

Briglauer, Wolfgang; Stocker, Volker

**Research Report**

## Bedeutung digitaler Infrastrukturen und Dienste und Maßnahmen zur Förderung der Resilienz in Krisenzeiten

Policy Note, No. 42

**Provided in Cooperation with:**

EcoAustria – Institute for Economic Research, Vienna (Austria)

*Suggested Citation:* Briglauer, Wolfgang; Stocker, Volker (2020) : Bedeutung digitaler Infrastrukturen und Dienste und Maßnahmen zur Förderung der Resilienz in Krisenzeiten, Policy Note, No. 42, EcoAustria - Institute for Economic Research, Vienna

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/227422>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

**Terms of use:**

*Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.*

*You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.*

*If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.*

# ECO

## AUSTRIA

INSTITUT FÜR  
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Oktober 2020

---

## POLICY NOTE 42

Bedeutung digitaler Infrastrukturen und Dienste und  
Maßnahmen zur Förderung der Resilienz in Krisenzeiten

---



## POLICY NOTE 42

### Bedeutung digitaler Infrastrukturen und Dienste und Maßnahmen zur Förderung der Resilienz in Krisenzeiten

*Dr. Wolfgang Briglauer, EcoAustria – Institut für Wirtschaftsforschung und Wirtschaftsuniversität Wien (WU), Wien, E-Mail: wolfgang.briglauer@ecoaustria.ac.at.*

*Dr. Volker Stocker, Weizenbaum Institut für die vernetzte Gesellschaft, Technische Universität Berlin (TU), Berlin. Forschungsassistent: BSc. Martin Wolf, EcoAustria – Institut für Wirtschaftsforschung, Wien.*

Oktober 2020

#### Kurzdarstellung

In der gegenwärtigen COVID-19 Krise wurde die wirtschaftliche und gesellschaftliche Rolle von modernen und leistungsfähigen Internetinfrastrukturen und darauf basierenden Diensten besonders deutlich. So haben eine Reihe von Diensten, etwa im Bereich der Ausbildung („e-learning“ und „e-teaching“), des Gesundheits- oder Verwaltungswesens („e-health“ und „e-government“), des wirtschaftlichen Handelns („e-commerce“) sowie der räumlich flexiblen Arbeitszeitgestaltung („Telearbeit“), eine besonders wichtige Rolle für die Aufrechterhaltung wesentlicher Wirtschafts- und Lebensbereiche während der Phase teils strenger Lockdownmaßnahmen im Frühjahr 2020 gespielt.

Mit dieser gesamtwirtschaftlich bedeutenden Resilienzwirkung in Form einer substanziellen Abfederung des Rückgangs der wirtschaftlichen Gesamtleistung sowie einer in weiterer Folge schnelleren Konjunkturerholung geht eine bislang noch weitgehend unerforschte, jedoch potenziell besonders hohe positive Auswirkung von modernen Infrastrukturen und Online-Diensten einher.

Die in nationalen und EU weiten Breitbandzielen zum Ausdruck gebrachte generelle Bedeutung von digitalen Infrastrukturen und Online-Diensten wurde in den vorliegenden Forschungsergebnissen sowohl für einfaches Internet (Basisbreitband) als auch für schnelles Internet (Hochbreitband) bestätigt. In diesem Sinne sind auch die in den Breitbandzielen formulierten Vollversorgungsziele für alle Haushalte und Unternehmen und die damit einhergehenden Fördermaßnahmen zum Ausbau von Hochbreitbandnetzen nicht nur aus verteilungspolitischen Gründen (Verringerung einer gesellschaftlichen und räumlichen „digitalen Kluft“) positiv zu bewerten, sondern auch aus ökonomischen Effizienzüberlegungen zu rechtfertigen. In Hinblick auf die Unterscheidung von städtischen und ländlichen Gebieten zeigt sich, dass Letztere im besonderen Maße von den positiven Auswirkungen von Hochbreitband profitiert haben, was entsprechend zur Verringerung der räumlichen digitalen Kluft beiträgt.

Obwohl es in der Vergangenheit substanzielle öffentliche Fördermaßnahmen für den Hochbreitbandausbau gegeben hat, um für private Investoren nicht profitable, vor allem

ländliche Regionen, mit Hochbreitband zu versorgen, besteht nach wie vor eine gesellschaftliche digitale Kluft in Hinblick auf die tatsächliche Nutzung von Breitbanddiensten auf Nachfrageseite. Auch hier müssen konkrete Maßnahmen ansetzen, um die effektive Teilhabe in breiten Teilen der Bevölkerung zu erhöhen, damit essenzielle Online-Dienste künftig auch genutzt werden bzw. genutzt werden können ("e-literacy"). Hierzu sollten vom Gesetzgeber entsprechende bildungspolitische Fördermaßnahmen zur Erhöhung der IKT-Affinität – neben der Grundversorgung mit Breitbandzugängen – gesetzt werden.

Die gesammelten Erfahrungen aus der Krisenzeit weisen auf eine Abwesenheit dauerhafter systemischer Beeinträchtigungen des Internets hin. Das Internet Ökosystem hat sich insgesamt als resilient erwiesen und den pandemiebedingten Stresstest bislang ohne große Probleme überstanden. Die Problemlösungsfähigkeit innerhalb des dezentral organisierten Internet-Ökosystems ist also in einem Umfang gegeben, dass hieraus kein Bedarf für staatliche Marktinterventionen abgeleitet werden kann.

Während ordnungspolitische Maßnahmen (sektorspezifische Deregulierung und Förderungen für den Ausbau von Hochbreitband sowie öffentliche Ko-Finanzierungsmodelle) in der Vergangenheit an Bedeutung gewonnen haben, wurde insbesondere auch die Relevanz lokaler Kapazitätserweiterungen sowie intelligenter Traffic Management Maßnahmen seitens der Marktakteure des Internet-Ökosystems angesichts der pandemiebedingten, unvorhersehbaren Anstiege und strukturellen Änderungen im Internettraffic deutlich. Intelligentes, d.h. flexibles und dynamisch adaptives, Traffic Management und Traffic Engineering stellen zentrale Bausteine dar, um die Bereitstellung gesamtwirtschaftlich relevanter Online-Dienste auch in pandemiebedingten Krisenzeiten mit erhöhter bzw. veränderter Internetnutzung zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang sind entsprechende unternehmerische Freiheitsgrade durch weniger restriktive Maßnahmen im Bereich der Regulierung des Internet Traffic Managements (Netzneutralitätsregulierung) wichtig, um bei kurzfristig nicht veränderbaren Breitbandkapazitäten etwaige Qualitätsbeeinträchtigungen in der Nutzung von Internetdiensten auch in Krisenzeiten zu verhindern.



# Inhalt

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Glasfaserbasierte Breitbandausbauszenarien</b> .....	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>Ökonomische Bedeutung digitaler Infrastrukturen und Dienste</b> .....	<b>5</b>
3.1.	Basisbreitband.....	5
3.2.	Hochbreitband .....	7
<b>4.</b>	<b>Maßnahmen zur Förderung der Resilienz digitaler Infrastrukturen und Dienste in Krisenzeiten</b> .....	<b>12</b>
4.1.	Ordnungspolitische Maßnahmen .....	12
4.2.	Traffic Management Maßnahmen und Breitbandgrundversorgung .....	13
4.2.1.	<i>Breitband und das Internet-Ökosystem</i> .....	13
4.2.2.	<i>Maßnahmen zur (optimalen) Verkürzung der Zustellungsketten</i> .....	16
4.2.3.	<i>Breitband und das Internet-Ökosystem in Krisenzeiten</i> .....	18
4.2.4.	<i>Maßnahmenempfehlungen: Effizientes Traffic Management</i> .....	20
4.2.5.	<i>Maßnahmenempfehlungen: Breitbandgrundversorgung und Partizipation</i> .....	22
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b> .....	<b>24</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>26</b>

## 1. Einleitung

Als sogenannte „Schlüsseltechnologie“ (Bresnahan und Trajtenberg, 1995) bringen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)<sup>1</sup>, und Breitbandinfrastrukturen im speziellen, hohe Wohlfahrtsgewinne, aufgrund deren universellen Anwendbarkeit in unterschiedlichsten IKT-basierten Branchen aber auch in weniger IKT-intensiven Branchen sowie aufgrund zahlreicher weiterer technologischer Entwicklungen in Form von Produkt- und Prozessinnovationen. Damit diese Wohlfahrtsgewinne auch tatsächlich generiert werden, wurden seitens der Politik auf nationaler als auch supranationaler Ebene entsprechende Breitbandziele in der Vergangenheit unter der Annahme formuliert, dass (i) marktbasierende Prozesse eine zu geringe Versorgung mit digitalen Infrastrukturen in räumlicher, technologischer und zeitlicher Hinsicht hervorbringen würden und (ii) mit einer weitestgehenden Vollversorgung mit digitalen Infrastrukturen positive gesamtwirtschaftliche Effekte einhergehen würden. Auf Europäischer Ebene hatte die Europäische Kommission in Fortführung ihrer Digitalen Agenda mit Zielen für das Jahr 2020 (European Commission, 2010) zwischenzeitlich noch deutlich ambitioniertere Ziele in ihrer Strategie zur „Europäischen Gigabit Gesellschaft“ für das Jahr 2025 formuliert (European Commission, 2016). Als eine der wesentlichen Zukunftsinvestitionen werden in der Strategie zur Europäischen Gigabit Gesellschaft der Ausbau und die Förderung von „Gigabit-Glasfasernetzen“ genannt, die sowohl hohe Kapazitäten als auch echtzeitfähige und verzögerungsfreie Datenübertragungsleistungen möglichst flächendeckend garantieren sollen. Konkret hatte die Europäische Kommission in ihrer Gigabit-Strategie folgende ambitionierte Ausbauziele festgelegt: Es sollen bis zum Jahr 2025 Gigabit-Verbindungen für alle Schulen, Verkehrsknotenpunkte, öffentlichen Dienstleister und digital-intensiven Firmen bestehen; es sollen alle Ballungsgebiete und Hauptverkehrsstrecken ununterbrochenen Zugang zu 5G haben; und alle europäischen Haushalte sollen Zugang zu Internetverbindungen mit mindestens 100 Mbit/s erhalten (Vollversorgungsziel).

Die in den Breitbandzielen zum Ausdruck gebrachten Erwartungen hinsichtlich der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung von digitalen Infrastrukturen und Diensten gelten in konjunktureller Hinsicht grundsätzlich generell, d.h. sowohl in wirtschaftlichen Normal- als auch Krisenzeiten. Angesichts der aktuellen Wirtschaftskrise infolge der globalen COVID-19 Pandemie und mit den damit einhergehenden massiven Beschränkungen für weite Teile des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens, zeigte sich aber in besonderem Maße die gesamtwirtschaftliche Relevanz digitaler Infrastrukturen, wenn diese auch von weiten Teilen der Bevölkerung genutzt werden bzw. genutzt werden können bei hinreichender IKT-Affinität („e-literacy“). Hiermit konnten während der Phase weitgehender wirtschaftlicher Stilllegung essenzielle Wirtschafts- und Lebensbereiche etwa im Bereich der Ausbildung („e-learning“ und „e-teaching“), des Gesundheits- oder Verwaltungswesens („e-health“ und „e-government“), des wirtschaftlichen Handelns („e-commerce“) sowie mit Formen der mobilen und eigenverantwortlichen Arbeitszeitgestaltung aufrecht erhalten werden. Mit dieser gesamtwirtschaftlich bedeutenden Resilienz Wirkung in Form einer substanziellen Abfederung des Rückgangs der wirtschaftlichen Gesamtleistung aufgrund eines makroökonomischen Schocks sowie einer in weiterer Folge schnelleren Konjunkturerholung geht eine zusätzliche, potenziell besonders hohe positive Externalität von digitalen Infrastrukturen und Diensten einher. Allerdings wurde diese Externalität bislang in der Literatur noch kaum empirisch untersucht.

---

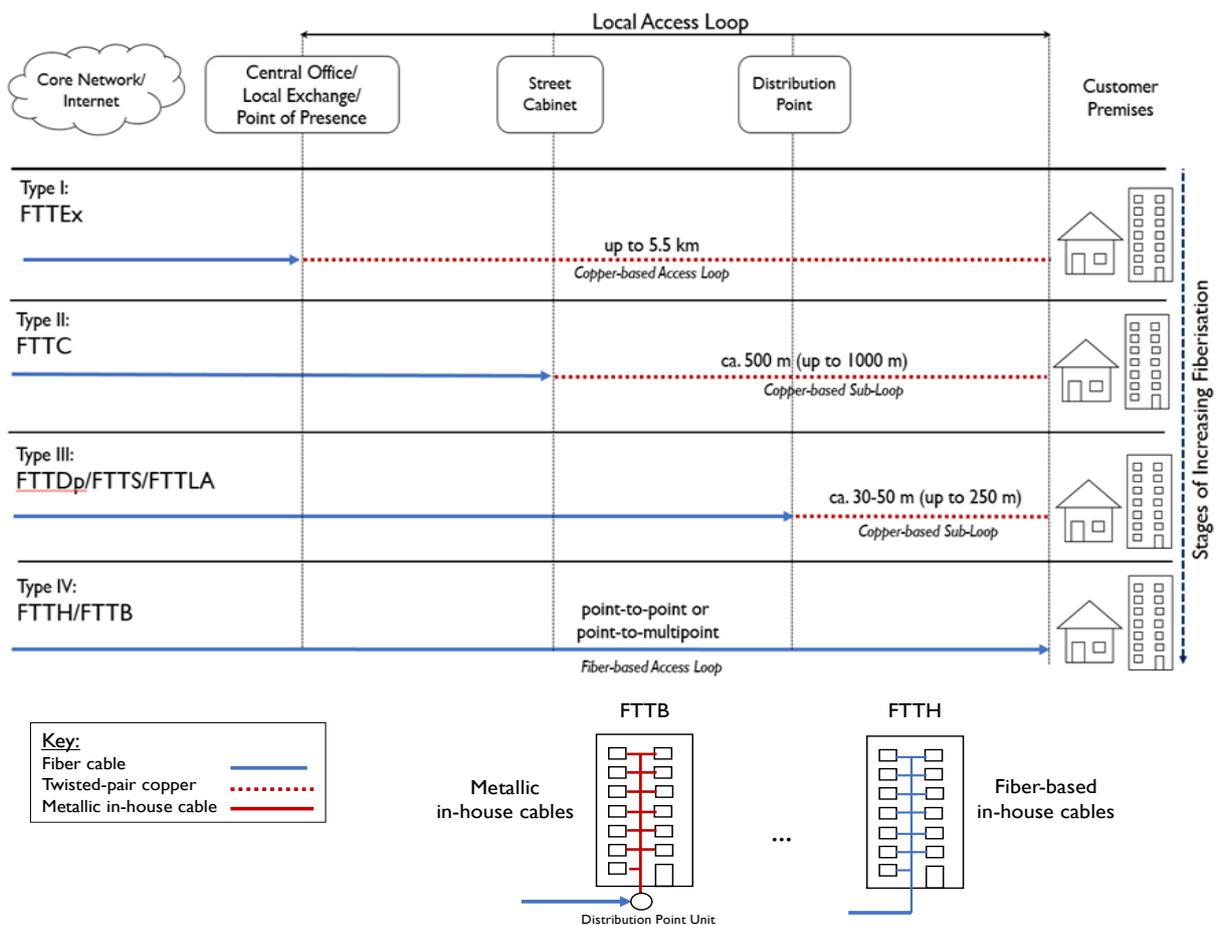
<sup>1</sup> Die IKT-Branche beinhaltet dabei insbesondere die relevanten Telekommunikationsinfrastrukturen sowie IKT-Hardware und IKT-Dienstleistungen (Bertschek et al., 2016a).

Vor dem genannten Hintergrund werden in dieser Policy Note zunächst in Abschnitt 2 die als „digitale Infrastrukturen“ bezeichneten glasfaserbasierten Szenarien des Breitbandnetzausbaus beschrieben. Wie bereits angedeutet, gehen die Wohlfahrtsgewinne mit einer tatsächlichen Verwendung von digitalen Diensten auf Seiten von Unternehmen und Verbrauchern einher. In Abschnitt 3 wird daher die ökonomische Bedeutung digitaler Infrastrukturen und von Online-Diensten für gesamtwirtschaftlich bedeutsame Kenngrößen anhand der vorhandenen empirischen Literatur dargelegt. Letztere wird dabei unterschieden in ältere Beiträge auf Basis von Daten zu „Basisbreitband“ bzw. in neuere Beiträge auf Basis von Daten zu „schnellen“ glasfaserbasierten digitalen Infrastrukturen (Hochbreitband). Neben einem systematischen Literaturüberblick wird in diesem Abschnitt auch eine für Vergleichszwecke normierte quantitative Gegenüberstellung der in den unterschiedlichen Beiträgen identifizierten Effekte in Hinblick auf relevante ökonomische Kenngrößen vorgenommen. Empirische Belege, die die Resilienz Wirkung digitaler Infrastrukturen und Diensten quantifizieren, liegen hingegen nicht bzw. nur für einzelne Aspekte von IKT vor. In Abschnitt 4 werden daher schwerpunktmäßig eine Reihe von Politikmaßnahmen zur Förderung der Resilienz von digitalen Infrastrukturen in qualitativer Form beschrieben. Grundlage hierfür bildet die Untersuchung der hierfür notwendigen infrastrukturellen Anforderungen speziell in wirtschaftlichen Krisenzeiten mit gesteigerter Kapazitätsnachfrage. Neben ordnungspolitischen Maßnahmen (Regulierung und öffentliche Fördermodelle sowie öffentliche Kofinanzierungen) und verteilungspolitischen Fragen (Universaldienst) spielen zudem Aspekte eines intelligenten Traffic Managements eine zentrale Rolle, um die Bereitstellung gesamtwirtschaftlich relevanter Dienste auch in krisenbedingten Spitzenlastzeiten gewährleisten zu können. Abschnitt 5 fasst die wesentlichsten Schlussfolgerungen und Maßnahmenempfehlungen zur Resilienz digitaler Infrastrukturen und Dienste zusammen.

