit und Zahlungsbereitschaft: Implikationen für Daten- und Verbraucherschutz, Oktober 2018
- Nr. 432: Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Warenversand im Briefnetz, Oktober 2018
- Nr. 433: Christian M. Bender, Annette Hildebrandt:
Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zustelllogistik, Oktober 2018
- Nr. 434: Antonia Niederprüm:
Hybridpost in Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 436: Petra Junk:
Digitalisierung und Briefsubstitution: Erfahrungen in Europa und Schlussfolgerungen für Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 437: Peter Kroon, René Arnold:
Die Bedeutung von Interoperabilität in der digitalen Welt – Neue Herausforderungen in der interpersonellen Kommunikation, Dezember 2018
- Nr. 438: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Auswirkung von Bündelprodukten auf den Wettbewerb, März 2019
- Nr. 439: Christian M. Bender, Sonja Thiele:
Der deutsche Postmarkt als Infrastruktur für europäischen E-Commerce, April 2019
- Nr. 440: Serpil Taş, René Arnold:
Auswirkungen von OTT-1-Diensten auf das Kommunikationsverhalten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Juni 2019
- Nr. 441: Serpil Taş, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Sprachassistenten in Deutschland, Juni 2019
- Nr. 442: Fabian Queder, Marcus Stronzik, Christian Wernick:
Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTP-Infrastrukturen in Europa, Juni 2019
- Nr. 443: Lorenz Nett, Bernd Sörries:
Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, Juli 2019
- Nr. 444: Pirmin Puhl, Martin Lundborg:
Breitbandzugang über Satellit in Deutschland – Stand der Marktentwicklung und Entwicklungsperspektiven, Juli 2019
- Nr. 445: Bernd Sörries, Marcus Stronzik, Sebastian Tenbrock, Christian Wernick, Matthias Wissner:
Die ökonomische Relevanz und Entwicklungsperspektiven von Blockchain: Analysen für den Telekommunikations- und Energiemarkt, August 2019
- Nr. 446: Petra Junk, Julia Wielgosch:
City-Logistik für den Paketmarkt, August 2019
- Nr. 447: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Entwicklung des Effizienzvergleichs in Richtung Smart Grids, September 2019
- Nr. 448: Christian M. Bender, Antonia Niederprüm:
Berichts- und Anzeigepflichten der Unternehmen und mögliche Weiterentwicklungen der zugrundeliegenden Rechtsnormen im Postbereich, September 2019

- Nr. 449: Ahmed Elbanna unter Mitwirkung von Fabian Eltges:
5G Status Studie: Herausforderungen, Standardisierung, Netzarchitektur und geplante Netzentwicklung, Oktober 2019
- Nr. 450: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Internationale Vergleichsstudie bezüglich der Anwendung und Umsetzung des Nachbildbarkeitsansatzes, Dezember 2019
- Nr. 451: Matthias Franken, Matthias Wissner, Bernd Sörries:
Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, Dezember 2019
- Nr. 452: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzmanagement: Lokale/regionale Anwendungsfälle bei 5G für bundesweite Mobilfunknetzbetreiber sowie für regionale und lokale Betreiber unter besonderer Betrachtung der europäischen Länder sowie von China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika, Dezember 2019
- Nr. 453: Martin Lundborg, Christian Märkel, Lisa Schrade-Grytsenko, Peter Stamm:
Künstliche Intelligenz im Telekommunikationssektor – Bedeutung, Entwicklungsperspektiven und regulatorische Implikationen, Dezember 2019
- Nr. 454: Fabian Eltges, Petra Junk:
Entwicklungstrends im Markt für Zeitungen und Zeitschriften, Dezember 2019
- Nr. 455: Christin Gries, Julian Knips, Christian Wernick:
Mobilfunkgestützte M2M-Kommunikation in Deutschland – zukünftige Marktentwicklung und Nummerierungsbedarf, Dezember 2019
- Nr. 456: Menessa Ricarda Braun, Christian Wernick, Thomas Plückebaum, Martin Ockenfels:
Parallele Glasfaserausbauten auf Basis von Mitverlegung und Mitnutzung gemäß DigiNetzG als Möglichkeiten zur Schaffung von Infrastrukturwettbewerb, Dezember 2019
- Nr. 457: Thomas Plückebaum, Martin Ockenfels:
Kosten und andere Hemmnisse der Migration von Kupfer- auf Glasfasernetze, Februar 2020
- Nr. 458: Andrea Liebe, Jonathan Lennartz, René Arnold:
Strategische Ausrichtung bedeutender Anbieter von Internetplattformen, Februar 2020
- Nr. 459: Sebastian Tenbrock, Julian Knips, Christian Wernick:
Status quo der Abschaltung der Kupfernetzinfrastruktur in der EU, März 2020
- Nr. 460: Stefano Lucidi, Martin Ockenfels, Bernd Sörries:
Anhaltspunkte für die Replizierbarkeit von NGA-Anschlüssen im Rahmen des Art. 61 Abs. 3 EKEK, März 2020
- Nr. 461: Fabian Eltges, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum, Desislava Sabeva:
SDN/NFV und ihre Auswirkungen auf die Kosten von Mobilfunk und Festnetz im regulatorischen Kontext, März 2020
- Nr. 462: Lukas Wiewiorra, Andrea Liebe, Serpil Taş
Die wettbewerbliche Bedeutung von Single-Sign-On- bzw. Login-Diensten und ihre Relevanz für datenbasierte Geschäftsmodelle sowie den Datenschutz, Juni 2020
- Nr. 463: Bernd Sörries, Lorenz Nett, Matthias Wissner
Die Negativauktion als ein Instrument zur Versorgung weißer Flecken mit Mobilfunkdiensten, Dezember 2020
- Nr. 464: Sebastian Tenbrock, Christian Wernick:
Incumbents als Nachfrager von Vorleistungen auf FTTB/H-Netzen, Dezember 2020
- Nr. 465: Marcus Stronzik, Gonzalo Zuloaga:
Empirische Untersuchung der FTTB/H-Ausbauaktivität im europäischen Vergleich, Dezember 2020

ISSN 1865-8997