

Sörries, Bernd; Franken, Matthias; Baischew, Dajan; Lucidi, Stefano

Working Paper

Einfluss von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung in der EU

WIK Diskussionsbeitrag, No. 470

Provided in Cooperation with:

WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH, Bad Honnef

Suggested Citation: Sörries, Bernd; Franken, Matthias; Baischew, Dajan; Lucidi, Stefano (2020) : Einfluss von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung in der EU, WIK Diskussionsbeitrag, No. 470, WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste, Bad Honnef

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/228683>

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.

Einfluss von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung in der EU

Bernd Sörries
Matthias Franken
Dajan Baischew
Stefano Lucidi

Bad Honnef, Dezember 2020

Impressum

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

Vertretungs- und zeichnungsberechtigte Personen

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

In den vom WIK herausgegebenen Diskussionsbeiträgen erscheinen in loser Folge Aufsätze und Vorträge von Mitarbeitern des Instituts sowie ausgewählte Zwischen- und Abschlussberichte von durchgeführten Forschungsprojekten. Mit der Herausgabe dieser Reihe bezweckt das WIK, über seine Tätigkeit zu informieren, Diskussionsanstöße zu geben, aber auch Anregungen von außen zu empfangen. Kritik und Kommentare sind deshalb jederzeit willkommen. Die in den verschiedenen Beiträgen zum Ausdruck kommenden Ansichten geben ausschließlich die Meinung der jeweiligen Autoren wieder. WIK behält sich alle Rechte vor. Ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung des WIK ist es auch nicht gestattet, das Werk oder Teile daraus in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren) zu vervielfältigen oder unter Verwendung elektronischer Systeme zu verarbeiten oder zu verbreiten.
ISSN 1865-8997

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Zusammenfassung	VII
Summary	VIII
1 Einleitung	1
2 Versorgungsauflagen in EU-Mitgliedstaaten	3
2.1 Literaturüberblick	4
2.2 Allgemeine Versorgungsauflagen	5
2.2.1 Bevölkerungsabdeckung	5
2.2.2 Flächenabdeckung	6
2.2.3 Abdeckung festgelegter Gebiete	7
2.3 Spezielle Versorgungsauflagen	8
2.3.1 Abdeckung ländlicher oder schlecht versorgter Regionen	8
2.3.2 Indoor-Abdeckung	9
2.3.3 Verkehrswege und Basisstationen	10
2.4 Qualitätsanforderungen hinsichtlich mobiler Datendienste	11
2.5 Überprüfungs- und Messmethoden	12
2.6 Sanktionsmechanismen	14
3 Quantitative Analyse	15
3.1 Datengrundlage und verwendete Variablen	15
3.1.1 Abhängige Variablen	16
3.1.2 Unabhängige Variablen	17
3.2 Methodik	23
3.2.1 Vorgehensweise Untersuchungsansatz	23
3.2.2 Modellgleichungen 3G	26
3.2.3 Modellgleichungen 4G	27

3.3 Ergebnisse und Interpretation	28
3.3.1 Übersicht zentrale Ergebnisse	28
3.3.2 Ergebnisse und Interpretation 3G	28
3.3.3 Ergebnisse und Interpretation 4G	33
4 Fazit	39
Anhang	42
Literaturverzeichnis	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	3G- und 4G-Abdeckung im EU-Vergleich	1
Abbildung 2:	Nutzung unterschiedlicher Arten von Versorgungsauflagen	3
Abbildung 3:	Länderbeispiele Bevölkerungsabdeckung	6
Abbildung 4:	Länderbeispiele Flächenabdeckung	7
Abbildung 5:	Länderbeispiele Abdeckung Städtischer/Regionaler Gebiete	7
Abbildung 6:	Länderbeispiele Abdeckung ländliche Regionen	9
Abbildung 7:	Länderbeispiele Indoor-Abdeckung	10
Abbildung 8:	Länderbeispiele Aufbau Basisstationen & Abdeckung von Verkehrswegen	11
Abbildung 9:	Eingesetzte Messmechanismen EU-28	14
Abbildung 10:	Bestehende Sanktionsmechanismen befragter EU Länder	15
Abbildung 11:	Länderübersicht Quantifizierung Versorgungsauflagen 2100 MHz	20
Abbildung 12:	Länderübersicht Quantifizierung Versorgungsauflagen 800 MHz	20
Abbildung 13:	Korrelationskoeffizienten 3G	25
Abbildung 14:	Zusammenhang Versorgungsauflagen und 3G-Mobilfunkabdeckung	33
Anhang 1:	Nutzung unterschiedlicher Typen von Versorgungsauflagen bei 2100 MHz	42
Anhang 2:	Nutzung unterschiedlicher Arten von Versorgungsauflagen bei 800 MHz	43
Anhang 3:	Korrelationskoeffizienten 4G	44
Anhang 7:	Grafische Darstellung des Zusammenhangs ländliche Bevölkerung und ländliche 4G-Mobilfunkabdeckung 2016	48
Anhang 9:	Grafische Darstellung des Zusammenhangs Bevölkerungsdichte und 3G-Mobilfunkabdeckung 2010	50
Anhang 11:	4G-Mobilfunkabdeckung (2018) und 800 MHz pro Kopf Frequenzpreise mit IE (links) und ohne IE (rechts)	52
Anhang 12:	4G-Mobilfunkabdeckung und Endkundenpreise 2017	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kriterien im Zusammenhang mit der Datenrate	12
Tabelle 2:	Methoden zur Überprüfung der Mobilfunkabdeckung	13
Tabelle 3:	Ausgewählte Kombinationen der unabhängigen Variablen für 3G-Mobilfunkabdeckung	26
Tabelle 4:	Ausgewählte Kombinationen der unabhängigen Variablen für 4G-Mobilfunkabdeckung	27
Tabelle 5:	Ergebnisse Modell 1a	30
Tabelle 6:	Ergebnisse Modell 1b	31
Tabelle 7:	Ergebnisse Modell 1c	32
Tabelle 8:	Ergebnisse Modell 1d	32
Tabelle 9:	Ergebnisse Modell 2a	34
Tabelle 10:	Ergebnisse Modell 2b	35
Tabelle 11:	Ergebnisse Modell 2c	36
Tabelle 12:	Ergebnisse Modell 2d	37
Tabelle 13:	Ergebnisse Modell 2e	38
Tabelle 14:	Ergebnisse Modell 2f	39
Anhang 4:	Modell 1a unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Fläche mit 3G	45
Anhang 5:	Modell 1b unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Fläche mit 3G	46
Anhang 6:	Modell 1c unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Fläche mit 3G	47
Anhang 8:	Modell 2b unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Bevölkerung in ländlichen Regionen	49
Anhang 10:	Modell 3b	51