## 2. Glasfaserbasierte Breitbandausbauszenarien

Gigabitfähige digitale Infrastrukturen basieren teils oder ausschließlich auf glasfaserbasierten Netzwerkarchitekturen, wobei hier mehrere Szenarien (Fibre-to-the x, FTTx) bzw. Typologien von glasfaserbasierten Anschlusstechnologien zu unterscheiden sind (Briglauer et al., 2020a). Vom Hauptverteiler bis zum Gebäude werden demnach in unterschiedlichem Ausmaß Glasfaser und Legacy-Infrastrukturen eingesetzt. Abbildung 1 illustriert das korrespondierende Ausmaß der mit Glasfaser überbrückten Distanz im Bereich der Teilnehmeranschlussnetze („Local Access Loop“).

Abbildung 1: Schematische Darstellung unterschiedlicher FTTx-Netzausbautechnologien



Quelle: FTTH Council Europe, 2018, 12-14; Timmers et al., 2018, 4-5, Zhao et al., 2014, 6-7

Typ I (Basisbreitband) – FTTE<sub>x</sub>: Auf Basis von „Fibre to the exchange“ (FTTE<sub>x</sub>), wo die Hauptvermittlungsstelle mit Glasfaser erschlossen ist, können in Verbindung mit xDSL-Technologien (vor allem ADSL („Asymmetric Digital Subscriber Line“)) Basisbreitbanddienste angeboten werden, die im Download Datenraten in der Größenordnung von bis zu 20 Mbit/s ermöglichen.

Typ II ((Hybrides) Hochbreitband) – FTTC: Hochbreitband begann mit FTTC (‐Fibre to the Cabinet“) bzw. der Technologie ‐Very High Speed Digital Subscriber Line“ (VDSL). Mit FTTC werden VDSL-basierte Hybridtechnologien bezeichnet, worin die von Glasfaserleitungen zu überwindende Strecke gegenüber der Distanz vom Hauptverteiler (FTTE<sub>x</sub>) deutlich verkürzt wird. VDSL basierte Anschlüsse

erreichen Übertragungsgeschwindigkeiten von bis zu 50 Mbit/s im Download. Mit ergänzenden Technologien wie dem VDSL Vectoring sind Geschwindigkeiten von bis zu 100 Mbit/s möglich. (Bertschek et al., 2016a, 17-18).

Typ III ((Hybrides) Hochbreitband) – FTTP/FTTS/FTTLA: Hybrides Hochbreitband wird gegenwärtig vor allem über „Fibre to the distribution point“ (FTTP) und „Fibre to the Street“ (FTTS) angeboten. In Verbindung mit den Übertragungstechnologien „Vectoring“ und „G.fast“ können über solche Hybridnetze bis zu mehreren 100 Mbit/s erzielt werden. Eine weitere Hybridtechnologie stellt die schnelle Übertragung von Daten über bestehende Kabelfernsehnetze (CATV) dar. An der Schnittstelle zwischen Glasfaser und Koaxialkabel werden die optischen Signale in elektrische Signale umgewandelt, wobei die Glasfaser bis zum letzten Verstärker geführt wird. Man spricht daher auch von „Fibre to the Last Amplifier“ (FTTLA). Zu beachten ist dabei die Topologie der Zugangsnetze. Bei FTTLA Kabelnetzen teilen sich – ähnlich wie im Mobilfunk – mehrere Anschlussnehmer die in einem Segment zur Verfügung stehende Bandbreite (Koaxialkabel im letzten Anschlusssegment daher als „shared medium“), sodass die individuell zur Verfügung stehende Übertragungskapazität („Bandbreite“) insbesondere in Zeiten höchster Nutzung („Spitzenlastzeiten“) teils deutlich unter den theoretischen Höchstwerten liegen kann, da im Gegensatz zum Kupferkabel keine dedizierte Kapazität für die einzelnen Teilnehmer zur Verfügung steht (Bertschek et al., 2016a, 68).

Typ IV (Ultrahochbreitband) – FTTH/B: Mit FTTH/B sind Glasfaserzugangsrealisierungen gemeint, bei denen entweder bis zum Gebäude („Fibre to the building“, FTTB) oder bis in die Wohnung/ins Büro („Fibre to the home“, FTTH) zur Gänze Glasfaser, d.h. inkl. der Inhausverkabelung, eingesetzt wird. In politischen Breitbandzielen werden des Öfteren FTTH/B-Ausbauszenarien mit Gigabitinfrastrukturen gleichgesetzt (European Commission, 2016). Mit sämtlichen in Typ III bis IV skizzierten FTTx Szenarien kann aber zumindest das in der Gigabit-Strategie der Europäischen Kommission genannte Vollversorgungsziel mit 100 Mbit/s für alle Haushalte und Unternehmen erreicht und garantiert werden.

Nachfolgend werden die Bezeichnungen „Hochbreitband“ und „digitale Infrastrukturen“ als synonyme Überbegriffe für sämtliche Formen von FTTx von Typ II bis IV verwendet.

In der jüngeren Vergangenheit haben mobile Breitbanddienste stark an Bedeutung gewonnen. Vor allem die auf „Long Term Evolution“ (LTE, 4G) basierende Mobilfunktechnologie bietet Bandbreiten, die mit leitungsgebundenen Glasfaserhybridnetzen zunehmend vergleichbar sind. Dennoch gibt es in technologischer Hinsicht auch noch Unterschiede. So werden insbesondere die Luftschnittstelle und die verfügbaren Kapazitäten von allen Teilnehmern einer bestimmten Funkzelle gemeinsam genutzt (shared medium). Da die drahtlose Signalübermittlung zudem störungsanfälliger ist als die Leitungsgebundene, können sich Qualitätsunterschiede ergeben (Bertschek et al., 2016a, 18; Stocker, 2020, Kap. 3.3.4). Der vom Mobilfunk ausgehende gestiegene Wettbewerbsdruck hat in weiterer Folge auch FTTx-Investitionsaktivitäten ebenso wie Preise und Qualität und somit auch die nachfrageseitige Adoption beeinflusst. Wenn auch mobiles Breitband teils nach wie vor von manchen Konsumentensegmenten komplementär genutzt wird, so hat der vom Mobilfunksektor ausgehende Wettbewerbsdruck insgesamt doch deutlich zugenommen und stellt für eine zunehmende Zahl von Konsumenten ein immer attraktiveres Substitut dar. Mit 5G-Netzen, die seit 2019/2020 in Europa gebaut werden, steht ein weiterer grundlegender Technologiewandel mit entsprechenden Auswirkungen für Wettbewerb und Dienstinnovationen bevor. Dabei treiben 5G-Netze einen Konvergenzprozess zwischen kabelgebundenen und drahtlosen Infrastrukturen, die auf gemeinsame Glasfaserinfrastrukturelemente zurückgreifen, voran (Briglauer et al., 2020a; OECD, 2019).

### 3. Ökonomische Bedeutung digitaler Infrastrukturen und Dienste

#### 3.1. Basisbreitband

Bertschek et al. (2016b) überprüfen mehr als 60 Studien, die die kausalen Auswirkungen der Breitbandabdeckung und -adoption auf wichtige Wirtschaftsindikatoren wie Bruttoinlandsprodukt (BIP), Beschäftigung und Produktivität untersuchen. Einen aktuelleren Überblick bieten Abrardi und Cambini (2019), die auch einige Studien mit Daten zu Hochbreitband umfassen (ausführlicher in Abschnitt 3.2 besprochen). Insgesamt zeigt die klare Mehrheit der empirischen Studien, die die Auswirkungen auf das BIP und das BIP-Wachstum anhand von Daten auf Länderebene untersuchen, einen positiven und signifikanten Effekt. Beispielsweise untersuchen Czernich et al. (2011) Panel-Daten zu 25 OECD-Ländern von 1996 bis 2007 und stellen fest, dass ein zusätzlicher Anstieg der Breitbandadoptionsrate um 10 Prozentpunkte zu einem Anstieg des jährlichen Pro-Kopf-BIP-Wachstums um 0.9 bis 1.5 Prozentpunkte führt. Koutroumpis (2009) quantifiziert die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Breitbandadoption in den OECD-Ländern für den Zeitraum 2002 bis 2007. Es wird ein signifikant positiver Einfluss der Breitbandadoption auf das BIP festgestellt, wobei ein Anstieg der Breitbandadoption um ein Prozent zu einem Anstieg des BIP-Wachstums um 0.023% führt.

In ähnlicher Weise findet die klare Mehrheit der Studien, die sich auf die Gesamtbeschäftigung konzentrieren, positive Zusammenhänge zwischen Breitband und Beschäftigungswachstum. Diese Auswirkungen sind jedoch nicht homogen: Beispielsweise legen mehrere Studien, die Unterschiede im Qualifikationsniveau der Arbeitnehmer berücksichtigen, nahe, dass die Breitbandwirkung vor allem für hochqualifizierte Arbeitskräfte signifikant ist (Forman et al., 2012; Akerman et al., 2015). Zum Beispiel zeigen Forman et al. (2012), dass in US-Bundesstaaten mit hohem Einkommen, hoher Bildung, Bevölkerung und IKT-Intensität Internetinvestitionen 22.7% des gesamten Lohnwachstums erklären, während in anderen Bundesstaaten nur ein Prozent des Lohnwachstums mit Internetinvestitionen erklärt werden kann. Akerman et al. (2015) stellen fest, dass in norwegischen Gemeinden eine Erhöhung der Breitbandverfügbarkeit um ein Prozent die Löhne von Facharbeitern zwischen 0.0036% und 0.019%, abhängig vom Grad der Verfügbarkeit, erhöht. In ähnlicher Weise sind Regionen mit intensiver IKT-Nutzung und hohem Einkommen stärker von Breitbandinfrastrukturen und der Adoption von Diensten betroffen. Die stärkeren Auswirkungen auf abgelegene Gebiete stützen die Annahme, dass Breitbandzugang diesen Regionen helfen kann, zu wirtschaftlich besser entwickelten städtischen Gebieten aufzuschließen (bzw. den räumlichen „digital divide“ zu verringern).

Die mikroökonomischen Studien zur Arbeitsproduktivität zeichnen ein differenzierteres und weniger schlüssiges Bild. Während einige Studien einen signifikant positiven Effekt von Breitband auf die Arbeitsproduktivität finden, sprechen andere gegen das Vorhandensein eines signifikanten Effekts oder nur für Breitbandanwendungen in Kombination mit strategischen und organisatorischen Änderungen. Allerdings wird in Unternehmen der Effekt der Adoption von Breitband im Falle hochqualifizierter Arbeitskräfte zusätzlich positiv verstärkt.

Auch zu unterschiedlichen Auswirkungen von Basisbreitband zwischen ländlichen und städtischen Gebieten existieren mehrere Beiträge: Atasoy (2013) untersucht die Arbeitsmarkteffekte der Breitbandverfügbarkeit in US-Bundesstaaten mit Panel-Daten von 1999 bis 2007 unter Verwendung des Anteils der Bevölkerung in Postleitzahlen mit mindestens einem Breitbandanbieter als Maß für die Breitbandverfügbarkeit. Breitband hat einen signifikanten und positiven Effekt von 1.8 Prozentpunkten auf die Beschäftigungsquote. Auf regionaler Ebene profitieren ländliche Gebiete mehr als städtische

Gebiete von einer erhöhten Breitbandverfügbarkeit. Das Extrem-Szenario, der Übergang von einer Nichtverfügbarkeit zu einer Vollverfügbarkeit, würde zu einer Erhöhung der Beschäftigungsquote um 2.24 Prozentpunkte führen. Ivus und Boland (2015) analysieren den Einfluss der Breitbandabdeckung auf die lokale Beschäftigung und das Lohnwachstum anhand von Daten für 4344 kanadische Gemeinden für die Jahre 1997 bis 2011. Die Autoren klassifizieren die Gemeinden in 76 Wirtschaftsräume. Während die Basisschätzungen keinen signifikanten Effekt einer Erhöhung der Breitbandabdeckung nahelegen, ändert sich dies, wenn ein Interaktionsterm zwischen Breitbandabdeckung und ländlichen Gebieten einbezogen wird. In diesem Fall hat eine höhere Breitbandabdeckung im Dienstleistungssektor einen signifikanten positiven Einfluss von 0.533% auf das Beschäftigungswachstum in ländlichen Gebieten und einen insignifikanten Einfluss auf das Beschäftigungswachstum in städtischen Gebieten. Darüber hinaus sind diese Effekte in IKT-intensiven Branchen besonders ausgeprägt. Diese relativ größeren Auswirkungen von Breitband in ländlichen Gebieten finden sich auch in Kolko (2010; 2012) in Bezug auf das Wirtschaftswachstum sowie in Whitacre et al. (2014a, b) in Bezug auf Beschäftigung und Wirtschaftswachstum.

Insgesamt deuten die Ergebnisse zu den Auswirkungen von Basisbreitband auf Makroebene darauf hin, dass die Förderung des Breitbandausbaus eine wirksame Maßnahme zur Erzielung von Netto-Wohlfahrtsgewinnen darstellt. Während positive Auswirkungen auf das BIP klar ersichtlich sind, sind die Gesamtauswirkungen von Breitband auf die Beschäftigung und Arbeitsproduktivität derart nicht eindeutig gegeben. Da die Adoption von Breitband und die Digitalisierung neue Arbeitsplätze schaffen, wird sich auch die Nachfrage nach derlei Arbeitskräften ändern. Derartige Veränderungen deuten auf heterogene Effekte hin, was die teils insignifikanten Ergebnisse in empirischen Studien erklärt.

Auf Basis der infrastrukturellen Verfügbarkeit führt die nachfrageseitige Adoption von Breitbandanschlüssen – neben den vorhin genannten BIP relevanten Effekten – durch die entsprechende Nutzung einer Vielzahl von Breitbanddiensten zudem zu erheblichen Verbraucherüberschüssen in aggregierter Betrachtung. Zum Beispiel hätte wohl ein hoher Anteil der Verbraucher neben der Entrichtung des Entgeltes für den Breitbandzugang eine zusätzliche Zahlungsbereitschaft für besonders beliebte und verbreitete Dienste wie Google-Suche. Für eine Vielzahl dieser Dienste musste (bislang) jedoch kein zusätzliches Entgelt entrichtet werden (die Verbraucher „bezahlen“ allerdings typischerweise in nicht-monetärer Form mit dem Konsum von Werbung und der Übermittlung persönlicher Daten). Zuverlässige empirische Belege zu der im Aggregat resultierenden Konsumentenrente fehlen bislang jedoch weitgehend, es existieren lediglich Schätzungen zu einzelnen Diensten. Greenstein und McDevitt (2011) schätzen den Konsumentenüberschuss in einem bestimmten Jahr als Schätzung der Zahlungsbereitschaft für Schmalbandnetze (PSTN) bei Einwahlverbindungs-Nutzern. Schätzungen zufolge lag der durch das Schmalbandnetz erzielte Konsumentenüberschuss zwischen rund 4.8 und 6.7 Mrd. USD. Dutz et al. (2012) bieten einen Vergleich des zu Hause verfügbaren Basisbreitbandzugangs und des fehlenden Breitbandzugangs. Die Autoren schätzen, dass der zusätzliche Konsumentenüberschuss, der durch eine Breitbandverbindung erzielt wird, 2008 bei rund 32 Mrd. USD lag. Diese einzelnen Studien zu alten Schmalband-/Breitbandinfrastrukturen deuten auf enorme Konsumentenrenten in der Geschichte der Internet-Adoption hin. Es ist zu erwarten, dass sich diese Bedeutung des Konsumentenüberschusses aufgrund des im IKT-Bereich enormen technologischen Fortschritts mit zahlreichen Produktinnovationen in wahrscheinlich noch stärkerer Form auch auf neue hochbreitbandbasierte Dienste überträgt.