Zusammenfassung

Die Mobilfunkversorgung in Deutschland ist seit geraumer Zeit ein wiederkehrendes Thema in der Presse und Gegenstand kontroverser politischer und fachlicher Diskussionen. Trotz relativ hoher Bevölkerungsdichte und wirtschaftlichen Wohlstands liegt Deutschland im europäischen Vergleich nur im Durchschnitt. Doch wodurch kommen Unterschiede zwischen den Ländern zustande? Wissenschaftliche Studien, die nicht nur deskriptiv die Mobilfunkversorgung erläutern, sondern (quantitative) Erklärungsansätze für Unterschiede geben, liegen kaum vor.

In diesem Diskussionsbeitrag wird auf der Basis ökonometrischer Messmethoden (Multiple Lineare Regression) ermittelt, inwiefern Versorgungsauflagen in der Vergangenheit im Kontext der Frequenzvergaben einen tatsächlichen Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung von 3G und 4G in den Mitgliedsstaaten der EU gehabt haben. Die Ergebnisse des Ländervergleiches zeigen, dass Versorgungsauflagen einen durchweg positiv signifikanten Effekt auf die Mobilfunkabdeckung haben. Dabei wirkt der Einfluss der Versorgungsauflagen in den ersten Jahren nach der Frequenzvergabe am stärksten auf die Mobilfunkabdeckung. Ein nachvollziehbares Ergebnis, wenn man bedenkt, dass Versorgungsauflagen mit dem Ziel verbunden sind, möglichst zügig den Ausbau von Mobilfunknetzen voranzutreiben. Neben dem Einfluss der Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung, konnte auch nachgewiesen werden, dass das BIP pro Kopf einen positiven Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung hat, d. h. je besser das Land wirtschaftlich aufgestellt ist, umso besser hat sich die Mobilfunkabdeckung entwickelt. Dagegen konnte kein eindeutiger Einfluss demographischer Faktoren, wie Bevölkerungsdichte oder Anteil der Bevölkerung in ländlichen Regionen, auf die Mobilfunkabdeckung nachgewiesen werden. Entsprechend gibt es Länder mit einer niedrigen Bevölkerungsdichte, die eine hohe Mobilfunkabdeckung haben und Länder mit einer relativ hohen Bevölkerungsdichte und einer vergleichsweise niedrigen Mobilfunkabdeckung.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass in der vorliegenden Studie ein Ansatz entwickelt wurde, der es ermöglicht, den Effekt von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung zu messen. Mit Hilfe weiterer Daten wäre es möglich, die vorliegenden Analysen auszubauen und zu vertiefen. So könnten die Berücksichtigung der Mobilfunkabdeckung nach Anbieter oder eine kleinteiligere territoriale Klassifizierung genauere Ergebnisse und Erkenntnisse über die Einflussfaktoren des Mobilfunkausbaus liefern. Weiterführende Untersuchungen könnten auch den Ausbau von 5G und mögliche Einflüsse von in diesem Zusammenhang bestehenden Versorgungsverpflichtungen untersuchen.

Summary

Mobile phone coverage in Germany has been a recurring topic in the press for some time and the subject of controversial political and expert discussions. Despite relatively high population density and economic prosperity, Germany is only average in a European comparison. What causes the differences between countries? There is a lack of literature that goes beyond showing descriptive statistics or that tries to provide (quantitative) explanations for differences in mobile phone coverage.

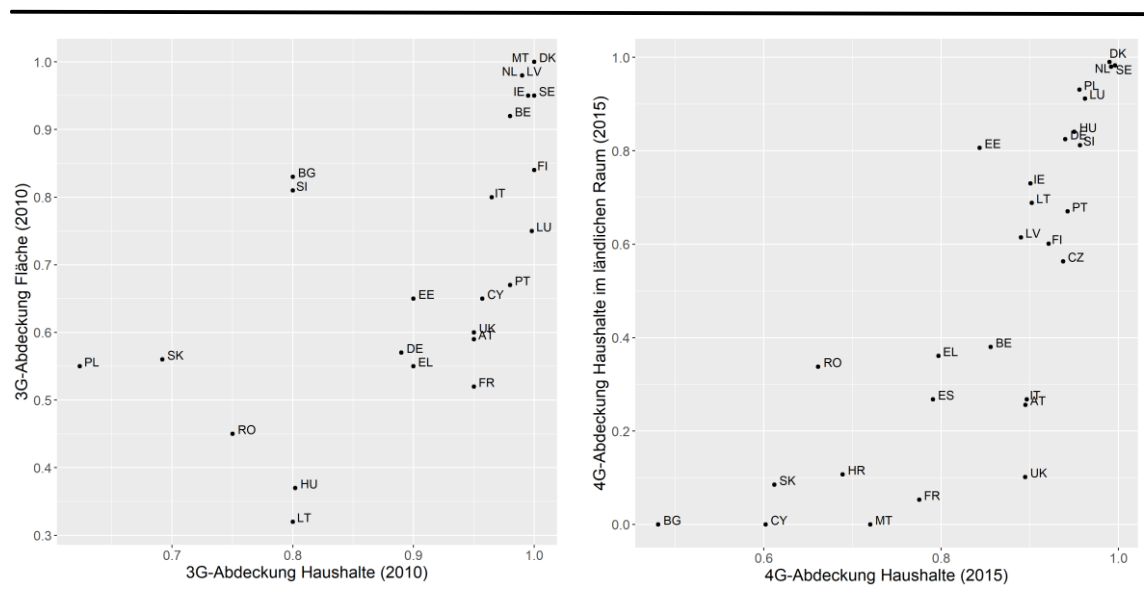
In this discussion paper, we use econometric methods (multiple linear regression) to determine the extent to which past legal coverage obligations in the context of spectrum allocation have had an actual impact on 3G and 4G mobile coverage across EU member states. The comparison of countries shows that coverage obligations have a consistently positive and significant effect on mobile coverage. The influence of coverage obligations has the strongest effect on mobile coverage in the first years after the allocation of frequencies. This is an expected result considering that coverage obligations are linked to the goal of promoting the expansion of mobile networks as quickly as possible. In addition to the influence of coverage obligations on mobile coverage, we also show that GDP per capita has a positive influence on mobile coverage, i.e. the better the country's economic performance, the better its mobile coverage. In contrast, no clear influence of demographic factors, such as population density or the degree of urbanization, on mobile phone coverage could be demonstrated. Accordingly, there are countries with a low population density that have high mobile coverage and countries with a relatively high population density and comparatively low mobile coverage.