### 3.2. Hochbreitband

Angesichts der erheblichen Kosten für die Bereitstellung und Finanzierung ubiquitärer Hochbreitbandnetze, die teilweise oder vollständig auf Glasfaser basieren, stellen sich grundlegende Fragen zu den wirtschaftlichen Erträgen des Ausbaus neuer und qualitativ hochwertiger Breitbandnetze. Aus wirtschaftspolitischer Sicht sind daher zuverlässige empirische Belege dringend erforderlich. In diesem Abschnitt werden daher alle empirischen Belege dargestellt, die auf Breitbanddaten von zumindest  $\geq 30$  Mbit/s Bandbreitenkapazität basieren. Dies entspricht dem Vollversorgungsziel der Digitalen Agenda für Europa für 2020 und umfasst per Definition ( $\geq 30$  Mbit/s) auch gigabitfähige Hochbreitbandnetze. Es werden nachfolgend nur quantitative Untersuchungen in den Literaturüberblick einbezogen, welche versuchen, tatsächliche Kausalzusammenhänge zwischen Breitbandinfrastruktur (Verfügbarkeit oder Abdeckung auf der Angebotsseite) oder Breitbanddiensten (Nutzung oder Adoption auf der Nachfrageseite) und ökonomischen Schlüsselvariablen zu identifizieren.<sup>2</sup> Es werden sowohl die Auswirkungen der Breitbandabdeckung auf der Angebotsseite als auch adoptionsbezogene Studien näher betrachtet, da beide Maße sehr informativ sind. Während die (Input-orientierte) Abdeckung aus ordnungspolitischer Sicht informativer ist (sektorspezifische Regulierungsmaßnahmen, staatliche Beihilfen oder öffentliche Finanzierungen, die sich alle direkt auf Infrastrukturinvestitionen auswirken), ist die (Output-orientierte) Adoption auf der Nachfrageseite aus Wohlfahrtssicht wesentlicher. Die Adoption von Diensten hängt offensichtlich von der Verfügbarkeit der zugrunde liegenden Infrastruktur ab. Empirische Studien, die ihre Modelle mithilfe von Verfügbarkeitszahlen schätzen, generieren daher Ergebnisse, bei denen die geschätzten Koeffizienten einen proportionalen Effekt darstellen, der kleiner ist als der Effekt bei tatsächlicher Breitbandnutzung (Czernich, 2014). Aufgrund der massiven Unterschiede bei der angebotsseitigen Versorgung mit Hochbreitband und der nachfrageseitigen Adoption,<sup>3</sup> sind Schätzungen für die Effekte von Hochbreitband-Investitionen eine unvollständige Proxy-Variable für Variablen zur Hochbreitbandadoption, da damit die wirtschaftlichen Auswirkungen erheblich unterschätzt werden würden. Daher können realisierte Wohlfahrtsgewinne und die jeweiligen Schätzungen je nach verwendeten Breitbanddaten maßgeblich voneinander abweichen.

Tabelle 1 bietet einen strukturierten Überblick über alle zur Zeit verfügbaren empirischen Belege zu den Auswirkungen von Hochbreitbandnetzen auf die oben genannten ökonomischen Ergebnisvariablen (zuzüglich einzelner Studien zu den Auswirkungen auf Firmengründungen und Bildung). Die Spalten in Tabelle 1 enthalten Informationen zu den Autoren und dem Erscheinungsjahr, der Datenstruktur, der empirischen Methodik und den Hauptergebnissen.

In Bezug auf das BIP wurden die Auswirkungen von Hochbreitband in Briglauer und Gugler (2019) und Briglauer et al. (2020b) untersucht. Während die erstgenannte Studie auf EU-27-Länderebene basiert, verwendet letztere Daten auf deutscher Kreisebene. Die Ergebnisse deuten auf eine durchwegs positive Rolle für Hochbreitbandverbindungen hin, jedoch auch auf abnehmende Effekte hinsichtlich der Adoption von FTTx-Verbindungen und der durchschnittlichen Breitbandgeschwindigkeit. Briglauer et al. (2020b) stellen auch erhebliche positive Auswirkungen innerhalb von deutschen Nachbarregionen fest. Dieser positive räumliche spill-over Effekt ist für ländliche Gebiete noch stärker ausgeprägt.

---

<sup>2</sup> Dementsprechend werden sowohl qualitative Fallstudien als auch simulationsbasierte Studien ausgeschlossen.

<sup>3</sup> So lagen die sogenannten „take-up rates“, die das Verhältnis von Adoption und verfügbaren Kapazitäten wiedergeben, persistent unter 50% seit Beginn des glasfaserbasierten Netzausbaus Mitte der 2000er Jahre (Briglauer et al., 2020a, Abbildung 3).

Betrachtet man die verschiedenen Auswirkungen auf die Arbeitsmärkte, so zeigt sich – wie schon für Basisbreitband – ein heterogeneres Bild. Bai (2017) (nach Korrekturen, identifiziert in Whitacre et al., 2018) und Fabling und Grimes (2016) finden keine signifikanten Belege für positive Effekte von FTTx-Technologien in Bezug auf die abhängigen Beschäftigungsvariablen. Nordin et al. (2019) finden sogar negative Ergebnisse für die gesamte Stichprobe, jedoch positive Auswirkungen von Hochbreitband-Verbindungen nur unter Berücksichtigung ländlicher Gebiete. Balsmeier und Woerter (2019) erhalten ebenfalls keine statistisch signifikanten und positiven Ergebnisse unter Verwendung der gesamten Stichprobe. Eine Aufteilung in hoch-, mittel- und niedrigqualifizierte Arbeitskräfte zeigt jedoch positive Auswirkungen von Hochbreitband für hochqualifizierte Beschäftigte. Sowohl Lobo et al. (2020) als auch Firgo et al. (2018) finden auf Basis von Regionaldaten für die USA bzw. für Österreich einen positiven Beschäftigungseffekt einer zunehmenden Breitbandgeschwindigkeit, der jeweils für ländliche Regionen stärker ausgeprägt ist. In Gal et al. (2019) wurde ein Zuwachs in der Unternehmensproduktivität ("Total Factor Productivity") aufgrund zusätzlicher Abdeckung mit Hochbreitbandnetzen festgestellt.

Auch in Hinblick auf die Gründung neuer Unternehmen kann ein positiver Effekt von Hochbreitband festgestellt werden. Hasbi (2020) findet einen positiven Einfluss von Hochbreitband auf alle Arten von Unternehmen für Gemeinden in Frankreich. Grimes und Townsend (2018) untersuchen Bildungseffekte und finden einen positiven Einfluss von etwa einem Prozentpunkt von Hochbreitband auf Bildung in Bezug auf positive Noten in Grundschulen.

Abbildung 2 fasst die wichtigsten Ergebnisse aus der verfügbaren empirischen Literatur in quantitativer Darstellungsform zusammen. Um aussagekräftige studienübergreifende Vergleiche der jeweiligen Schätzkoeffizienten zu ermöglichen, werden alle Schätzkoeffizienten als prozentuale Änderungen (%) interpretiert. Das heißt, es wird die marginale Änderung in % in der jeweiligen Ergebnisvariablen dargestellt, wenn die jeweilige dazugehörige Breitbandvariable um 1% zunimmt. Um diesen Vergleich zu ermöglichen, mussten die in einigen Studien (Tabelle 1) angegebenen absoluten Prozentpunktänderungen in relative %-Änderungen umgerechnet werden, wobei die jeweiligen Mittelwerte als Referenzwerte verwendet wurden. Darüber hinaus werden in Abbildung 2 die Ergebnisse für Hochbreitband (Abschnitt 3.2.) mit den wichtigsten Ergebnissen zu Basisbreitband (Abschnitt 3.1), ergänzt. Auf die einzelnen Studien wird mit den jeweiligen Anfangsbuchstaben der einzelnen Autoren Bezug genommen.

Die in Abbildung 2 ausgewiesenen quantitativen Effekte werden aus folgenden Gründen unterschätzt sein: Zum einen benötigt nicht nur die Adoption von zur Verfügung gestellten Infrastrukturen Zeit, auch werden Produktinnovationen, Prozessinnovationen und technischer Fortschritt erst mit einer signifikanten Zeitverzögerung realisiert werden können; dies ist jedoch in den zumeist kontemporären Modellspezifikationen nicht oder nur unvollständig berücksichtigt. Zum anderen geben die durchschnittlichen Schätzergebnisse zumeist Einmaleffekte (also etwa für ein durchschnittliches Jahr) wieder, was jedoch angesichts der langen Lebensdauer von digitalen Infrastrukturen die tatsächlichen Gesamteffekte ebenfalls unterschätzt.

Tabelle 1: Ökonomische Effekte von Hochbreitband ( $\geq 30$  Mbit/s im Download) – Überblick der verfügbaren empirischen Evidenz

Autoren	Daten	Breitband Daten* (Technologie und Bandbreiten)	Methodik (Identifikations-Strategie)	Hauptergebnisse
<b>Effekte auf das BIP</b>				
<b>Briglauer &amp; Gugler (2019)</b>	EU-27, Panel-Daten Länderebene 2003-2015	Adoption FTTH/B und FTTC/FTTLA	IV-Schätzung, Fixed effects- Modell	Eine 10% Steigerung in FTTH/B und Hybrid-Hochbreitband führt zu einer Steigerung des BIP um etwa 0.02-0.03% in der OLS-Schätzung und um 0.02-0.04% in der IV-Schätzung.
<b>Briglauer et al. (2020b)</b>	Deutschland, Panel-Daten Kreisebene** 2010-2015	Verfügbarkeit Durchschnittliches Geschwindigkeitslevel basierend auf Bandbreiten (von $\geq 1$ Mbit/s bis $\geq 50$ Mbit/s)	IV-Schätzung, Fixed effects- Modell	Eine Steigerung der durchschnittlichen Breitbandgeschwindigkeit um 1 Mbit/s steigert das regionale BIP pro Kopf um 0.18% (0.31% mit regionalen Externalitäten); ländliche Gebiete profitieren mehr von einem Anstieg in der Breitbandgeschwindigkeit.
<b>Effekte auf den Arbeitsmarkt</b>				
<b>Bai (2017)</b>	U.S., Panel-Daten Kreisebene** 2011-2014	Verfügbarkeit Vier Bandbreitenbereiche: > 1 Gbit/s; 1 Gbit/s - 100 Mbit/s; 100 Mbit/s - 3 Mbit/s; <3 Mbit/s	First differenced Modell	Bai wies positive Effekte von Breitbandgeschwindigkeit auf Beschäftigung nach. Jedoch produziert das ursprüngliche Modell keine statistisch signifikanten Ergebnisse mehr, nachdem ein Fehler (identifiziert in Whitcare et al. 2018) korrigiert wurde.
<b>Balsmeier &amp; Woerter (2019)</b>	Schweiz, Querschnitts-Daten Firmenebene 2015	Adoption > 100 Mbit/s	IV-Schätzung	Die absolute Veränderung in hochqualifizierten Beschäftigten für ein zusätzliches Investment in Digitalisierung in Höhe von 100.000 CHF beträgt 6.539, falls bereits ein Zugang zu Breitbandzugang über 100 Mbit/s besteht.
<b>Fabling &amp; Grimes (2016)</b>	Neuseeland, Panel-Daten Firmenebene 2010-2012	Adoption FTTDP (~100 Mbit/s)	IV-Schätzung, OLS, Fixed effects Modell	Es konnten lediglich in einer OLS-Schätzung signifikante Ergebnisse nachgewiesen werden. Andere Modelle wiesen keine signifikanten Ergebnisse von Hochbreitband-Adoption auf Beschäftigung nach.
<b>Lobo et al. (2020)</b>	U.S. Tennessee, Panel-Daten Kreisebene** 2011-2016	Adoption $\geq 100$ Mbit/s	Fixed effects- Modell	Kreise mit Zugang zu > 100 Mbit/s haben eine um 0.26 Prozentpunkte niedrigere Arbeitslosenrate als Kreise mit Zugang zu geringer Breitbandgeschwindigkeit. Ländliche Gebiete mit > 100 Mbit/s weisen eine um 0.39 Prozentpunkte niedrigere Arbeitslosenrate auf als urbane Kreise (> 100 Mbit/s).

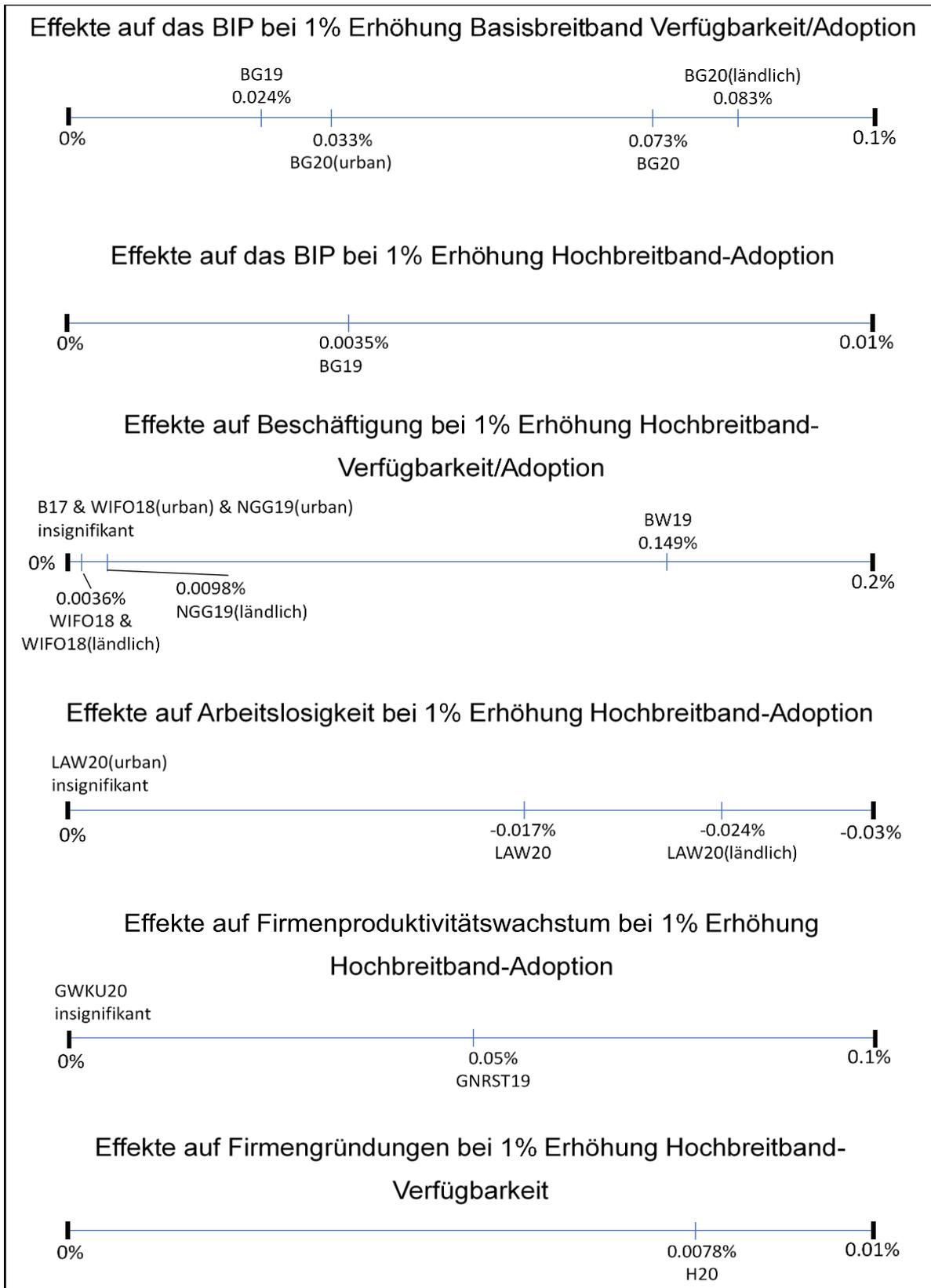
Autoren	Daten	Breitband Daten* (Technologie und Bandbreite)	Methodik (Identifikations-Strategie)	Hauptergebnisse
<b>Effekte auf den Arbeitsmarkt</b>				
<b>Nordin et al. (2019)***</b>	Schweden, Panel-Daten SAMS, Gemeindeebene 2000-2014	Adoption > 100 Mbit/s	Fixed effects Modell, IV-Schätzung	Eine Steigerung um 10% in Breitbandabdeckung (> 100 Mbit/s) in der ganzen Stichprobe führt zu einer Verringerung von Umsätzen (Beschäftigung) um 0.61% (0.1%), wohingegen eine Aufteilung in urbane und ländliche Gebiete zu einer Steigerung der Beschäftigung von 0.098% in ländlichen Gebieten führt.
<b>Firgo et al. (2018)</b>	Österreich, Panel-Daten NUTS-3-Ebene 2013-2016	Verfügbarkeit Durchschnittliches Geschwindigkeitslevel basierend auf Bandbreiten (von < 2 Mbit/s bis > 100 Mbit/s)	Fixed effects und räumliche Modelle	Eine Verdopplung (100% Steigerung) der Downloadgeschwindigkeit steigert die Beschäftigung nach dem Arbeitsortsprinzip um 0.282 Prozentpunkte; der Effekt auf das Beschäftigungswachstum in ländlichen Gemeinden ist 0.303 Prozentpunkte; der Effekt auf urbane Gemeinden ist insignifikant.
<b>Effekte auf Produktivität</b>				
<b>Gal et al. (2019)</b>	20 Länder, Panel-Daten Firmenebene 2014-2016	Adoption > 30 Mbit/s	Fehlerkorrekturmodell, OLS	Eine Steigerung um 10 Prozentpunkte in der Hochbreitband-Adoption führt zu einer Steigerung im Wachstum der Unternehmensproduktivität um 1.4 Prozentpunkte.
<b>Gallardo et al. (2020)</b>	U.S., Querschnittsdaten Kreisebene** 2017	Adoption Drei definierte Bandbreiten: ≥ 1 Gbit/s; ≥ 50 Mbit/s; ≥ 25 Mbit/s;	Spatial error Modell	Es wurden keine signifikanten Ergebnisse für 50 Mbit/s und 1 Gbit/s hinsichtlich Produktivität gefunden.
<b>Effekte auf Firmengründungen</b>				
<b>Hasbi (2020)</b>	Frankreich, Panel-Daten Gemeindeebene 2010-2015	Verfügbarkeit ≥ 30 Mbit/s	Negative-binomial Modell, Fixed effects Modell	Gemeinden mit Breitbandverbindungen > 30 Mbit/s haben eine 2.7% höhere Chance neue Betriebe zu gründen verglichen mit anderen Gemeinden.
<b>Effekte auf Bildung</b>				
<b>Grimes &amp; Townsend (2018)</b>	Neuseeland, Panel-Daten öffentliche Schulebene 2012-2016	Adoption ≥ 100 Mbit/s	DiD-Modell	Glasfaserverfügbarkeit steigert die positiven Noten um ungefähr einen Prozentpunkt pro Jahr in Grundschulen, Schulen mit Schülern, welche Eltern mit niedrigen Einkommen haben, profitieren zudem mehr von Glasfaserverfügbarkeit.

Quelle: EcoAustria basierend auf Abrardi & Cambini (2019).

Anm.: \* FTTx-Technologien wie in Abschnitt 2 beschrieben \*\* Damit sind mittlere administrative Ebenen gemeint, die zwischen Gemeinde- und Länderebene liegen. \*\*\* Die Autoren definieren urbane und ländliche Gebiete mit SAMS-Bevölkerungsdichte und verwenden einen Schwellenwert von 25 pro km<sup>2</sup> für urbane Gebiete.

Abkürzungen: IV → Instrumental Variable, OLS → Ordinary least squares, DiD → Difference in differences, SAMS → Small Area for Market Statistics

Abbildung 2: Meta-Vergleich der Schätzkoeffizienten



Quelle: EcoAustria

Anm.: Das Maximum jeder Gruppe variiert zwischen den Kategorien. Ein Vergleich zwischen diesen Kategorien ist daher nicht maßstabsgetreu möglich. Lobo et al. (2020) und Hasbi (2020) verwenden in ihren Studien Dummy-Variablen. Das Anfangs- und Endjahr der entsprechenden deskriptiven Statistiken wurde dazu verwendet, um die durchschnittlichen Vergleichseffekte zu berechnen. Ergebnisse in Grimes & Townsend (2018) sind nicht aufgeführt. WIFO18 dient als Abkürzung für die Ergebnisse von Firgo et al. (2018).

## 4. Maßnahmen zur Förderung der Resilienz digitaler Infrastrukturen und Dienste in Krisenzeiten

Die in den Abschnitten 3.1 und 3.2 wiedergegebene empirische Literatur untersucht die Bedeutung von digitalen Infrastrukturen und Diensten in Hinblick auf zentrale ökonomische Kenngrößen ohne jedoch zwischen wirtschaftlichen Normal- und Krisenzeiten zu unterscheiden. Aufgrund der fehlenden Vergleichsgrößen, untersucht keiner dieser empirischen Beiträge Externalitäten im Zusammenhang mit der Resilienz moderner Breitbandinfrastrukturen und -dienste in Zeiten einer pandemiebedingten Wirtschaftskrise, in denen große Teile der traditionellen Wirtschaftssektoren betroffen oder sogar stillgelegt sind, so wie dies seit der COVID-19 Krise im Frühjahr 2020 der Fall ist. In solchen Zeiten spielen eine Reihe essenzieller Online-Dienste vermutlich eine wichtige Rolle um den wirtschaftlichen Abschwung abzuschwächen. So bemerkte Internetpionier David Clark vom MIT etwa: *“If we didn’t have the Internet, we’d be in an incredibly different place right now. What if this had happened in the 1980s?”* (zitiert nach Timberg, 2020).

In diesem Abschnitt sollen Maßnahmen zur Förderung von Investitionen in digitale Infrastrukturen beschrieben werden. Ordnungspolitische Maßnahmen (Abschnitt 4.1) zur sektorspezifischen (De-)Regulierung bzw. zu öffentlichen Fördermodellen zur Forcierung von Hochbreitband sind sowohl für wirtschaftliche Normal- als auch Krisenzeiten von Relevanz. In Abschnitt 4.2 liegt der Fokus hingegen in der Beschreibung der speziell in Hinblick auf die in pandemiebedingten Krisenzeiten notwendigen Investitionen in Breitbandkapazitäten zur Gewährleistung einer möglichst flächendeckenden Grundversorgung, ebenso wie in der Beschreibung effizienter Traffic Managementtechniken zur Gewährleistung gesamtwirtschaftlich besonders relevanter Dienste auch in Spitzenlastzeiten.

### 4.1. Ordnungspolitische Maßnahmen

In Hinblick auf Maßnahmen zur *sektorspezifischen Regulierung* weist die verfügbare empirische Evidenz deutlich darauf hin, dass eine hohe sektorspezifische Regulierungsintensität auf bestehenden Breitbandmärkten zu insgesamt verringerten Investitionsanreizen bei neuer Breitbandinfrastruktur führt (Briglauer et al., 2018a; Briglauer, 2015). Deregulierung in Hinblick auf bestehende Regulierungsverpflichtungen erhöht also umgekehrt Infrastrukturinvestitionen. Der Zusammenhang von Investitionen und Regulierung ist darüber hinaus noch weiter zu sehen. Nicht nur von bestehender Breitbandregulierung können entsprechende Investitionsanreize ausgehen, sondern generell auch von künftig zu erwartenden Regulierungsformen (Bertschek et al., 2016a) sowie von angrenzenden Regulierungsbereichen wie dies beim Übergang von asymmetrischen auf symmetrische Regulierungsverpflichtungen der Fall ist (Briglauer et al., 2017). Darüber hinaus ist im Falle gegenwärtiger Regulierungen des Internetdatenverkehrs bzw. im Rahmen regulatorischer Eingriffe in Traffic Managementtechniken (Stichwort „Netzneutralität“, siehe weiterführend Abschnitt 4.2.4) zu vermuten, dass auch diese negative Investitionsanreize ausüben.

*Eine öffentliche Förderung* des Ausbaus der glasfaserbasierten Hochbreitbandnetze ist aufgrund von positiven Externalitäten zu rechtfertigen, etwa in Bezug auf kostensenkende Effekte für andere Wirtschaftssektoren und insbesondere für Wachstumseffekte in ländlichen Regionen, wo ein Ausbau für private Anbieter oftmals nicht profitabel wäre. Dabei spielen verteilungspolitische Aspekte eine Rolle, insbesondere wenn sich eine unerwünschte digitale Kluft („digital divide“ und die damit einhergehende Landflucht) ergeben könnte. Aufgrund unterschiedlicher Ausbaukosten bei den einzelnen FTTx

Ausbautechnologien und angesichts substanzieller Unsicherheiten über künftige Nachfrage und technologische Entwicklungen (Stichwort „second-life copper-/coax technologies“ und 5G Integration im Anschlussnetzbereich) sollten öffentliche Fördermodelle stets technologieneutral und restriktiv in Hinblick auf Fördergebiete ausgestaltet werden (Briglauer et al., 2018b; Briglauer und Vogelsang, 2018; Briglauer et al., 2020a). Neben der Effizienz von Fördermaßnahmen ist jedoch auch auf deren Effektivität hinzuweisen. So zeigt die Erfahrung der vergangenen Jahre im Hinblick auf vorhandene Fördermaßnahmen auf Bundes- und Landesebene, dass hier eine Vereinfachung teils komplizierter, bürokratischer Antragsverfahren auf lokaler Ebene ähnlich wichtig wäre, wie die Bereitstellung von Fördermitteln selbst (Bertschek und Briglauer, 2018).

## 4.2. Traffic Management Maßnahmen und Breitbandgrundversorgung

Während die gegenwärtige Situation eindrücklich die Bedeutung digitaler Infrastrukturen für Bürger und Unternehmen veranschaulicht, hat sie auch in vielerlei Hinsicht zu einem Stresstest geführt – nicht nur für lokale Breitbandinfrastrukturen, sondern für das gesamte Internet-Ökosystem. Wie in den nachfolgenden Abschnitten dargelegt wird, sind die tatsächlichen Investitionsbedarfe für resiliente Internetinfrastrukturen vor dem breiteren Hintergrund des relevanten Internet-Ökosystems zu sehen.

### 4.2.1. Breitband und das Internet-Ökosystem

Breitband stellt einen zentralen Treiber digitaler Transformationsprozesse dar. Diese verändern Wertschöpfungsketten, Wettbewerbsprozesse sowie Markt- und Industriestrukturen. In der zunehmend digitalen Ökonomie werden traditionelle Hierarchien und Kräfteverhältnisse fundamental in Frage gestellt, ebenso spielen Onlineplattformen und Onlinedaten eine zunehmend wichtige Rolle (Haucap, 2020). Die erfolgreiche Partizipation von Bürgern und Unternehmen in der digitalen Ökonomie setzt dabei in wachsendem Maße den Zugang zu leistungsfähigen Breitbandinfrastrukturen voraus.

Während Hochbreitband als zentraler Treiber von Innovation im digitalen Raum und Grundlage für ein sich rasant entwickelndes Internet-Ökosystem betrachtet werden kann, stellt es keine singuläre Technologie dar. Vielmehr umfasst Hochbreitband eine sich wandelnde Vielfalt heterogener Zugangstechnologien (Abschnitt 2). Neben Unterschieden in ihrer – oft historisch bedingten – infrastrukturellen bzw. technologischen Basis und des zu Grunde liegenden Übertragungsmediums (Kupferdoppeladerkabel, Koaxialkabel, Glasfaserkabel, Frequenzen), implizieren Unterschiede in der Topologie und Konfiguration der Zugangsnetze zwischen verschiedenen Haushalten oder Endnutzern unterschiedliche Formen und Grade des „Kapazitätssharings“. So existieren neben Unterschieden in den Leistungsmerkmalen insbesondere Unterschiede in der Anfälligkeit gegenüber Performancebeeinträchtigungen in Spitzenlastperioden. Leistungsmerkmale variieren zwischen verschiedenen Zugangstechnologien sowie zwischen verschiedenen Ausbaustufen von FTTX-Technologien. So unterscheiden sich einerseits die maximalen Datenraten, die bereitgestellt werden können und deren Symmetrie (d.h. das Verhältnis zwischen downstream und upstream), sowie andererseits Parameter, die die Qualität und Stabilität der Datenübertragung beschreiben (z.B. Performanceparameter wie Delay/Latenz, Variationen der Latenz (Jitter) oder packet loss rates) (Stocker und Whalley, 2019).

Moderne Breitbandplattformen ermöglichen die integrierte Bereitstellung einer sich evolutiv wandelnden Vielfalt an (Internet-basierten und nicht-Internet-basierten) Inhalten und Anwendungsdiensten und stellen Plattformen für Innovation dar (Lehr et al., 2019a, 2019b). Internet-basierte Anwendungsdienste bzw. Onlineaktivitäten umfassen bspw. das Surfen im Web, Video Streaming per „Over-the-top“ Plattformen wie Netflix oder Videokonferenzen via Zoom, WebEx oder Skype. Andere Anwendungsdienste, die auch auf der Basis des Internet Protokolls (IP) bereitgestellt werden, aber keine Internetdienste darstellen, sind bspw. von den Internet Service Providers (ISPs) angebotene TV Dienste (IPTV) oder Sprachdienste (Voice over IP) (Lehr et al., 2019b). Verschiedene Anwendungsdienste bzw. Onlineaktivitäten unterscheiden sich wiederum stark in ihren Anforderungsprofilen in Bezug auf (i) Übertragungskapazitäten (Anforderungen an die Datenraten, downstream und upstream) und (ii) Übermittlungsqualitäten (oft beschrieben durch gerade noch tolerierbare „worst case“ Werte der oben genannten Performanceparameter). Ebenso variieren sie stark in ihrer Toleranz gegenüber Beeinträchtigungen oder Schwankungen in Übermittlungsqualitäten.

In der Krise haben sich einige Anwendungsdienste und Onlineaktivitäten als besonders wichtig erwiesen. Neben dem Surfen von Webseiten, etwa um Zugang zu aktuellen Nachrichten zu bekommen oder um online einzukaufen, hat sowohl die Nutzung sozialer Netzwerke (Facebook, Instagram, Twitter etc.) sowie textbasierter Kommunikationsdienste (z.B. E-Mail oder Messaging via WhatsApp) einen Aufschwung erfahren. Im Bereich der Arbeit oder Bildung von daheim, haben diverse Online-Kollaborations- und Cloud Storage-Tools sowie Videokonferenztools wie Microsoft Teams, WebEx oder Zoom stark an Bedeutung gewonnen. Entsprechende Tools können bspw. auch zur Wahrnehmung virtueller Beratungsgespräche im Gesundheitskontext verwendet werden. Einen besonders starken Anstieg hat die Nutzung von „Virtual Private Networks“ (VPNs) erfahren. Mit Hilfe von VPNs können Angestellte über ihren Hausanschluss auf die Firmennetze ihrer Unternehmen zugreifen. Im Unterhaltungsbereich haben insbesondere Video Streaming und Gaming (insbesondere Downloads und Online Gaming) einen Nachfrageschub erfahren (Sandvine, 2020, S. 5; Feldmann et al., 2020; Labovitz, 2020; Leighton, 2020a, 2020b; Heaven, 2020).

Die Anforderungsprofile der genannten Anwendungsdienste und Onlineaktivitäten unterscheiden sich stark, sind jedoch im Allgemeinen nicht vergleichbar mit den extrem hohen und stringenten Anforderungsprofilen innovativer Anwendungsdienste im Bereich der „Virtual und Augmented Reality“ oder des „Taktile Internets“, deren Funktionalität gleichzeitig sehr hohe Übertragungskapazitäten und Übermittlungsqualitäten (insbesondere ultra-low latencies, z.T. im Bereich einer oder einiger weniger Millisekunden) voraussetzt (European Commission, 2016, Figure 15 auf S. 17; Maier et al., 2016; Stocker, 2019). Während die Anforderungen von E-Mail oder textbasierten Kommunikationsdiensten relativ gering und die Anwendungsdienste tolerant gegenüber Beeinträchtigungen oder Schwankungen der Übermittlungsqualitäten sind, können große Datentransfers bspw. im Rahmen von Cloud Storage bandbreitenintensiv sein – sowohl in downstream als auch upstream Richtung. Während das Streaming von Videos in puncto erforderlicher downstream Datenraten von der Auflösung und Kodierung abhängt, verursacht die Abfrage eines bestimmten Inhaltes nur einen Bruchteil des Traffics, der durch den Konsum eines Videos resultiert. Durch sogenanntes „Buffering“ können kurzzeitige Schwankungen in der Übermittlungsqualität und Datenraten toleriert werden. Zudem setzen gängige Streamingplattformen dynamisch adaptive Mechanismen ein, die die aktuelle Auslastungssituation im

Netz erfassen und die Videoqualität und hierdurch die Senderate entsprechend anpassen.<sup>4</sup> Bei bidirektionalen Sprach- oder Videokommunikationsdiensten (z.B. per Zoom, WebEx oder Skype) ist eine äquivalente Bufferingstrategie keine Option. Vielmehr erfordert eine funktionierende Echtzeitkommunikation, dass Delays niedrig und Übermittlungsqualitäten relativ stabil sind. Wichtig ist dabei, dass Datenraten grundsätzlich symmetrisch sind – Abweichungen von dieser Symmetrie ergeben sich u.U. durch eine steigende Anzahl der Gesprächsteilnehmer (BEREC, 2014; European Commission, 2016, Figure 15 auf S. 17; Maier et al., 2016; Stocker und Whalley, 2018).

Stocker und Whalley (2018) analysieren Faktoren, die die Nutzungserfahrung von Breitbandnutzern beeinflussen, und wie diese im Zusammenhang miteinander stehen. Entlang der dort gewonnenen Erkenntnisse kann im gegenwärtigen Kontext eine Vielzahl technischer Faktoren sowie unterschiedlicher Akteure identifiziert werden, die Einfluss auf die Nutzungserfahrung haben können. ISPs bieten Breitbandzugang an („Eyeball ISPs“) und sind für den Datentransport zuständig. Ihre Performance hängt dabei u. a. von der Auslastung, Konfiguration und Topologie der Netze, dem Traffic Management / Traffic Engineering innerhalb der einzelnen ISP Netze sowie Knappheitssituationen an den Zusammenschaltungspunkten entlang des Ende-zu-Ende Pfades ab. Auf Seite der Endnutzer, stellen insbesondere Konfiguration, Dimensionierung, Auslastung und Ausstattung von Heimnetzen wichtige Faktoren dar. Dabei spielt die Anzahl der Nutzer und Endgeräte, die gleichzeitig aktiv sind sowie deren Nutzungsmuster eine entscheidende Rolle für die Auslastung der verfügbaren Kapazitäten (insbesondere in WLAN Umgebungen).<sup>5</sup> Auch die Art (bzw. Angemessenheit) und die Auslastung verwendeter Endgeräte sowie das Nutzungsverhalten können die Nutzungserfahrung beeinflussen. Auf der Seite der Content Provider sind neben Zusammenschaltungsvereinbarungen etwa auch die Verfügbarkeit, Lage, Auslastung, und Skalierbarkeit von Servern, Server Clustern oder Datacenters relevant für die Nutzungserfahrung. Beispiele für Content Provider sind etwa Anbieter von „Over-the-top“ Streaming- oder Kommunikationsdiensten. Aber auch Betreiber von Cloud Netzwerken und „Content Delivery Networks“ (CDNs) können als Content Provider verstanden werden. Prominente Beispiele sind auch „Hypergiants“ wie Google/Alphabet, Amazon, Facebook, Microsoft oder Apple. Hypergiants bieten nicht nur Inhalte oder Anwendungsdienste an, sondern besitzen typischerweise auch verteilte Serverinfrastrukturen (z.B. Datacenter/Clouds bzw. CDNs) und teilweise auch private Backbone Infrastrukturen („Wide Area Networks“). Mit solchen Privatnetzen verbinden sie strategisch wichtige Punkte wie etwa ihre Datacenter. So können auch Teile des Datentransports von diesen Anbietern übernommen werden (Stocker, 2019; Vahdat, 2017; Böttger et al., 2018; Google, 2020).