In sum, the present study has developed an approach that makes it possible to measure the effect of coverage requirements on mobile coverage. In the future, using larger amounts of data, it would be possible to expand and deepen the present analyses. For example, taking mobile coverage by provider or smaller territorial classifications into account could provide more precise results and insights into the factors influencing mobile expansion. Future studies could also examine impacts of the associated coverage obligations concerning the expansion of 5G.

1 Einleitung

Die Mobilfunkversorgung in Deutschland ist seit geraumer Zeit ein wiederkehrendes Thema in der Presse¹ und Gegenstand kontroverser politischer und fachlicher Diskussionen.² Im Rahmen der Debatte über eine Mobilfunkstrategie stellte beispielsweise die Bundesregierung im Jahr 2019 fest, dass die Mobilfunkversorgung in Deutschland den Ansprüchen einer hochentwickelten Wirtschaftsnation bislang nicht ausreichend gerecht wird und eine internationale Spitzenposition nicht einnimmt.³ Abbildung 1 zeigt dazu die großen Unterschiede der Mobilfunkabdeckung in den Ländern der EU für das Jahr 2010 (3G-Abdeckung) und für das Jahr 2015 (4G-Abdeckung).

Abbildung 1: 3G- und 4G-Abdeckung im EU-Vergleich



Quelle: Für 3G-Haushalte: Europäische Kommission (2020), für 3G-Fläche: IDATE Consulting & Research (2009-2011), für 4G: Europäische Kommission (2019).⁴

Neben unternehmensindividuellen Strategien wird der Ausbau von öffentlichen Mobilfunknetzen von Versorgungsaufgaben beeinflusst, die Mobilfunknetzbetreibern im Wege von Frequenzvergabeverfahren auferlegt werden. In Deutschland wurden die Mobilfunknetzbetreiber im Rahmen der Frequenzvergabe des Jahres 2015 beispielsweise verpflichtet, bis Ende 2019 mindestens 98 % der Bevölkerung im Downlink pro Antennensektor mit 50 Mbit/s abzudecken und eine lückenlose Versorgung der Autobahnen

¹ Vgl. <https://interaktiv.tagesspiegel.de/lab/deutschland-im-funkloch/> (zuletzt abgerufen am 21.9.2020).

² Vgl. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/BeiratsundAusschuesse/Beirat/Beschluesse/BeschlussBeirat25062018.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt abgerufen am 21.9.2020).

³ https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Eckpunkte-Mobilfunkstrategie.pdf?__blob=publicationFile (zuletzt abgerufen am 21.9.2020).

⁴ Anmerkung: Achsenskala jeweils von 0 bis 1, wobei 1 einer Abdeckung von 100 % entspricht.

und ICE-Strecken sicherzustellen.⁵ Über den konkreten Einfluss von Versorgungsaufgaben auf die Versorgungsqualität gibt es bisher keine empirischen Erkenntnisse. Sind beispielsweise unterschiedliche Versorgungsaufgaben in den Mitgliedstaaten der EU dafür verantwortlich, dass die Qualität der Mobilfunkversorgung in den Staaten unterschiedlich ausfällt? Haben andere Variablen, wie beispielsweise der Anteil der ländlichen Bevölkerung oder das Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf auch einen Einfluss auf die Mobilfunkversorgung? Zu diesen Fragen finden sich bisher keine empirischen Studien.

In diese Forschungslücke stößt der vorliegende Diskussionsbeitrag. Die Analyse umfasst dabei zwei Schwerpunkte: Zum einen wird dargelegt, welche Versorgungsaufgaben die Mobilfunknetzbetreiber in ausgewählten europäischen Ländern erfüllen müssen und wie sich die Mobilfunkabdeckung mit 3G und 4G jeweils entwickelt hat. Hierbei werden auch Sanktionsmechanismen, also Reaktionen auf eine unzureichende Erfüllung von Auflagen, betrachtet. Zum anderen wird auf der Basis ökonometrischer Messmethoden ermittelt, inwiefern Versorgungsaufgaben in der Vergangenheit im Kontext der Frequenzvergaben einen tatsächlichen Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung von 3G⁶ und 4G⁷ gehabt haben. Auf der Basis einer Länderquerschnittsanalyse wird über die EU-28 für jedes Jahr im Zeitraum von 2008 bis 2018 untersucht, welche Variablen den Ausbau von Mobilfunknetzen durch Netzbetreiber beeinflussen.