Wird eine Beeinträchtigung in der Nutzungserfahrung von Endkunden festgestellt, ist die eindeutige Identifikation der Ursache, d.h. des schwächsten Glieds („Performance-Bottleneck“) in der „Zustellungskette“ oft schwierig. Nicht nur sind Zustellungsketten anwendungs-, kontext-, und situationsspezifisch und nicht statisch, sie umfassen zudem meist zwei oder mehrere, teilweise konkurrierende Akteure – neben einem oder mehreren ISPs auch Content Providers. Dies hat Implikationen für Investitionen in Netz-, Zusammenschaltungs- und Serverkapazitäten sowie Traffic

---

<sup>4</sup> So bietet Netflix etwa fünf verschiedene Qualitätsstufen an, für die sie auf ihrer Webseite Datenraten zwischen 0.5 Mbit/s als Mindestwert und 25 Mbit/s für Ultra-HD Qualität empfehlen (Netflix, 2020). Anzumerken ist hier, dass solche dynamisch adaptiven Streamingmechanismen endpunktbasierendes Traffic Management betreiben. Ist Kapazität im Netz verfügbar, wird die höchste Qualität mit der maximalen Senderate geliefert, ändert sich die Situation, wird die Auflösung entsprechend angepasst. Auf diese Weise kann Überlastungsphänomenen in Netzen entgegengewirkt und zu deren Auflösung beigetragen werden. Für einen Überblick über dynamisch adaptive Streamingmethoden siehe Begun & Timmerer (2017) und Kua et al. (2017, S. 1845-1846).

<sup>5</sup> Sundaesan et al. (2016) beschreiben, wie Heimnetze die Nutzungserfahrung von Endnutzern beeinträchtigen können.

Management/Traffic Engineering Strategien in einzelnen Netzen. Maßnahmen zur Auflösung eines „Performance-Bottlenecks“ (z.B. durch Investitionen, um Kapazitäten zu erweitern oder den Einsatz von Traffic Management) sind lokaler Natur und obliegen typischerweise einem einzelnen Akteur. Sie finden selten in koordinierter Weise entlang aller Glieder der Zustellungskette statt. Lokale Maßnahmen haben daher zur Folge, dass ein bestehender „Performance-Bottleneck“ behoben, aber innerhalb der Zustellungskette verschoben wird. Ob unkoordinierte Maßnahmen die erwünschte Wirkung hinsichtlich der Nutzungserfahrung tatsächlich entfalten können, ist von weiteren Faktoren und der Handlung mehrerer Akteure abhängig und ex ante nicht unbedingt eindeutig. Diese Komplexität ergibt sich aus einem ganz wesentlichen Unterschied zum traditionellen Telefonnetz: Während das Internet-Ökosystem sich auf mehreren Ebenen in einem fortwährenden Wandel befindet, stellt das Telefonnetz ein „single-purpose“-Netz dar. Es ist hochstandardisiert, relativ homogen in seiner infrastrukturellen Basis und den involvierten Akteuren und statisch hinsichtlich der Dienstvielfalt (Stocker und Whalley, 2018, 2019).

Im folgenden Abschnitt sollen gängige Maßnahmen zur Verkürzung der oben beschriebenen Zustellungsketten betrachtet werden. Dabei wird insbesondere dargelegt, wie eine Vielzahl topologischer Innovationen das Internet-Ökosystem verändert und zu einer zunehmenden Lokalisierung von Traffic geführt haben. Vereinfacht gesprochen, meint Lokalisierung dabei, dass durch die Bereitstellung von Inhalten, Anwendungsdiensten sowie vernetzten Computingressourcen in der Nähe der Endnutzer, die Distanzen, die Datenpakete zwischen Endpunkten zurücklegen müssen, verkürzt werden. Werden Inhalte und Anwendungsdienste von lokalen Servern bereitgestellt und Daten lokal gespeichert oder verarbeitet, bleiben auch entsprechende Datenflüsse zunehmend lokal.

#### 4.2.2. Maßnahmen zur (optimalen) Verkürzung der Zustellungsketten

Eine Vielzahl topologischer Innovationen, insbesondere im Kontext von CDNs, Cloud Computing und Internet eXchange Points (IXPs), haben die Evolution des Internet-Ökosystems nachhaltig geprägt und zu einer Lokalisierung von Traffic geführt.

Ein CDN ist ein Netzwerk aus Servern, die strategisch (häufig global) über das Internet verteilt sind. So können bspw. statische Inhalte (z.B. Videos) kopiert und auf einer großen Anzahl von Servern, die nahe der relevanten Zielgruppe positioniert sind, verfügbar gemacht werden. Inhalte können so näher an die Endnutzer herangerückt werden. Intelligente Algorithmen sorgen dafür, dass Endnutzern die nachgefragten Inhalte von dem Server bekommen, der zu gegebenem Zeitpunkt am besten für die Bereitstellung geeignet ist (Leighton, 2009; Stocker et al., 2017). Im Rahmen verteilter Cloud Computing Ansätze werden Server, Server Cluster oder Datacenters an strategisch wichtigen Orten bzw. Hubs (z.B. an IXPs) positioniert. Im Kontext von Edge Computing werden Server und somit vernetzte Computingressourcen näher an Endnutzern herangerückt und lokal verfügbar gemacht (Satyanarayanan, 2017).<sup>6</sup>

Durch die Veränderung des Serverstandortes kann die Zustellungskette zwischen Endnutzer und Server – genauer gesagt, die geographische und/oder virtuelle Distanz (d.h. die Anzahl der Zusammenschaltungspunkte oder auch „network hops“) – strategisch verkürzt werden. Die lokale Zustellung von Inhalten oder Anwendungsdiensten bzw. die lokale Datenspeicherung oder -verarbeitung führt zu einer Lokalisierung von Traffic und bietet Möglichkeiten (i) Datenraten zu erhöhen und

---

<sup>6</sup> Für eine ausführliche Übersicht über entsprechende Architekturen siehe Stocker (2020, Kap. 6.4).

Latenzzeiten zu verringern und so die Nutzungserfahrung von Endnutzern anwendungsspezifisch zu optimieren; (ii) die Netz- und Serverauslastungen intelligent zu steuern und Dienste flexibel und skalierbar bereitzustellen; (iii) Koordinationsprobleme zwischen Akteuren zu verringern (Leighton, 2009; Stocker et al., 2017; Pujol et al., 2019). Server werden dabei häufig an strategisch wichtigen Hubs (z.B. an IXPs oder Collocation Hubs, oft unmittelbar an den Grenzen aber außerhalb von ISP Netzen („off-net“)) oder innerhalb von ISP Netzen („on-net“) positioniert. Hieraus ergibt sich, dass nur ein network hop oder gar kein network hop mehr zwischen dem Server und den Endnutzern liegt (Stocker, 2019; Labovitz, 2020). Zahlreiche CDNs wie etwa Google Global Cache (Google, 2020), Akamai (2020) oder Netflix (Böttger et al., 2018; Netflix, 2019; Labovitz, 2020) nutzen längst solche Strategien. Die wachsende Zahl an geografisch verteilten Zusammenschaltungspunkten wie IXPs spielt ebenfalls eine wichtige Rolle. An IXPs kommen oft viele ISPs und Content Provider zusammen, um sich direkt zusammenzuschalten und Traffic in der Nähe relevanter Endkunden auszutauschen (Giotsas et al., 2015; Dietzel, 2019; Nomikos et al., 2018). Diese, sowie Innovationen in Bezug auf neue Formen der Zusammenschaltungsvereinbarungen (z.B. Remote Peering),<sup>7</sup> haben die Zusammenschaltungsvielfalt im Internet stark erhöht und zu einer zunehmend engen Vermaschung des Internets geführt. So ergibt sich auch ein Zusammenrücken im Kontext der virtuellen Distanz und einer Verkürzung der Zustellungsketten.

Abbildung 3 illustriert in schematischer Weise die beschriebenen Szenarien. Man betrachte ein CDN wie etwa jenes, das von Netflix betrieben wird (Böttger et al., 2018; Netflix, 2019). Durch die strategische Verteilung von Servern, die die Inhalte speichern und zustellen, kann die Zustellungskette so verkürzt werden, dass die Nutzungserfahrung optimiert wird. Befindet sich der vom Endnutzer angefragte Inhalt auf einem Off-Net Server (z.B. an einem IXP), so durchläuft der entsprechende Inhalt auf dem Weg zu Haushalt 1 einen Zusammenschaltungspunkt („one-hop“). Sind jedoch On-Net Server innerhalb des Netzes des ISP 1 positioniert und verfügen über den angefragten Inhalt, kann dieser direkt aus dem Netz des ISP 1 an Haushalt 1 geliefert werden. In diesem Falle handelt es sich um einen „zero-hop“ oder „intra-ISP“ Dienst, das öffentliche Internet spielt für die Zustellung der Inhalte vom On-Net Server zu Haushalt 1 dabei keine Rolle mehr. Böttger et al., (2018, Table 1 auf S. 31 und Figure 3 auf S. 32) geben einen detaillierten Überblick über das Netflix CDN, worin sie beschreiben, dass die Anzahl von On-Net und Off-Net Servern in etwa gleich ist und wo diese positioniert sind. Labovitz (2020, S. 16) zeigt, dass vor den Lockdownmaßnahmen ca. 63% des Netflixtraffics von On-Net Servern geliefert und 37% von Off-Net Servern geliefert wurden. Während dies den Trend der Lokalisierung eindeutig unterstreicht, beschreibt Labovitz (2020, S. 17) nicht nur die durch den Lockdown verursachten Anstiege des Netflixtraffics, sondern auch, dass nach den Lockdownmaßnahmen ca. 46% des Netflixtraffics von On-Net Servern geliefert und 54% von Off-Net Servern geliefert wurden. Die entsprechenden Zustellungsketten werden insbesondere im unteren Teil von Abbildung 3 schematisch dargestellt.

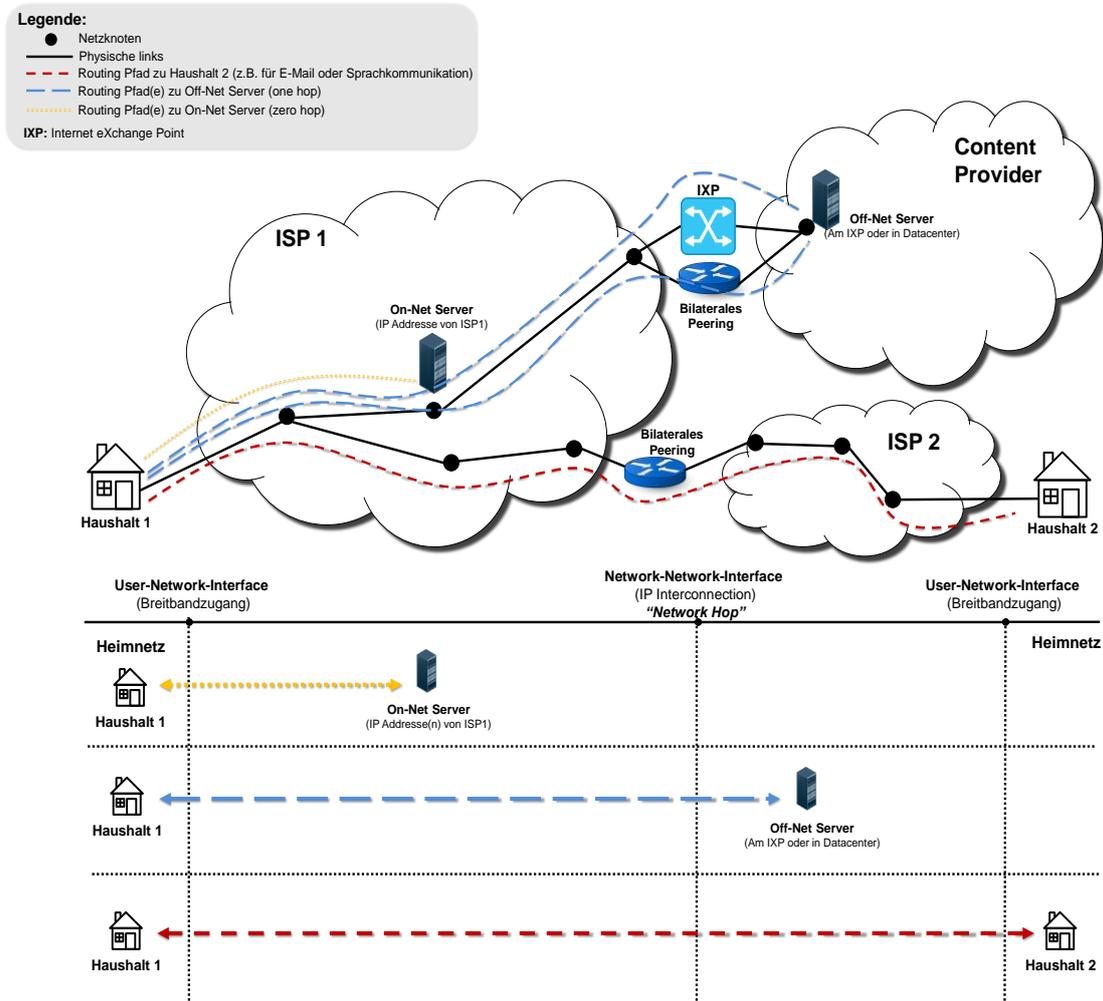
Anders gestaltet sich die Situation im Falle von Mensch-zu-Mensch Kommunikation (z.B. im Falle einer E-Mail, bei Videokonferenzen oder Anrufen). Dort kann eine Verkürzung der Zustellungskette zur Optimierung der Nutzungserfahrung nicht durch die Modifikation des Standortes der kommunizierenden Endpunkte (Haushalte 1 und 2) erreicht werden. Während die virtuelle Distanz durch direkte Zusammenschaltungen verkürzt werden kann, muss der entsprechende Traffic nicht nur zwei ISP Netze

---

<sup>7</sup> Nomikos et al. (2018, S. 265) definieren Remote Peering wie folgt: „Remote Peering (RP) is when a network peers at an IXP without having physical presence in the IXP's infrastructure and/or through a reseller.“ Für ein konkretes Beispiel, siehe DE-CIX (2020).

(ISP 1 und ISP 2) und einen Zusammenschaltungspunkt durchlaufen, es sind zudem auch zwei Heimnetze involviert. Nur wenn sich die beiden Haushalte 1 und 2 im selben ISP Netz befinden, kann die Ende-zu-Ende Kommunikation innerhalb eines einzigen ISP Netzes abgewickelt werden.

Abbildung 3: (Virtuelle) Distanz und One-Hop- bzw. Zero-Hop-Delivery – Eine Schematische Darstellung



Quelle: Darstellung basierend auf Stocker et al. (2020, S. 51) und Stocker (2020, S. 94)

#### 4.2.3. Breitband und das Internet-Ökosystem in Krisenzeiten

Einen kompakten Überblick über die Herausforderungen für verschiedene Akteure in der gegenwärtigen Krise bietet OECD (2020). So sorgte der sprunghafte Anstieg der Onlineaktivität in Kombination mit der Verschiebung des Ortes des Internetzugriffs und veränderter Nutzungsmuster insbesondere in der Frühphase nach Inkrafttreten der Eindämmungsmaßnahmen bei ISPs und Content Providern zumindest vereinzelt für temporäre Überlastungsphänomene und Ausfälle. Diese Vorfälle wiederum schürten Bedenken hinsichtlich der Resilienz des Internet-Ökosystems sowie Befürchtungen über einen bevorstehenden Internet-Kollaps. So kam es unmittelbar nachdem strikte Maßnahmen in Europa in Kraft traten und Millionen von Nutzern begannen, von zu Hause zu arbeiten etwa bei Diensten wie Microsoft Teams oder Zoom, zu temporären Problemen (Fleming, 2020; Valenzuela-Gómez, 2020; ThousandEyes, 2020).

Reaktionen relevanter Akteure ließen nicht lange auf sich warten. Während IXPs – z.T. durch den Einsatz von Automatisierung und Robotern – Upgrades bestehender und die Einrichtung neuer Zusammenschaltungen unterstützten (Feldmann et al., 2020), erlangte eine Maßnahme aus Brüssel besondere Prominenz: EU-Kommissar Thierry Breton wandte sich mit der Bitte an Netflix CEO Reed Hastings, zur Entlastung der europäischen Netze temporär auf die Bereitstellung der maximalen Videoqualität zu verzichten. Netflix kooperierte und andere Content Provider wie Facebook, YouTube und Disney+ zogen rasch nach (Archer, 2020; Heaven, 2020).<sup>8</sup> Insgesamt gingen viele Content Provider innovativ mit den Herausforderungen um und haben es zumeist geschafft, sich flexibel und adaptiv an die neuartige Situation anzupassen. So wurden bspw. Server- und Zusammenschaltungskapazitäten aufgerüstet. Durch Maßnahmen wie die zeitliche Verschiebung von datenintensiven Updates in Schwachlastperioden oder die Verringerung von Downloadgeschwindigkeiten großer Dateien in Spitzenlastzeiten konnten Anstiege in den Lastspitzen abgedämpft und ISP Netze entlastet werden (Heaven, 2020; Bednarz, 2020; Leighton, 2020a; Humphries, 2020). In den USA ergriffen zudem eine Reihe von ISPs Maßnahmen um Partizipation zu ermöglichen bzw. aufrecht zu erhalten (z.B. in dem monatliche Volumenbeschränkungen ausgesetzt oder spezielle Angebote für Low-Income Haushalte gemacht wurden). Auch initiierte der US Regulierer „Federal Communications Commission“ (FCC) im Zuge der Krise u. a. die „Keep Americans Connected“ Initiative, der sich eine große Anzahl an Providern, darunter auch große ISPs, anschlossen (FCC, 2020). Während ISPs in Europa ähnliche Maßnahmen ergriffen, veröffentlichte BEREC (Body of European Regulators for Electronic Communications) im März 2020 ein gemeinsames Statement, das Leitlinien für ISPs zum Umgang mit Corona-bedingten Überlastungssituationen formulierte (BEREC, 2020a). Zudem entschloss man sich (BEREC, 2020b) dazu, in zunächst kurzen Abständen Summary Reports zu veröffentlichen. Diese Reports sollten im Wesentlichen dazu dienen, einen Überblick über die Lage in den einzelnen Ländern zu geben, insbesondere über etwaige Stauprobleme in den Netzen einzelner ISPs und deren Umgang damit (bspw. ob oder wie Kapazitäten erweitert oder Traffic Management Maßnahmen eingesetzt wurden).

Einige Veröffentlichungen haben bereits die Performance und Resilienz des Internet-Ökosystems empirisch untersucht (ThousandEyes, 2020; Ookla, 2020; Internet Health Report, 2020; Sandvine, 2020; Labovitz, 2020; Feldmann et al., 2020; Poinson, 2020; BEREC, 2020b; Brodsky, 2020).<sup>9</sup> Insgesamt ergibt sich hieraus ein recht robustes Bild des Internet-Ökosystems. So kann attestiert werden, dass sich das Internet als resilient erwiesen und den Stresstest bislang ohne große Probleme überstanden hat. Obwohl lokale Probleme auftraten und weiterhin auftreten können, wurden dauerhaft systemische Beeinträchtigungen in der Performance des Internets oder von Anwendungsdiensten nicht identifiziert. Befürchtungen über einen Kollaps des Internets konnten folglich weitgehend zerstreut

---

<sup>8</sup> Dabei ist anzumerken, dass „Over-the-top“ Streaming Plattformen wie etwa Netflix, Amazon Prime oder YouTube ohnedies in Fußnote 4 beschriebene Mechanismen einsetzen, die die Videoqualität und somit die Senderaten unter Berücksichtigung der gegenwärtigen Netzsituation dynamisch anpassen, um ein dynamisch adaptives Traffic Management zu implementieren und Kollapse zu verhindern. Vor diesem Hintergrund befand Internetpionier David Clark die Maßnahme als unnötig. Während er anmerkte, dass das Internet sehr wohl in der Lage sei, die derzeitige Lage erfolgreich zu meistern, stellte er in Bezug auf die Brüsseler Anfrage an Netflix fest: „*That just tells me they don't understand how the Internet works*“ (zitiert nach Castor, 2020).

<sup>9</sup> Sandvine (2020, S. 5) berichtet etwa von einem Anstieg des Internettraffickvolumens von fast 40% zwischen dem 1. Februar und dem 19. April. Leighton (2020b) berichtet von einem globalen Trafficanstieg von 30%. Feldmann et al. (2020, S. 13) berichten von einem Anstieg von 15-20% innerhalb weniger Tage nach dem Inkrafttreten der Lockdownmaßnahmen. Die Autoren merken zudem an, dass ein solches Wachstum üblicherweise innerhalb eines Jahres und nicht innerhalb einiger weniger Tage stattfindet. Anzumerken ist hier, dass verschiedene Reports und Studien typischerweise auf unterschiedliche „Vantage Points“ zurückgreifen. So sind Daten und somit der „Blick“ der jeweiligen Autoren typischerweise auf gewisse Regionen oder Akteure beschränkt (Lachapelle, 2020). Insgesamt ergibt sich aus den verschiedenen Publikationen jedoch ein relativ einheitliches Bild.

werden. Vielmehr weist die Evidenz auf eine Abwesenheit dauerhaft systemischer Beeinträchtigungen hin. Auch scheint die Problemauflösungsfähigkeit innerhalb des Internet-Ökosystems in einem Umfang gegeben, dass hieraus kein Bedarf für staatliche Marktinterventionen abgeleitet werden kann (trotz möglicher, partieller Koordinationsprobleme in der Zustellungskette).

#### 4.2.4. Maßnahmenempfehlungen: Effizientes Traffic Management

Während gegenwärtig weder klar ist, wie sich der weitere Pandemieverlauf entwickeln, noch wie ein neues (post-Corona) Normal in puncto Internetnutzung aussehen wird, ermöglichen digitale Infrastrukturen die Nutzung einer Reihe von essenziellen Anwendungsdiensten, die zur Aufrechterhaltung des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebens und zur Abdämpfung der negativen Auswirkungen der Krise beitragen. Darüber hinaus schaffen sie auch in Krisenzeiten Raum für Innovation und fördern die Adoption von bereits bestehenden Produktinnovationen wie Cloud basierten Anwendungsdiensten oder Video conferencing. Welche Lehren lassen sich für die Bewältigung zukünftiger Krisen ziehen und was sind wesentliche politische Maßnahmenempfehlungen?

Die Krise hat verdeutlicht, dass das Internet in der Lage ist mit starken und unvorhergesehenen Trafficanstiegen und neuen Lastspitzen umzugehen. Die Abwesenheit dauerhaft systemischer Überlastungsphänomene schließt dabei nicht aus, dass lokal temporäre Überlastungssituationen auftreten oder bestehen können. Solche Situationen würden wiederum Maßnahmen des lokalen Kapazitätsausbaus oder den Einsatz von Traffic Management erfordern. Nichtsdestotrotz muss festgestellt werden, dass das Internet auch in Normalzeiten alles andere als statisch ist (Castor, 2020). In Normalzeiten wächst der Internettraffic jährlich um ca. 30% (Leighton, 2020b; Cisco, 2020). Um dem Rechnung zu tragen, müssen Kapazitäten im Internet fortlaufend erweitert werden. Akteure wie etwa ISPs oder Content Provider wie CDNs orientieren sich bei der Dimensionierung ihrer Netz-, Zusammenschaltungs- und Serverkapazitäten an Lastspitzen sowie erwarteten Wachstumsraten des für sie relevanten Traffics. Auch ist die Vorhaltung von Pufferkapazitäten zur Bewältigung bzw. Vermeidung negativer Effekte durch Cyberangriffe oder Ausfälle/Betriebsstörungen nicht unüblich. Entsprechende Upgradestrategien führen zu Kapazitätssituationen, die zur Bewältigung unerwarteter Lastspitzen, wie bspw. in der gegenwärtigen pandemiebedingten Krise, beitragen können (Feldmann et al., 2020; Leighton, 2020b).

In einem Bericht vom 27. August 2020 unterscheidet BEREC (2020c, S. 2) zwischen drei Phasen der Evolution des Internettraffics während der Krise: *„sharp increase, stabilisation and a decrease from the peak.“* Anstiege im täglichen „Gesamttraffic“ sind dabei nicht automatisch gleichzusetzen mit Zuwächsen in den (kurzfristigen) Lastspitzen (Peaks), ebenso nicht mit Überlastungssituationen oder Stauproblemen, die sich negativ auf die Funktionalität von Anwendungsdiensten und die Nutzungserfahrung von Endnutzern niederschlagen. Dies lässt sich anhand eines Beispiels illustrieren. Da im Zuge der „stay-at-home“ Maßnahmen ein signifikanter Teil des Trafficanstiegs tagsüber und werktags entstand – also zu Zeiten in denen breitbandige Hausanschlüsse sonst kaum ausgelastet waren, da die Bewohner bspw. bei der Arbeit, an der Universität, in der Schule oder außer Haus waren – waren dort starke Trafficzuwächse zu beobachten. Diese führen tagsüber zwar zu höheren Auslastungsgraden, typischerweise jedoch nicht zu Anstiegen der Lastspitzen; letztere liegen üblicherweise abends nach Feierabend (Abendunterhaltung per Netflix etc.) und am Wochenende (Sandvine, 2020; Feldmann et al., 2020). SamKnows (2020) fasst dies wie folgt zusammen: *„ISPs design and build their networks to cater for the busiest periods, which have traditionally been the evening*

*hours. This means that their networks have been much more idle during the daylight hours, and are therefore able to absorb the additional usage that's a result of all of the new home workers."* Zudem existieren Strategien zur Bewältigung von mehr Traffic, um gleichzeitig einen Anstieg der Lastspitzen zu vermeiden. So kann etwa die Zustellung statischer Inhalte (Downloads großer Dateien oder Updates etc.) strategisch in eine solche Periode verschoben werden, in denen die Auslastungsgrade gering sind. Sind tatsächlich Anstiege in den Lastspitzen zu beobachten, schlagen sich diese gegeben der kurzfristig fixen Netzkapazitäten in höheren Auslastungsgraden nieder. Ob bzw. wie sich diese in Überlastungssituationen und Beeinträchtigungen in der Funktionalität von Anwendungsdiensten manifestieren, hängt jedoch maßgeblich vom Auslastungsgrad ab und muss kontext- bzw. situationsspezifisch betrachtet werden.

Abgesehen von der Analyse der Lastspitzen, spielt der Anwendungsmix für die Dimensionierung und das Management von Netzen eine wichtige Rolle. Die in der Krise relevanten Anwendungsdienste und Onlineaktivitäten heben zum einen die Wichtigkeit von upstream Traffic und entsprechender Datenraten hervor (OpenVault, 2020a, 2020b). Zum anderen betonen sie die Wichtigkeit stabiler und relativ hoher Übermittlungsqualitäten. Wichtig ist hier, dass die oben beschriebenen topologischen Innovationen die geographische und/oder virtuelle Distanz zwischen kommunizierenden Endpunkten bei human-to-human Kommunikationsmodellen nur eingeschränkt reduzieren können; während statische Inhalte wie Videos von Streamingdiensten kopiert und strategisch auf einer Vielzahl von Servern in der Nähe der Endnutzer verfügbar gemacht werden können, ist dies mit Personen nicht möglich. Die Anforderungsprofile entsprechender Anwendungsdienste und die Nutzungsintensität in Krisenzeiten (potenziell mehrere Nutzer pro Haushalt mit mehreren Endgeräten gleichzeitig) haben auch Implikationen für die Kapazitätsplanung, insbesondere hinsichtlich Symmetrie der Bandbreiten sowie den Bedarf nach Traffic Management, um die Anforderung nach stabil hohen Übermittlungsqualitäten im öffentlichen Internet erfüllen zu können. Die Beurteilung, ob bzw. wie Kapazitäten erweitert werden müssen oder welche Formen des Traffic Managements notwendig werden, setzt differenzierte Analysen seitens der entsprechenden Provider voraus.

In Anbetracht potenzieller Engpässe in Internetzugangnetzen, hat BEREC (2020a) früh kommuniziert, dass der Einsatz von Traffic Management für ISPs zur Bewältigung außergewöhnlicher und vorübergehender Stausituationen im Internet in der Krise zugelassen sei. Voraussetzung ist die Konformität mit den Netzneutralitätsgrundsätzen, die regulatorisch in der Verordnung (EU) 2015/2120 verankert sind. BEREC (2020a) verweist dabei insbesondere auf Erwägungsgrund 15 der Verordnung (EU) 2015/2120. So müssen die Maßnahmen etwa zeitlich beschränkt, sachlich bzw. objektiv begründet, und verhältnismäßig sein. Zudem sind entsprechende Vorhaben und Maßnahmen den nationalen Regulierungsbehörden rechtzeitig und transparent mitzuteilen; entsprechende Maßnahmen werden dann im Rahmen der regelmäßigen Reports (BEREC, 2020b) kommuniziert. Generell können hier weitere deregulatorische Maßnahmen im Bereich der Netzneutralitätsregulierung sowie des Traffic Managements nicht nur zu höheren Investitionen in Breitbandkapazitäten, sondern auch zu effizienterer Kapazitätsauslastung führen. Der Einsatz diverser Mechanismen zur (nicht-diskriminierenden) Differenzierung zwischen verschiedenen Anwendungsklassen wird erforderlich, um ISPs die Flexibilität zu gewährleisten, die sie benötigen, um in effizienter Weise dynamisch auf sich schnell ändernde Nachfrageintensitäten und -muster oder netzseitige Ausfälle zu reagieren sowie die differenzierten Anforderungen verschiedener Anwendungsdienste erfüllen zu können. Die auf europäischer Regulierungsebene (Europäische Kommission, BEREC) zwischenzeitlich gewonnene Einsicht über die

Relevanz von dezentralen Traffic Management Maßnahmen im Internet – auch zur Auflösung kurzzeitiger und lokaler Überlastungssituationen – ist insgesamt als positiv zu bewerten, gerade angesichts der pandemiebedingten, unvorhersehbaren Anstiege und strukturellen Änderungen im Internettraffic. Die darüber hinaus gehenden strukturellen Probleme der europäischen Netzneutralitätsregulierung werden hierdurch jedoch nicht aufgelöst. Eine kritische Diskussion der europäischen Netzneutralitätsregulierung und eine Darlegung der Vorteilhaftigkeit anreizkompatibler und ökonomisch effizienter Preis- und Qualitätsdifferenzierungsstrategien basierend auf flexiblem und dynamisch adaptivem Traffic Management liegt jenseits des Rahmens dieses Beitrags.<sup>10</sup>

#### 4.2.5. Maßnahmenempfehlungen: Breitbandgrundversorgung und Partizipation

Wenngleich das Internet seine großen Potenziale, gesellschaftliche wie auch wirtschaftliche Schäden in der gegenwärtigen Krise abzdämpfen, unter Beweis gestellt hat, verbleiben grundsätzliche Fragen hinsichtlich der effektiven Partizipation auf Nachfrageseite. Während aus der Infrastrukturperspektive die angebotsseitige Schließung der digitalen Kluft zwischen mit Hochbreitband versorgten und unterversorgten Gebieten immer mehr an politischer Bedeutung gewinnt (Bertschek und Briglauer, 2018), stellt sich nach wie vor die Frage, wie diese Partizipationskluff auf Nachfrageseite überwunden werden kann. Hürden für die Partizipation liegen bspw. begründet in der mangelnden Erschwinglichkeit von Hochbreitband, fehlender Verfügbarkeit oder Zugang zu adäquaten Endgeräten sowie unzureichender Nutzungskompetenz („e-literacy“) (Belson, 2020a, 2020b; Heaven, 2020; Vogels et al., 2020; UNICEF, 2020; FCC, 2020; Taglang, 2020). Insbesondere bei hochbreitbandbasierten Diensten hinkt die Adoption auf Nachfrageseite ganz wesentlich der Verfügbarkeit auf Angebotsseite hinterher, in der Folge resultiert bei manchen kritischen Diensten auch eine entsprechende Partizipationskluff.

Während jeder einzelne dieser Aspekte eine wichtige Rolle für Partizipation spielt, liegt der Fokus hier auf der Grundversorgung der Bevölkerung und der Unternehmen innerhalb der EU mit einer angemessenen Breitbandinfrastruktur – insbesondere auf der Frage nach der Spezifizierung eines entsprechenden Universaldienstziels. Im Kontext traditioneller Sprachtelefonie, wo der Zugang zum Telefonnetz und der Zugang zu entsprechenden Diensten quasi gleichbedeutend war, verhält sich dies im Kontext von (Hoch-)Breitband grundsätzlich anders. Wie Stocker und Whalley (2018; 2019) und Briglauer et al. (2020a) beschreiben, befindet sich das Spektrum an Inhalten und Anwendungsdiensten, die über Breitbandplattformen bereitgestellt werden können, in einem ständigen Wandel – auch deren Anforderungsprofile verändern sich fortwährend (z.B. werden die angebotenen Videoauflösungen über die Zeit höher). Ebenfalls im Wandel befinden sich Breitbandzugangstechnologien. Da zudem vertikale Interaktionen zwischen Diensten und Infrastrukturen im Sinne von wechselseitigen Innovations-Spill-overs bestehen können (Bauer und Knieps, 2018), ist sowohl die Bestimmung der Teilmenge gesellschaftlich wünschenswerter Dienste als auch die Bestimmung der hierfür notwendigen infrastrukturellen Basis und der damit verbundenen Kosten nicht trivial; im europäischen Regulierungsrahmen wurden diese Fragen normativ im Rahmen der sogenannten Universaldienstverpflichtungen geregelt.

---

<sup>10</sup> Siehe hierzu Knieps und Stocker (2015, 2016), Stocker und Knieps (2019) sowie die einzelnen Beiträge der Spezialausgabe von *Review of Network Economics* 17(3), verfügbar: <https://www.degruyter.com/view/journals/rne/17/3/rne.17.issue-3.xml>. Zudem sei hier auch auf den Beitrag in der *EcoAustria Policy Note* Nr. 38 (Briglauer et al., 2019) hingewiesen.