Durch die in dieser Studie angewandte Multiple Lineare Regression⁸ (MLR) können Effekte verschiedener Variablen voneinander isoliert werden, sodass eine Aussage über den Einfluss einzelner Faktoren getroffen werden kann. Die zentrale Forschungsfrage lautet, welchen Effekt Versorgungsaufgaben auf den Ausbau von Mobilfunknetzen haben. Ferner wird untersucht, welche anderen Variablen eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Mobilfunkabdeckungsstände in den EU-Ländern liefern können.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: Kapitel 2 gibt eine qualitative Übersicht über die angewandten Versorgungsaufgaben in der EU im Zusammenhang mit der Vergabe der 800-MHz- und 2100-MHz-Frequenzbänder. Es stehen folgende Fragen im Vordergrund der Analyse: Welche Arten von Versorgungsaufgaben gibt es? Welche Versorgungsparameter werden zugrunde gelegt? Wie werden Versorgungsaufgaben gemessen und kontrolliert? Welche Arten von Sanktionsmechanismen wenden Mitgliedsländer an? In Kapitel 3 erfolgt zunächst die Quantifizierung der unterschiedlichen Versorgungsaufgaben in Bezug auf die 2100-MHz- und die 800-MHz-Frequenzen. Daraufhin wird die Methodik sowie alle im Modell verwendeten Variablen und sich daraus ergebenden Modellvarianten vorgestellt, um im Anschluss die Ergebnisse zu beschreiben und zu inter-

5 https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Breitband/MobilesBreitband/MobilesBreitband-node.html [zuletzt abgerufen am: 04.09.2020].

6 3G steht für die dritte Mobilfunkgeneration. Damit sind UMTS und Weiterentwicklungen von UMTS gemeint.

7 4G bezeichnet die vierte Mobilfunkgeneration. Damit wird die Mobilfunktechnologie Long Term Evolution (LTE) bzw. entsprechende Weiterentwicklungen (z.B. LTE-Advanced) bezeichnet.

8 Siehe zum Beispiel Jobson, J.D. (1991) und Wooldridge (2016).

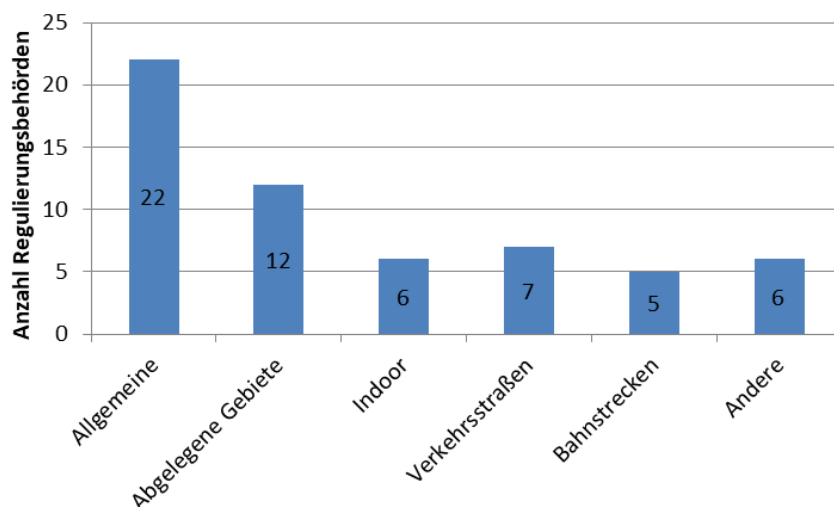
pretieren. Abschließend werden in Kapitel 4 zusammenfassend Schlussfolgerungen gezogen und ein Ausblick auf weitergehende Fragestellungen gegeben, die sich aus den Ergebnissen dieser Studie ergeben.

2 Versorgungsauflagen in EU-Mitgliedstaaten

Während fast alle für die Frequenzvergabe bzw. Frequenzregulierung zuständigen Behörden in Europa Versorgungsverpflichtungen auferlegen, unterscheiden sich diese in der Regel nach ihrer Art und ihrem Umfang.⁹ Gleichzeitig lässt sich ein Entwicklungsprozess in der Ausgestaltung der Versorgungsauflagen in Art und Umfang seit den ersten Frequenzvergaben für UMTS Anfang der 2000er Jahre (3G) über die Vergabe von Frequenzen für den LTE-Ausbau (4G) ab 2010 feststellen.

Die folgende Abbildung zeigt unterschiedliche Typen von Versorgungsauflagen sowie die Anzahl nationaler Behörden, die eine entsprechende Versorgungsauflage implementiert haben.¹⁰

Abbildung 2: Nutzung unterschiedlicher Arten von Versorgungsauflagen¹¹



Quelle: BEREC (2018a), S. 22.

⁹ Untersucht werden im Rahmen dieser Studie die Versorgungsauflagen, die im Zusammenhang mit den Frequenzvergaben für die 800-MHz- und 2100-MHz-Frequenzbänder auferlegt wurden.

¹⁰ BEREC (2018a).

¹¹ In der Umfrage von BEREC wurden die Antworten von 26 Regulierungsbehörden berücksichtigt. Dabei können NRBs auch mehrere Typen von Versorgungsauflagen als implementiert angegeben haben.

2.1 Literaturüberblick

BEREC (Body of European Regulators for Electronic Communications) und der Ausschuss für Elektronische Kommunikation (Electronic Communications Committee, ECC) führen in regelmäßigen Abständen Umfragen zum Thema Frequenzvergabe und darin enthaltene Versorgungsaufgaben durch. Die Berichte konzentrieren sich in der Regel auf die Merkmale früherer Frequenzvergaben und auf die Beweggründe der Regulierungsbehörden, Versorgungsverpflichtungen aufzuerlegen. Während in der Vergangenheit bei Vergaben von Frequenzen für GSM und später für UMTS die Abdeckung der Bevölkerung mit Mobilfunkdiensten bei der inhaltlichen Ausgestaltung von Versorgungsaufgaben im Vordergrund standen, ist mit der Nutzung von Datendiensten und im Zuge einer Verhinderung einer digitalen Spaltung („digital divide“)¹² verstärkt eine weitgehend lückenlose Versorgung mit Mobilfunkdiensten in der Fläche in den Vordergrund der Diskussion über Versorgungsaufgaben gerückt. Im Fokus steht dabei die Versorgung sogenannter Problemgebiete, in denen es eine begrenzte oder nicht existente Mobilfunkversorgung gibt. Problemgebiete können ländliche Regionen, Innenräume, aber auch Verkehrswege wie Autobahnen oder Bahnstrecken sein. In einer im Jahr 2017 gemeinsam veröffentlichten Studie¹³ von BEREC und der RSPG (Radio Spectrum Policy Group) wird aufgezeigt, wie in einzelnen Mitgliedstaaten Lösungsansätze und Vorgehensweisen (beispielsweise in Form spezifischer Versorgungsaufgaben) umgesetzt wurden, um in den sogenannten Problemgebieten eine bessere Mobilfunkabdeckung zu erreichen. Mit den zunehmenden Anforderungen an die Mobilfunkabdeckung und anspruchsvolleren Versorgungsaufgaben im Sinne von definierten Übertragungskapazitäten (z. B. Downlink im Antennensektor) rückt auch die Überprüfung und Messung der angebotenen Mobilfunkversorgung in den Fokus. In diesem Zusammenhang hat der ECC in den vergangenen Jahren verschiedene Studien¹⁴ über Überprüfungsverfahren zur Bewertung der Leistung von Mobilfunknetzen unterschiedlicher Technologien veröffentlicht. Anknüpfend arbeitet BEREC seit 2017 daran, gemeinsame Standpunkte zu erstellen, um ein einheitliches Verständnis darüber zu erreichen, wie Informationen über die Mobilfunkversorgung bereitgestellt und wie diese für Kontrollzwecke definiert, gemessen und berichtet werden können. In einer 2018 veröffentlichten Studie stellt BEREC die aktuellen Praktiken der Regulierungsbehörden zur Überprüfung der Mobilfunkversorgung vor.¹⁵ Auf die Mess- und Überprüfungsverfahren wird ausführlicher in Kapitel 2.5 eingegangen.

Insgesamt gibt es, wie gezeigt, eine Vielzahl an Studien zum Thema Versorgungsaufgaben. Dabei handelt es sich in der Regel um qualitative Bewertungen der Vor- und Nachteile bestimmter Auflagen auf die Mobilfunkabdeckung. Wissenschaftliche Studien, die nicht nur deskriptiv die Mobilfunkversorgung erläutern, sondern quantitative Erklärungs-

¹² Für die deutsche Diskussion vgl. <https://www.vzbv.de/meldung/breitband-grundversorgung-sicherstellen> [zuletzt abgerufen am 24.08.2020].

¹³ BEREC (2017b).

¹⁴ ECC (2008), ECC (2007), ECC (2016a).

¹⁵ BEREC (2018a).

ansätze für Unterschiede geben, liegen dagegen kaum vor. Lediglich die britische Regulierungsbehörde Ofcom hat in einer 2019 veröffentlichten Studie untersucht, welche Faktoren die Festnetz- und Mobilfunkabdeckung beeinflussen.¹⁶ Allerdings lag dort der Fokus auf dem Einfluss nachfragebedingter Faktoren und Kostenfaktoren. Hingegen der Effekt von Regulierungsmaßnahmen in Form von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung, wie es dieser Diskussionsbeitrag in den Mittelpunkt rückt, war nicht Gegenstand der Untersuchung.

2.2 Allgemeine Versorgungsauflagen

Eine deutliche Mehrheit der zuständigen Behörden in der EU erlegt allgemeine Versorgungspflichten in mindestens einem Frequenzband auf (22 von 26 befragten Regulierungsbehörden).¹⁷ Das Ziel einer allgemeinen Versorgungsabdeckung ist in der Regel die Erreichung eines bestimmten Niveaus der Bevölkerungs- oder der Flächenversorgung eines Landes mit Mobilfunk (z. B. Sprachdienste, Datendienste, etc.). Entsprechend gibt es unterschiedliche Arten von Versorgungsauflagen für Mobilfunknetzbetreiber.

Im Weiteren werden die unterschiedlichen Arten von Versorgungsauflagen erläutert sowie Beispiele aus EU-Ländern dargestellt, die im Rahmen von Frequenzvergaben auferlegt wurden. Dabei werden aber nur jene Versorgungsauflagen berücksichtigt, die im Rahmen der Vergabe von 2100-MHz-Frequenzen und der Vergabe von 800-MHz-Frequenzen auferlegt wurden. Diese Auflagen sind die Grundlage für die quantitative Auswertung in Kapitel 3, die den Einfluss verschiedener Variablen auf die Mobilfunkabdeckung mit 3G und 4G untersucht.

2.2.1 Bevölkerungsabdeckung

Nach wie vor zielen die Versorgungsauflagen in den meisten EU-Ländern auf die prozentuale Abdeckung der Bevölkerung (Haushalte) mit Mobilfunkdiensten ab.¹⁸ Diese Ausrichtung korrespondiert mit wirtschaftlichen Überlegungen der Mobilfunknetzbetreiber. Sie treiben ihren Netzausbau prioritär dort voran, wo sie schnell einen großen Anteil der Bevölkerung erreichen können. Dies ist in den urbanen und suburbanen Regionen gegeben. Hingegen haben Mobilfunknetzbetreiber zunächst keine oder geringere Anreize unbewohnte oder gering besiedelte Flächen abzudecken. Die in Abbildung 3 aufgeführten Beispiele zur Ausgestaltung von Versorgungsauflagen hinsichtlich von Vorgaben zur Bevölkerungsabdeckung zeigen, dass sich diese sowohl in Bezug auf die prozentual abzudeckende Bevölkerung unterscheiden als auch auf den Zeitraum, in dem diese durch die Mobilfunknetzbetreiber umzusetzen sind. Weiter gibt es in einigen

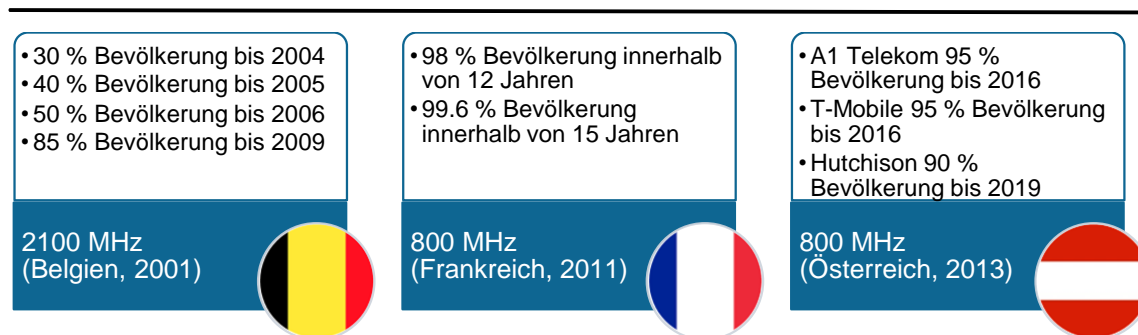
¹⁶ Ofcom (2019).