Die Richtlinie (EU) 2018/1972 (EU, 2018) verankert durch Artikel 3 Absatz 2 nicht nur das Ziel der Förderung hochbitratiger Konnektivität für alle Bürger und Unternehmen der EU, sondern führt in Artikel 84 auch Breitband als Universaldienst ein – genauer genommen die Bereitstellung erschwinglicher und angemessener Breitbandinternetzugangsdienste innerhalb der EU. In Erwägungsgrund 24 wird spezifiziert – in Übereinstimmung mit der Gigabitstrategie (European Commission, 2016) –, dass alle Haushalte Zugang zu Konnektivität mit mindestens 100 Mbit/s downstream erhalten sollen. Neben diesen Ausbauzielen leitet sich die Definition des Universaldienstziels – also was unter einem „angemessen“ Breitbandinternetzugangsdienst zu verstehen ist –, aus einem in Anhang V der Richtlinie (EU) 2018/1972 spezifizierten Korb gesellschaftlich wünschenswerter Anwendungsdienste bzw. Onlineaktivitäten ab. Das dort beschriebene „Mindestangebot an Diensten“, die ein angemessener Breitbandinternetzugangsdienst gemäß Artikel 84 Absatz 3 unterstützen können muss, umfasst konkret folgende Dienste:

*„(1) E-Mail; (2) Suchmaschinen, die das Suchen und Auffinden aller Arten von Informationen ermöglichen; (3) grundlegende Online-Werkzeuge für die Aus- und Weiterbildung; (4) Online-Zeitungen oder Online-Nachrichten; (5) Online-Einkauf oder Online-Bestellung von Waren und Dienstleistungen; (6) Arbeitssuche und Werkzeuge für die Arbeitssuche; (7) berufliche Vernetzung; (8) Online-Banking; (9) Nutzung elektronischer Behördendienste; (10) soziale Medien und Sofornachrichtenübermittlung; (11) Anrufe und Videoanrufe (Standardqualität).“*

Bemerkenswert ist, dass die Definition des Universaldienstziels mittels eines Dienstekorbs auf einem funktionalen Ansatz und nicht auf statisch definierten Zielgrößen technischer Parameter beruht (Erwägungsgrund 15). Angemessene Breitbandinternetzugangsdienste müssen Mindestanforderungen hinsichtlich Datenraten (auch Symmetrie wird berücksichtigt) sowie Übermittlungsqualitäten erfüllen. Diese werden abgeleitet aus den Anforderungsprofilen der im Dienstekorb inkludierten Dienste. Ausbauziele für Hochbreitband sowie die Notwendigkeit für den Einsatz von Traffic Management leiten sich wiederum aus den Leistungsmerkmalen angemessener Breitbandinternetzugangsdienste ab.

Während einige der in der Krise besonders relevanten Dienste bzw. Onlineaktivitäten im Dienstekorb inkludiert sind, sieht die Richtlinie Spielraum für Aktualisierungen des Dienstekorbs. So hält etwa Erwägungsgrund 215 der Richtlinie fest, dass angemessene Breitbandinternetzugangsdienste *„die von der Mehrheit der Endnutzer verwendeten Dienste widerspiegeln“* sollen. Vor diesem Hintergrund sollte die gegenwärtige Situation als Referenzpunkt für eine Neubewertung von Breitband zur Sicherung der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Partizipation in Krisenzeiten dienen. Sie bietet wertvolle Daten und neuartige Einsichten, die genutzt werden sollten, um Breitbandinfrastrukturen sowie Strategien zur Sicherung einer angemessenen Grundversorgung zukunftsgerichtet und der ökonomischen Resilienz zuträglich aufzustellen. Neben der Identifikation relevanter Dienste und Onlineaktivitäten, erfordert die effiziente Umsetzung die Berücksichtigung der entsprechenden Anforderungsprofile (z.B. hinsichtlich der Symmetrie von Datenraten und der Übermittlungsqualitäten).

## 5. Zusammenfassung und Fazit

Die in nationalen und EU weiten Breitbandzielen zum Ausdruck gebrachte hohe gesamtwirtschaftliche Bedeutung von digitalen Infrastrukturen und Diensten gelten im Allgemeinen, d.h. sowohl in wirtschaftlichen Normal- als auch Krisenzeiten. In der gegenwärtigen pandemiebedingten Krise wurde die wirtschaftliche und gesellschaftliche Rolle von modernen und leistungsfähigen Internetinfrastrukturen und darauf basierenden Diensten besonders deutlich, etwa im Bereich der Ausbildung („e-learning“ und „e-teaching“), des Gesundheits- oder Verwaltungswesens („e-health“ und „e-government“), des wirtschaftlichen Handelns („e-commerce“) sowie mit Formen der mobilen und eigenverantwortlichen Arbeitszeitgestaltung ( wie etwa bei der „Telearbeit“).<sup>11</sup> Mit solchen Diensten konnten wesentliche Wirtschafts- und Lebensbereiche auch während der Phase der Lockdownmaßnahmen im Frühjahr 2020 aufrecht erhalten werden. Mit dieser gesamtwirtschaftlich bedeutenden Resilienzwirkung in Form einer substanziellen Abfederung des Rückgangs der wirtschaftlichen Gesamtleistung sowie einer in weiterer Folge schnelleren Konjunkturerholung geht eine potenziell besonders hohe positive Auswirkung von digitalen Infrastrukturen und Diensten einher.

In einem ersten Analyseschritt wurden in dieser Policy Note die relevanten Forschungsergebnisse für Basisbreitband und schnelles Internet (Hochbreitband) zusammengestellt. Insgesamt deuten die Ergebnisse sowohl zu der Auswirkung von Basisbreitband als auch für Hochbreitband darauf hin, dass die Förderung des Breitbandausbaus eine wirksame Maßnahme zur Erzielung von gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrtsgewinnen darstellt. So zeigt die empirische Forschung, dass Hochbreitbandnetze und darauf basierende Dienste als Schlüsseltechnologie gesehen werden können, die in einer Volkswirtschaft großes Potenzial für Innovation, Produktivität, Beschäftigung, Unternehmensgründung und somit für das Wirtschaftswachstum allgemein entfaltet. Die positiven Auswirkungen der Verfügbarkeit und Adoption von Hochbreitbandnetzen und -diensten werden durch ein höheres Bildungsniveau und eine hohe IKT-Affinität auf Nutzerseite noch verstärkt. In Hinblick auf die Unterscheidung von städtischen und ländlichen Gebieten zeigt sich, dass letztere im besonderen Maße von den positiven Auswirkungen von Hochbreitband profitieren. In diesem Sinne sind auch die in den Breitbandzielen formulierten Vollversorgungsziele für alle Haushalte und Unternehmen nicht nur aus verteilungspolitischen Gründen (Verringerung einer „digitalen Kluft“) positiv zu bewerten, sondern auch aus ökonomischen Effizienzüberlegungen zu rechtfertigen.

Auf Basis der infrastrukturellen Verfügbarkeit führt die nachfrageseitige Adoption von Breitbandanschlüssen vor allem durch die entsprechende Nutzung einer Vielzahl von Breitbanddiensten zu erheblichen Gewinnen für Verbraucher in volkswirtschaftlicher Gesamtbetrachtung (sogenannte „Konsumentenrente“). Es ist zu erwarten, dass sich diese Bedeutung von digitalen Diensten aufgrund des im IKT-Bereich enormen technologischen Fortschritts mit zahlreichen Produktinnovationen in wahrscheinlich noch viel stärkerer Form auch für neue hochbreitbandbasierte Dienste übertragen wird.

Die erfolgreiche Partizipation von Bürgern und Unternehmen in der digitalen Ökonomie setzt aber in wachsendem Maße den Zugang zu Hochbreitbandinfrastrukturen voraus. Die Rolle von Breitbandzielen und damit einhergehenden staatlichen Fördermodellen im Sinne einer Vollversorgung der Bevölkerung mit Hochbreitbandanschlüssen lässt sich angesichts der empirisch nachgewiesenen und zu

---

<sup>11</sup> Für einen Überblick zu den ökonomischen Effekten und der Bedeutung der Telearbeit aktuell und nach der COVID-19 Pandemie sei hier auf die unlängst veröffentlichte EcoAustria Policy Note Nr. 41 (Schwarzbauer und Wolf, 2020) hingewiesen.

vermutenden weiteren Externalitäten (Konsumentenrente, Resilienzwirkung, technologischer Fortschritt) gut rechtfertigen. Öffentliche Förderprogramme sind jedoch effizient und effektiv auszugestalten (Briglauer et al., 2018b). Es ist unbestritten, dass die wirtschaftliche und gesellschaftliche Teilhabe in Krisenzeiten eine adäquate Breitbandgrundversorgung benötigt, damit krisenrelevante Dienste für möglichst alle Bevölkerungsteile zugänglich sind. In diesem Sinne hat die Krise verdeutlicht, dass Breitbandzugang notwendig aber nicht hinreichend für die Resilienz des Internet-Ökosystems ist. In diesem Zusammenhang ist auch das Instrument des Universaldienstes krisenfest auszugestalten, sodass eine flächendeckende Grundversorgung mit Breitbandinfrastrukturen eine weite gesellschaftliche Partizipation bei relevanten Diensten in wirtschaftlichen Normal- und Krisenzeiten sicherstellen kann.

Obwohl es in der Vergangenheit substanzielle öffentliche Fördermaßnahmen für den Hochbreitbandausbau gegeben hat, um für private Investoren nicht profitable, vor allem ländliche Regionen, mit Hochbreitband zu versorgen, besteht nach wie vor eine Kluft in Hinblick auf die tatsächliche Nutzung von Breitbanddiensten auf Nachfrageseite. Auch hier müssten konkrete Maßnahmen ansetzen, um die effektive Partizipation in breiten Teilen der Bevölkerung zu erhöhen, damit essenzielle digitale Dienste künftig auch genutzt werden bzw. genutzt werden können. Hierzu müssten vom Gesetzgeber entsprechende bildungspolitische Fördermaßnahmen zur Erhöhung der IKT-Affinität ("e-literacy") gesetzt werden.

In einem zweiten Analyseschritt wurden Politikmaßnahmen zur Förderung der Resilienz von digitalen Infrastrukturen sowie zu den hierfür notwendigen infrastrukturellen Anforderungen speziell in wirtschaftlichen Krisenzeiten mit gesteigerter Kapazitätsnachfrage beschrieben. Neben ordnungspolitischen Maßnahmen spielen hier vor allem Aspekte eines intelligenten Traffic Managements eine zentrale Rolle, um die Bereitstellung gesamtwirtschaftlich relevanter Dienste auch in krisenbedingten Spitzenlastzeiten zu gewährleisten. Intelligentes, d.h. flexibles und dynamisch adaptives, Traffic Management stellt einen zentralen Baustein dar, um Breitbandkapazitäten effizient zu nutzen und Infrastrukturen resilient zu machen, insbesondere gegenüber unvorhergesehenen Anstiegen in der Nutzung von Internetdiensten und geändertem Nutzungsverhalten. Dies hat vielfältige Implikationen für Investitionen hinsichtlich Netz-, Zusammenschaltungs- und Serverkapazitäten sowie Traffic Management/Traffic Engineering Strategien.

Von lokalen Performanceproblemen abgesehen, weist die gesammelte Evidenz auf keinerlei dauerhafte systemische Beeinträchtigung der Performance des Internets hin. So scheint die Problemlösungsfähigkeit innerhalb des dezentral organisierten Internet-Ökosystems in einem Umfang gegeben, dass hieraus kein Bedarf für staatliche Marktinterventionen abgeleitet werden kann. Die Relevanz von (dezentralen) Traffic Management Maßnahmen seitens der Marktakteure des Internet-Ökosystems – gerade auch zur Auflösung kurzzeitiger und lokaler Überlastungssituationen – wurde angesichts der pandemiebedingten, unvorhersehbaren Anstiege und strukturellen Änderungen im Internettraffic sichtbar. In diesem Zusammenhang sind entsprechende unternehmerische Freiheitsgrade durch weniger restriktive Maßnahmen im Bereich der Regulierung des Internet Traffic Managements (Stichwort Netzneutralitätsregulierung) wichtig, um bei kurzfristig nicht veränderbaren Infrastrukturkapazitäten etwaige Qualitätsbeeinträchtigungen in der Nutzung von Internetdiensten auch in Krisenzeiten bestmöglich verhindern zu können. In Bezug auf die Gesetzgebung und die faktische Umsetzung sind hier sowohl nationale Regulierungsbehörden als auch die Europäischen Union als zuständige Institutionen aufgerufen, für entsprechende Marktbedingungen zu sorgen.

## 6. Literaturverzeichnis

- Abrardi, L., & Cambini, C. (2019), Ultra-Fast Broadband Investment and Adoption: A Survey, *Telecommunications Policy* 43(3), 183-198.
- Akamai (2020), Facts & Figures, verfügbar: <https://www.akamai.com/uk/en/about/facts-figures.jsp>.
- Akerman, A., Gaarder, I. & Mogstad, M. (2015), The Skill Complementarity of Broadband Internet, *Quarterly Journal of Economics* 30, 1781-1824.
- Archer, J. (2020), Netflix Starts To Lift Its Coronavirus Streaming Restrictions, Forbes.com, 12. Mai, verfügbar: <https://www.forbes.com/sites/johnarcher/2020/05/12/netflix-starts-to-lift-its-coronavirus-streaming-restrictions/#3086e2084738>.
- Atasoy, H. (2013), The effects of broadband internet expansion on labor market outcomes, *ILR Review* 66(2), 315-345.
- Bai, Y. (2017), The Faster, the Better? The Impact of Internet Speed on Employment, *Information Economics and Policy* 40, 21-25.
- Balsmeier, B. & Woerter, M. (2019), Is this time different? How digitalization influences job creation and destruction, *Research Policy* 48(8), 103765.
- Bauer, J.M. & Knieps G. (2018), Complementary Innovation and Network Neutrality, *Telecommunications Policy* 42(2), 172-183.
- Bednarz, A. (2020), Providers address capacity, supply-chain challenges brought on by COVID-19, Network World, 30. März, verfügbar: <https://www.networkworld.com/article/3534715/providers-address-capacity-supply-chain-challenges-brought-on-by-covid-19.html>.
- Begen, A.C. & Timmerer, C. (2017), Adaptive Streaming of Traditional and Omnidirectional Media, ACM SIGCOMM Tutorial, 21-25 August, Los Angeles, CA, verfügbar: <http://conferences.sigcomm.org/sigcomm/2017/files/tutorial-adaptive-streaming.pdf>.
- Belson, D. (2020a), The Internet is resilient enough to withstand coronavirus – but there's a catch, Internet Society, Measuring the Internet, 13. Mai, verfügbar: <https://www.internetsociety.org/blog/2020/05/the-internet-is-resilient-enough-to-withstand-coronavirus-but-theres-a-catch/>.
- Belson, D. (2020b), What Does Normal Look Like Now? COVID's Impact on the Internet, Internet Society, Measuring the Internet, 25. September, verfügbar: <https://www.internetsociety.org/blog/2020/09/what-does-normal-look-like-now-covids-impact-on-the-internet/>.
- BEREC (2014), Monitoring Quality of Internet Access Services in the Context of Net Neutrality: Update after Public Consultation, Report, BoR (14) 117.
- BEREC (2020a), Joint Statement from the Commission and the Body of European Regulators for Electronic Communications (BEREC) on coping with the increased demand for network connectivity due to the Covid-19 pandemic, BoR (20) 66.
- BEREC (2020b), Reports on the status of internet capacity during coronavirus confinement measures, verfügbar: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/reports-status-internet-capacity-during-coronavirus-confinement-measures>.
- BEREC (2020c), BEREC Summary Report on the status of internet capacity, regulatory and other measures in light of the Covid-19 crisis, BoR (20) 146, 27. August, verfügbar: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/reports-status-internet-capacity-during-coronavirus-confinement-measures>.
- Bertschek, I. & Briglauer, W. (2018), Wie die Digitale Transformation der Wirtschaft gelingt, ZEW policy brief Nr. 18-05, Mannheim.
- Bertschek, I., Briglauer, W., Hüschelrath, K., Krämer, J., Frübing, S., Kesler, R., & Saam, M. (2016a), Metastudie zum Fachdialog Ordnungsrahmen für die Digitale Wirtschaft, Studie im Auftrag des BMWi, Bonn/Berlin. verfügbar: [http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Metastudie\\_-\\_DigitaleWirtschaft\\_2016.pdf](http://ftp.zew.de/pub/zew-docs/gutachten/Metastudie_-_DigitaleWirtschaft_2016.pdf).
- Bertschek, I., Briglauer, W., Hüschelrath, K., Kauf, B. & Niebel, T. (2016b), The Economic Impacts of Broadband Internet: A Survey, *Review of Network Economics* 14(4), 201-227.
- Böttger, T., Cuadrado, F., Tyson G., Castro I. & Uhlig S. (2018), Open Connect Everywhere: A Glimpse at the Internet Ecosystem through the Lense of the Netflix CDN, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 48(1), 28-34.