¹⁷ BEREC (2018), S. 22.

¹⁸ BEREC (2018a), S. 23.

Ländern betreiberspezifische Auflagen, die Unterschiede im Markt (z. B. Markteintrittszeitpunkte) berücksichtigen (siehe das Länderbeispiel Österreich).

Abbildung 3: Länderbeispiele Bevölkerungsabdeckung



Quelle: WIK in Anlehnung an ECC (2015), Tabelle 1 und Ofcom (2012), S. 19.

2.2.2 Flächenabdeckung

Spätestens mit der Bereitstellung von ehemals von Rundfunkveranstaltern genutzten Frequenzen, der sogenannten Digitalen Dividende¹⁹, haben seit 2010 die Forderungen nach einer lückenlosen Flächenabdeckung mit Mobilfunk zugenommen. Zusammen mit der Forderung einer Breitbandgrundversorgung haben immer mehr Länder deshalb Versorgungsverpflichtungen im Hinblick auf die prozentuale Abdeckung von Flächen auferlegt. Dementsprechende Verpflichtungen wurden beispielsweise in Dänemark, Polen und den Niederlanden implementiert.²⁰

Versorgungsaufgaben, die einen prozentualen Anteil der Landesfläche als Gegenstand der Versorgung umfassen, stellen in der Regel eine größere Herausforderung für die Mobilfunknetzbetreiber dar, als Versorgungsaufgaben, die an eine Bevölkerungsabdeckung gekoppelt sind. So erreichen Mobilfunksendeanlagen in ländlichen Regionen deutlich weniger Haushalte als in den urbanen und suburbanen Gebieten. In einer Studie zu Mobilfunkversorgung und -kosten²¹ wird ausgeführt, dass beispielsweise bei der Schließung von weißen Flecken im Durchschnitt 20 Haushalte von einer Sendeanlage versorgt werden. In der Regel sind solche Ausbauten nicht wirtschaftlich.

Vor diesem Hintergrund ist die Auflage einer Abdeckung von 99 % der Fläche in Malta eine Ausnahme und vor allem der geringen Landesfläche geschuldet (siehe Abbildung 4). In den Niederlanden musste pro 5 MHz vergebenen Frequenzspektrums eine festgelegte Fläche mit 3G abgedeckt werden. Am Beispiel Dänemark wird deutlich, dass

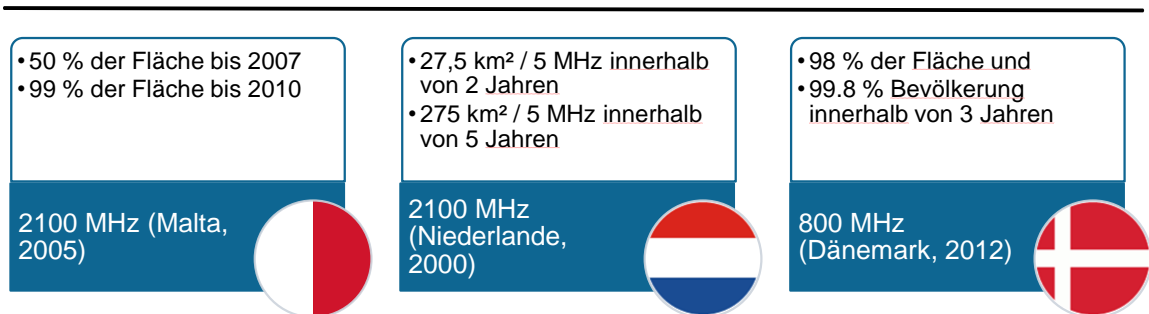
¹⁹ Siehe <https://www.teltarif.de/mobilfunk/internet/digitale-dividende.html> [zuletzt abgerufen am 24.08.2020].

²⁰ ECC (2015).

²¹ Umlaut & WIK (2019).

auch eine Kombination von Auflagen zur Bevölkerungs- und Flächenabdeckung auferlegt werden kann.

Abbildung 4: Länderbeispiele Flächenabdeckung

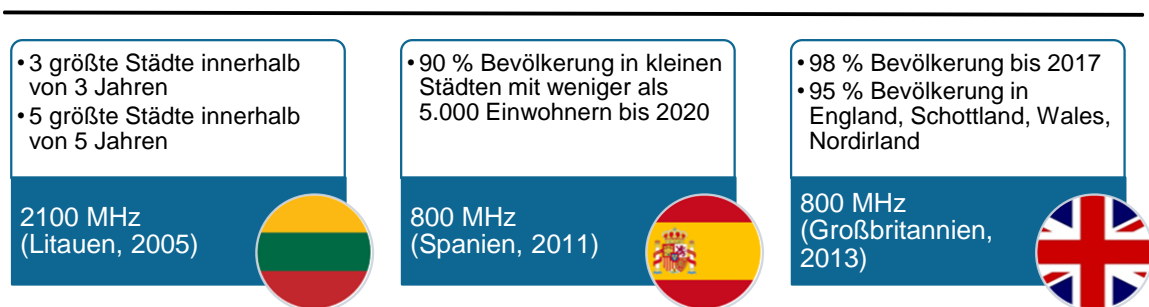


Quelle: WIK in Anlehnung an ECC (2015), Tabelle 1.

2.2.3 Abdeckung festgelegter Gebiete

Neben den prozentualen Vorgaben zur Abdeckung der Bevölkerung oder der Fläche mit Mobilfunk gibt es auch eine Reihe von Ländern, in denen die Mobilfunknetzbetreiber verpflichtet wurden, festgelegte Gebiete, wie Städte oder Regionen innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes zu versorgen (siehe Abbildung 5). Beispielsweise mussten in Litauen zunächst die größten Städte versorgt werden, wohingegen in Spanien 90 % der Bevölkerung in Städten mit weniger als 5.000 Einwohnern versorgt werden sollten.

Abbildung 5: Länderbeispiele Abdeckung Städtischer/Regionaler Gebiete



Quelle: WIK in Anlehnung an ECC (2015), Tabelle 1.

2.3 Spezielle Versorgungsaufgaben

Neben allgemeinen Versorgungsaufgaben setzen immer mehr Behörden, spätestens seit den „LTE-Frequenzvergaben“ und verstärkt gegenwärtig im Zusammenhang mit den „5G-Frequenzvergaben“, spezifische Auflagen ein, um die Mobilfunkabdeckung in sogenannten Problemgebieten (abgelegene und ländliche Gebiete und innerhalb von Gebäuden) zu verbessern und eine effektive Nutzung des Frequenzspektrums zu gewährleisten.²²

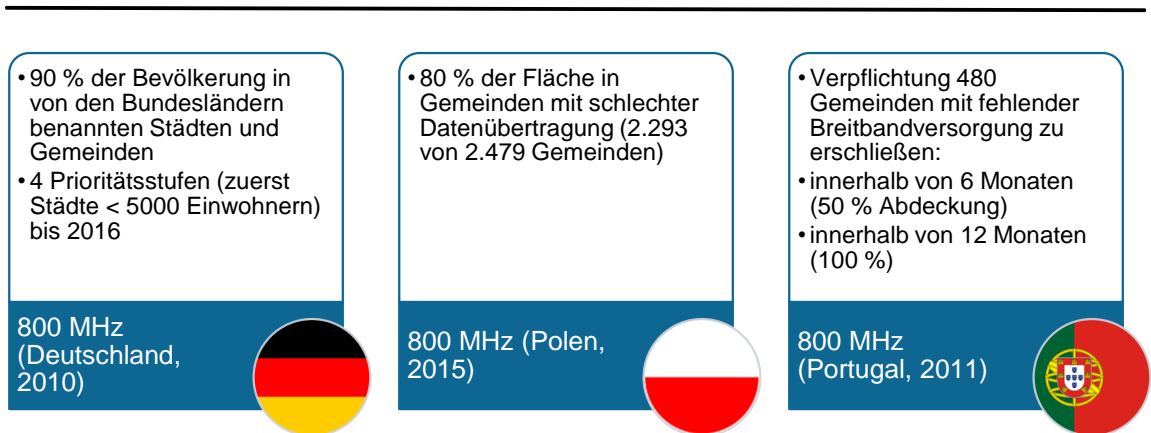
2.3.1 Abdeckung ländlicher oder schlecht versorgter Regionen

Da vor allem ländliche und damit bevölkerungsschwache Regionen aus Sicht der Mobilfunknetzbetreiber aufgrund des geringeren Kundenpotentials, weniger im Fokus des Netzausbaus standen, wurden in vielen Ländern im Rahmen der 800-MHz-Frequenzvergabe gesonderte Auflagen für exakt diese Gebiete auferlegt. Beispielsweise waren die Mobilfunknetzbetreiber in Deutschland verpflichtet, bei der Nutzung der 800-MHz-Frequenzen vorrangig Städte und Gemeinden mit weniger als 5.000 Einwohnern mit mobilem Breitband zu versorgen. Damit diese Auflage die betriebswirtschaftlichen Randbedingungen reflektierte, galt ein Anrechnungsmechanismus, wonach es zur Erfüllung der Auflage ausreichte, dass ein Mobilfunknetzbetreiber im Zielgebiet ausbaute. Sobald 90 % der Bevölkerung in diesen kleinen Gemeinden mit mobilem Breitband versorgt waren, konnten die Zuteilungsinhaber die 800-MHz-Frequenzen frei in anderen Gebieten nutzen.²³ Dabei ist anzumerken, dass bei der Beurteilung, ob die Versorgungsaufgabe erfüllt war, alle eingesetzten Technologien, also auch DSL und Kabel, berücksichtigt wurden. Vergleichbare Auflagen wurden auch in Polen und Portugal festgelegt, wie Abbildung 6 zeigt.

²² Siehe BEREC (2018), S. 23 ff.

²³ Siehe BNetzA (2010). S. 6 ff.

Abbildung 6: Länderbeispiele Abdeckung ländliche Regionen



Quelle: WIK in Anlehnung an ECC (2015), Tabelle 1, ITU (2016, S. 2) und Anacom (2013).