- Bresnahan, T. & Trajtenberg, M. (1995), General Purpose Technologies 'Engines of Growth?', *Journal of Econometrics* 65, 83-108.
- Briglauer, W. (2015), How EU sector-specific regulations and competition affect migration from old to new communications infrastructure: recent evidence from EU27 member states, *Journal of Regulatory Economics* 48(2), 194-217.
- Briglauer, W., Cambini, C., Fetzer, T., & Hüscherlath, K. (2017), The European Electronic Communications Code: A critical appraisal with a focus on incentivizing investment in next generation broadband networks. *Telecommunications Policy* 41(10), 948-961.
- Briglauer, W., Cambini C. & Grajek, M. (2018a), Speeding Up the Internet: regulation and Investment in the European Fiber Optic Infrastructure, *International Journal of Industrial Organization* 61, 613 - 652.
- Briglauer, W., Schwarzbauer, W. & Thomas, T. (2018b), Breitbandziele effizient erreichen! EcoAustria Policy Note Nr. 27, verfügbar: <http://ecoaustria.ac.at/digitale-rahmenbedingungen-werden-zum-lackmустest/>.
- Briglauer, W. & Vogelsang, I. (2018), Fördermodelle und Aspekte einer optimalen Migration zur Gigabitinfrastruktur - Breitbandziele, Fördermaßnahmen und Technologieneutralität, ifo Schnelldienst 7, 9-12.
- Briglauer, W., Stocher, V. & Stockhammer, P. (2019), Ist Netzneutralität tatsächlich gut? Eine Neubewertung vor dem Hintergrund der Regulierung in den USA und in der EU sowie aktueller Forschungsergebnisse, EcoAustria Policy Note Nr. 38, verfügbar: <http://ecoaustria.ac.at/wp-content/uploads/2019/12/EcoAustria-2019-PN38-Netzneutralit%C3%A4t.pdf>.
- Briglauer, W. & Gugler, K. (2019), Go for Gigabit? First Evidence on Economic Benefits of High-Speed Broadband Technologies in Europe, *Journal of Common Market Studies* 57(5), 1071-1090.
- Briglauer, W., Stocker, V. & Whalley, J. (2020a), Public Policy for High-Speed Broadband in the EU: The Role of Technological Neutrality, *Telecommunications Policy* 44: Article 101908.
- Briglauer, W., Dürr, N. & Gugler, K. (2020b), A Retrospective Study on the Regional Benefits and Spillover Effects of High-Speed Broadband Networks: Evidence from German Counties, working paper WU Wien, forthcoming.
- Brodsky, P. (2020), Internet Traffic and Capacity in Covid-Adjusted Terms, *Telegeography Blog*, 27. August, verfügbar: <https://blog.telegeography.com/internet-traffic-and-capacity-in-covid-adjusted-terms>.
- Castor, A. (2020), A Netflix-induced Internet 'strain' in Europe? Nonsense, says MIT expert, *Decrypt.co*, 20. März, verfügbar: <https://decrypt.co/22966/a-netflix-induced-internet-strain-in-europe-nonsense-says-mit-expert>.
- Cisco (2020), Cisco Annual Internet Report (2018–2023), White Paper, 9 March, verfügbar: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html>.
- Czernich, N. (2014), Does broadband internet reduce the unemployment rate? Evidence for Germany, *Information Economics and Policy* 29, 32-45.
- Czernich, N., Falck, O., Kretschmer, T. & Woessmann, L. (2011), Broadband Infrastructure and Economic Growth, *Economic Journal* 121, 505-532.
- DE-CIX (2020), GlobePEER Remote, verfügbar: <https://www.de-cix.net/en/de-cix-service-world/globepeer-remote>.
- Dietzel, C. (2019), Improving Security and Resilience Capabilities of the Internet Infrastructure, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Dutz, M. A., Orszag, J. M. & Willig, R. D. (2012), The lift-off of consumer benefits from the broadband revolution, *Review of Network Economics* 11(4).
- EU (2018), Richtlinie (EU) 2018/1972 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union, L 321, 36-214, 17 Dezember, Brüssel.
- European Commission (2010), A Digital Agenda for Europe, Brussels, verfügbar: <https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resourcen/fp/2010-com-digital-agenda.pdf>.
- European Commission (2016), Connectivity for a Competitive Digital Single Market – Towards a European Gigabit Society, COM(2016)587 final, Brussels.
- Fabling, R. & Grimes, A. (2016), Picking up speed: Does ultrafast broadband increase firm productivity?, Motu working paper 16-22.

- FCC (2020), Coronavirus, verfügbar: <https://www.fcc.gov/coronavirus>.
- Feldmann, A., Gasser, O., Lichtblau, F., Pujol, E., Poese, I., Dietzel, C., Wagner, D., Wichtlhuber, M., Tapidor, J., Vallina-Rodriguez, N., Hohlfeld, O. & Smaragdakis, G. (2020), The Lockdown Effect: Implications of the COVID-19 Pandemic on Internet Traffic, ACM Internet Measurement Conference (IMC '20).
- Firgo, M., Mayerhofer, P., Peneder, M., Piribauer, P. & Reschenhofer, P. (2018), Beschäftigungseffekte der Digitalisierung in den Bundesländern sowie in Stadt und Land, WIFO Studies.
- Fleming, S. (2020), Will the coronavirus break the internet?, World Economic Forum, 23. März, verfügbar: <https://www.weforum.org/agenda/2020/03/will-coronavirus-break-the-internet/>.
- Forman, C., A. Goldfarb & S. Greenstein (2012), The Internet and Local Wages: A Puzzle, *American Economic Review* 102, 556-575.
- FTTH Council Europe (2018), FTTH Handbook, Edition 8, D&O Committee, revision date: 13 February 2018, verfügbar: <http://www.ftthcouncil.eu>.
- Gal, P., Nicoletti, G., Renault, T., Sorbe, S. & Timiliotis, C. (2019), Digitalisation and productivity: In search of the holy grail – Firm-level empirical evidence from EU countries.
- Gallardo, R., Whitacre, B., Kumar, I. & Upendram, S. (2020), Broadband metrics and job productivity: a look at county-level data, *The Annals of Regional Science*, 1-24.
- Giotsas, V., Smaragdakis, G., Huffaker, B., Luckie, M. & Claffy, kc (2015), Mapping Peering Interconnections to a Facility, Proceedings of the 11th ACM Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies (CoNEXT '15), 1.-4. Dezember, Heidelberg, Germany, Article 37, verfügbar: <https://doi.org/10.1145/2716281.2836122>.
- Google (2020), Our Infrastructure, verfügbar: <https://peering.google.com/#/infrastructure>.
- Greenstein, S. & McDevitt, R. (2011), The Broadband Bonus: Estimating Broadband Internet's Economic Value, *Telecommunications Policy* 35, 617-632.
- Grimes, A. & Townsend, W. (2018), Effects of (ultra-fast) fibre broadband on student achievement, *Information Economics and Policy* 44, 8-15.
- Hasbi, M. (2020), Impact of very high-speed broadband on company creation and entrepreneurship: Empirical Evidence, *Telecommunications Policy* 44(3), Article 101873.
- Haucap, J. (2020), Plattformökonomie: neue Wettbewerbsregeln – Renaissance der Missbrauchsaufsicht. *Wirtschaftsdienst* 100, 20-29.
- Heaven, W.D. (2020), Why the coronavirus lockdown is making the internet stronger than ever, MIT Technology Review, 7. April, verfügbar: <https://www.technologyreview.com/2020/04/07/998552/why-the-coronavirus-lockdown-is-making-the-internet-better-than-ever/>.
- Humphries, M. (2020), Sony Slows Down PlayStation Game Downloads Across Europe, PCMag.com, 24. März, verfügbar: <https://uk.pcmag.com/news-analysis/125383/sony-slows-down-playstation-game-downloads-across-europe>.
- Internet Health Report (2020), Network Delays During National Lockdowns, verfügbar: <https://ihr.ijlab.net/ihr/en-us/covid19>.
- Ivus, O. & Boland, M. (2015), The employment and wage impact of broadband deployment in Canada, *Canadian Journal of Economics* 48(5), 1803-1830.
- Knieps, G. & Stocker, V. (2015), Network Neutrality Regulation: The Fallacies of Regulatory Market Splits, *Intereconomics* 50(1), 46-51.
- Knieps, G. & Stocker, V. (2016), Price and QoS differentiation in all-IP networks, *International Journal of Management and Network Economics* 3(4), 317-335.
- Kolko, J. (2010), Does broadband boost local economic development? Public policy institute of California, verfügbar: [http://www.ppic.org/content/pubs/report/R\\_110JKR.pdf](http://www.ppic.org/content/pubs/report/R_110JKR.pdf).
- Kolko, J. (2012), Broadband and local growth. *Journal of Urban Economics* 71, 100-113.
- Koutroumpis, P. (2009), The Economic Impact of Broadband on Growth: A Simultaneous Approach, *Telecommunications Policy* 33, 471-485.
- Kua, J., Armitage, G. & Branch, P. (2017), A Survey of Rate Adaptation Techniques for Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 19(3), 1842-1866.
- Labovitz, C. (2020), Effects of COVID-19 lockdowns on service provider networks, Presentation at NANOG 79, 1-3 June, verfügbar: [https://storage.googleapis.com/site-media-prod/meetings/NANOG79/2208/20200601\\_Labovitz\\_Effects\\_Of\\_Covid-19\\_v1.pdf](https://storage.googleapis.com/site-media-prod/meetings/NANOG79/2208/20200601_Labovitz_Effects_Of_Covid-19_v1.pdf).

- Lachapelle, T. (2020), How's the Internet Doing? Depends Where You Look, Washington Post, 8. April, verfügbar: [https://www.washingtonpost.com/business/energy/how-the-internet-doing-depends-where-you-look/2020/04/08/aa406204-7999-11ea-a311-adb1344719a9\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/business/energy/how-the-internet-doing-depends-where-you-look/2020/04/08/aa406204-7999-11ea-a311-adb1344719a9_story.html).
- Lehr, W.H., D.D. Clark, S. Bauer & Claffy, kc (2019b), Regulation when Platforms are Layered, SSRN, verfügbar: <https://ssrn.com/abstract=3427499>.
- Lehr, W.H., D.D. Clark, S. Bauer, A. Berger & Richter, P. (2019a), Whither the Public Internet?, *Journal of Information Policy* 9, 1-42.
- Leighton, T. (2009), Improving Performance on the Internet. *Communications of the ACM* 52(2), 44-51.
- Leighton, T. (2020a), Working Together To Manage Global Internet Traffic Increases, The Akamai Blog, 24. März, verfügbar: <https://blogs.akamai.com/2020/03/working-together-to-manage-global-internet-traffic-increases.html>.
- Leighton, T. (2020b), Can The Internet Keep Up With The Surge In Demand?, The Akamai Blog, 6. April, verfügbar: <https://blogs.akamai.com/2020/04/can-the-internet-keep-up-with-the-surge-in-demand.html>.
- Lobo, B. J., Alam, M. R. & Whitacre, B. E. (2020), Broadband speed and unemployment rates: Data and measurement issues, *Telecommunications Policy* 44(1), Article 101829.
- Maier, M., Chowdhury, M., Rimal, B.P. & Van, D.P. (2016), The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges, *IEEE Communications Magazine* 54(5), 138-145.
- Netflix (2019), Open Connect Overview, verfügbar: <https://openconnect.netflix.com/Open-Connect-Overview.pdf>.
- Netflix (2020), Empfehlungen zur Internetgeschwindigkeit, verfügbar: <https://help.netflix.com/de/node/306>.
- Nomikos, G., V. Kotronis, P. Sermpezis, P. Gigis, L. Manassakis, C. Dietzel, S. Konstantaras, X. Dimitropoulos & Giotsas V. (2018), O Peer, Where Art Thou?: Uncovering Remote Peering Interconnections at IXPs, IMC' 18: Proceedings of the Internet Measurement Conference 2018, Association for Computing Machinery, New York, NY, 265-278.
- Nordin, M., Grenestam, E. & Gullstrand, J. (2019), Is Super-fast Broadband Negative? An IV-Estimation of the Broadband Effect on Firms' Sales and Employment Level, School of Economics and Management, Working Paper 2019 (8).
- OECD (2019), The road to 5G Networks: Experience to Date and Future Developments. DSTI/CISP(2018)3/REV2.
- OECD (2020), Keeping the Internet up and running in times of crisis, OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19), Updated 4 May, verfügbar: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/keeping-the-internet-up-and-running-in-times-of-crisis-4017c4c9/>.
- Ookla (2020), Tracking COVID-19's Impact on Global Internet Performance, Updated July 20, verfügbar: <https://www.speedtest.net/insights/blog/tracking-covid-19-impact-global-internet-performance/#/>.
- OpenVault (2020a), Broadband Insights Report (OVBI), 1st Quarter 2020.
- OpenVault (2020b), Broadband Insights Report (OVBI), 2nd Quarter 2020.
- Poinsignon, L. (2020), On the shoulders of giants: recent changes in Internet traffic, The Cloudflare Blog, 17. März, verfügbar: <https://blog.cloudflare.com/on-the-shoulders-of-giants-recent-changes-in-internet-traffic/>.
- Pujol, E., Poese, I., Zerwas, J., Smaragdakis, G. & Feldmann, A. (2019), Steering hyper-giants' traffic at scale, Proceedings of the 15th International Conference on Emerging Networking Experiments And Technologies (CoNEXT '19). Association for Computing Machinery, New York, USA, 82-95.
- Schwarzbauer, W. & Wolf, M. (2020), Bedeutung der Telearbeit aktuell und nach der COVID-19 Pandemie, EcoAustria Policy Note Nr. 42, verfügbar: <http://ecoaustria.ac.at/wp-content/uploads/2020/10/EcoAustria-2020-Policy-Note-41.pdf>.
- SamKnows (2020), SamKnows Critical Services Report: CDN Performance (UK), 27. März, verfügbar: <https://samknows.com/blog/samknows-critical-services-report-uk>.
- Sandvine (2020), The Global Internet Phenomena Report: COVID-19 Spotlight, Mai, verfügbar: <https://www.sandvine.com/phenomena>.
- Satyanarayanan, M. (2017), The Emergence of Edge Computing, *Computer* 50(1), 30-39.
- Stocker, V. (2019), Ecosystem Evolution and End-to-End QoS on the Internet: The (Remaining) Role of Interconnections, in: Knieps, G. & Stocker, V. (eds.), *The Future of the Internet: Innovation, Integration and Sustainability*, Nomos, Baden-Baden, 171-193.

- Stocker, V. (2020), Innovative Capacity Allocations for All-IP Networks: A Network Economic Analysis of Evolution and Competition in the Internet Ecosystem, *Freiburger Studien zur Netzökonomie*, Nomos, Baden-Baden.
- Stocker, V. & Knieps, G. (2019), Network Neutrality Through the Lens of Network Economics, *Review of Network Economics* 17(3), 115-150.
- Stocker, V. & Whalley, J. (2018), Speed isn't everything: A multi-criteria analysis of the broadband consumer experience in the UK, *Telecommunications Policy* 42(1), 1-14.
- Stocker, V. & Whalley, J. (2019), Who Replies to Consultations, and What Do They Say? The Case of Broadband Universal Service in the UK, *Telecommunications Policy* 43(8), Article 101823.
- Stocker, V., G. Smaragdakis, & W.H. Lehr (2020), The State of Network Neutrality Regulation, *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 50(1), 45-59.
- Stocker, V., Smaragdakis, G., Lehr, W. & Bauer, S. (2017), The growing complexity of content delivery networks: Challenges and implications for the Internet ecosystem, *Telecommunications Policy* 41(10), 1003-1016.
- Sundaresan, S., Feamster, N. & Teixeira, R. (2016), Home network or access Link? Locating last-mile downstream throughput bottlenecks, in: T. Karagiannis, & X. Dimitropoulos (Hrsg.), *Passive and Active Measurement: 17th International Conference PAM 2016-Proceedings*, Cha, Springer, 111-123.
- Taglang, K. (2020), The FCC Says It Is All About Closing the Digital Divide. How Is It Doing?, *Benton Institute – Weekly Digest*, 25. September, verfügbar: [https://www.benton.org/blog/fcc-says-it-all-about-closing-digital-divide-how-it-doing?utm\\_source=sendgrid&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=Newsletters&mc\\_cid=3fa2644235&mc\\_eid=4251428306](https://www.benton.org/blog/fcc-says-it-all-about-closing-digital-divide-how-it-doing?utm_source=sendgrid&utm_medium=email&utm_campaign=Newsletters&mc_cid=3fa2644235&mc_eid=4251428306).
- ThousandEyes (2020), *Internet Performance Report – COVID-19 Impact Edition*.
- Timberg, C. (2020), Your Internet is working, Thank these Cold War-era pioneers who designed it to handle almost anything, *Washington Post*, 6. April, verfügbar: <https://www.washingtonpost.com/technology/2020/04/06/your-internet-is-working-thank-these-cold-war-era-pioneers-who-designed-it-handle-almost-anything/>.
- Timmers, M., Zhao, R., Mau, J. & Salgado, J. (2018), Migrating from Copper to Fibre: The Telco Perspective. A White Paper by the Deployment & Operations Committee, verfügbar: <http://www.ftthcouncil.eu>.
- UNICEF (2020), COVID-19: Are children able to continue learning during school closures?, August, verfügbar: <https://data.unicef.org/resources/remote-learning-reachability-factsheet/>.
- Vahdat, A. (2017), Networking challenges for the next decade, *Google Networking Research Summit Keynote*, 4. April, verfügbar: <https://events.static.linuxfound.org/sites/events/files/slides/ONS%20Keynote%20Vahdat%202017.pdf>.
- Valenzuela-Gómez, M. (2020), Can't Connect? The Most Significant Online Service Outages in Q1 2020, *Speedtest.net*, 14. April, verfügbar: <https://www.speedtest.net/insights/blog/significant-web-outages-q1-2020/>.
- Vogels, E.A., Perrin, A., Rainie, L. & Anderson, M. (2020), 53% of Americans Say the Internet Has Been Essential During the COVID-19 Outbreak, *Pew Research*, 30. April, verfügbar: <https://www.pewresearch.org/internet/2020/04/30/53-of-americans-say-the-internet-has-been-essential-during-the-covid-19-outbreak/>.
- Whitacre, B. E., Alam, M. R. & Lobo, B. J. (2018), Econometric error nullifies finding of the impact of broadband speed on county-level employment. *Information Economics and Policy* 44, 58-60.
- Whitacre, B. E., Gallardo, R., & Stover, S. (2014a), Does rural broadband impact jobs and income? Evidence from spatial and first-differenced regressions. *The Annals of Regional Science* 53(3), 649-670.
- Whitacre, B. E., Gallardo, R., & Stover, S. (2014b), Broadband's contribution to economic growth in rural areas: Moving towards a causal relationship. *Telecommunications Policy* 38(11), 1011-1023.
- Zhao, R., Fischer, W., Aker, E. & Rigby, P. (2014), *White Paper: Broadband Access Technologies. A White Paper by the Deployment & Operations Committee, FTTH Council Europe*, verfügbar: <http://www.ftthcouncil.eu>.