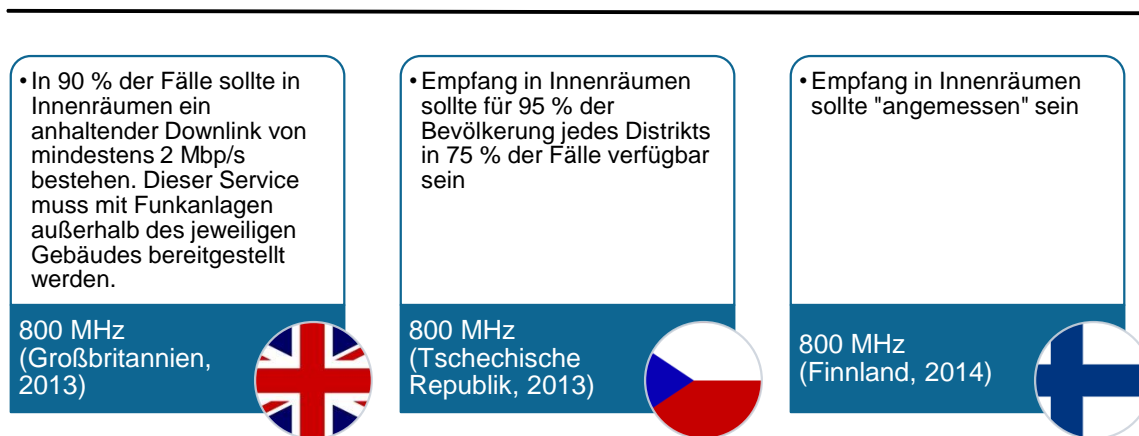
2.3.2 Indoor-Abdeckung

Eine besondere funktechnische und ökonomische Herausforderung ist es, die Mobilfunkversorgung innerhalb von Gebäuden („Indoor-Versorgung“) mit einer hohen Versorgungsqualität und -wahrscheinlichkeit zu gewährleisten. Insbesondere der Einsatz von bedampften Fensterscheiben erschwert eine qualitativ hochwertige Indoor-Versorgung. Insoweit haben nur wenige Länder Versorgungsauflagen im Zusammenhang mit einer Vorgabe zur Indoor-Abdeckung implementiert. Aus einer Umfrage aus dem Jahr 2017 geht hervor, dass insgesamt nur 6 von 26 befragten EU-Ländern solche speziellen Versorgungsverpflichtungen auferlegten.²⁴ Wenn eine solche Verpflichtung auferlegt wurde, zielte sie in der Regel auf bestimmte Ortschaften oder Standorte mit schlechter Breitbandversorgung ab. Zum Teil wurde sie ähnlich wie allgemeine Verpflichtungen nach Bevölkerung oder Gebiet definiert.²⁵ Beispiele für Vorgaben bezüglich einer Indoor-Abdeckung fanden sich im Rahmen der 800-MHz-Frequenzvergaben in Großbritannien, der Tschechischen Republik und in Finnland.

²⁴ Siehe BEREC (2017ba), S. 3 ff.

²⁵ Siehe BEREC (2017ba), S. 3 ff.

Abbildung 7: Länderbeispiele Indoor-Abdeckung



Quelle: WIK in Anlehnung an ECC (2015), Tabelle 1.

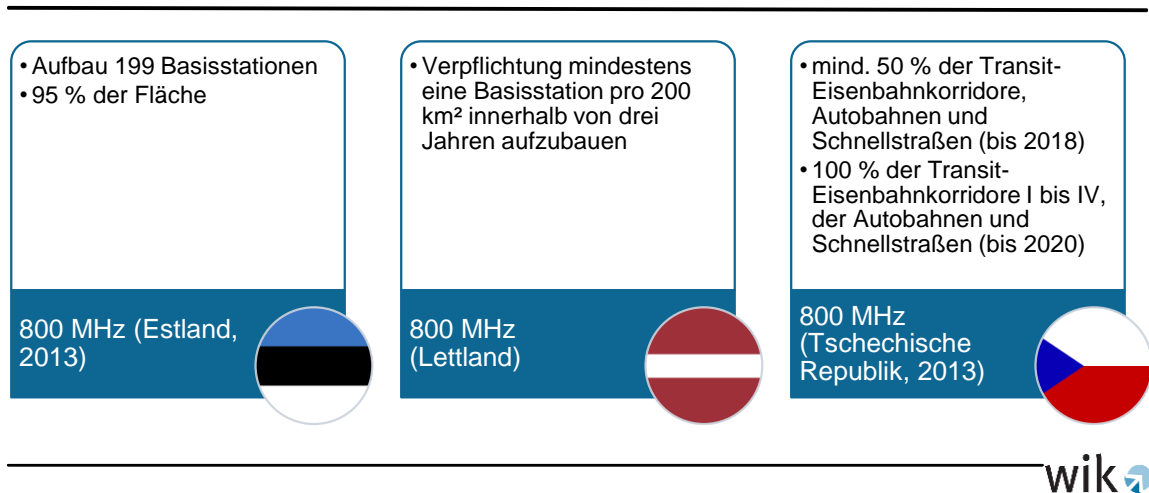
2.3.3 Verkehrswege und Basisstationen

Die Abdeckung von Verkehrswegen einerseits oder die Auflagen für den Aufbau einer definierten Anzahl von Basisstationen andererseits spielte in der Vergangenheit nur vereinzelt eine Rolle. Laut einer BEREC-Umfrage²⁶ aus dem Jahr 2020 haben nur 5 Behörden in Europa entsprechende Verpflichtungen auferlegt. Die Auflage, bestimmte Verkehrswege zu versorgen, wurde zum Beispiel in der Tschechischen Republik bereits im Jahr 2013 festgelegt. Bezüglich des Aufbaus von Basisstationen wurden die Mobilfunknetzbetreiber in den baltischen Ländern Estland und Lettland bei der Vergabe der 800-MHz-Frequenznutzungsrechte verpflichtet, eine vorgegebene Anzahl an Basisstationen aufzubauen.²⁷

²⁶ BEREC (2020, S. 21 ff.).

²⁷ Siehe. ECC (2015, Tabelle 1).

Abbildung 8: Länderbeispiele Aufbau Basisstationen & Abdeckung von Verkehrswegen



Quelle: WIK in Anlehnung an ECC (2015), Tabelle 1.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass es unterschiedliche Typen von Versorgungsauflagen gibt und die Länder bei der Vergabe der hier betrachteten Frequenzbänder (800 MHz und 2100 MHz) verschiedene Arten von Versorgungsauflagen implementiert haben.²⁸

2.4 Qualitätsanforderungen hinsichtlich mobiler Datendienste

Grundsätzlich lassen sich unterschiedliche Versorgungskriterien für die mobile Breitbandabdeckung unterscheiden. Die Mehrheit der zuständigen Regulierungsbehörden definiert eine zu erreichende Mindestdatenrate für den Downlink bei Endnutzern.²⁹ So sollte zum Beispiel in Estland die Mindestdatenrate im Downlink für das 800-MHz-Frequenzband bei 5 Mbit/s und für die Frequenzbänder des 2600-MHz-Frequenzbandes 2 Mbit/s betragen. Ebenso sollte in Italien für die Frequenzbänder 800 MHz, 1800 MHz und 2600 MHz die Datenrate mindestens 2 Mbit/s betragen. In der Tschechischen Republik wiederum sollte die Mindestdatenrate im Downlink für die Frequenzbänder 800 MHz und 2600 MHz in den ersten 7 Jahren bei 2 Mbit/s liegen, danach sollte sie 5 Mbit/s betragen.³⁰ Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Mindestrate je nach Bereich zu variieren. Tabelle 1 gibt Beispiele für drei Kriterien im Zusammenhang mit der Auflage einer Mindestdatenrate³¹:

²⁸ Für eine Übersicht siehe Anhang 1 und Anhang 2.

²⁹ Dabei ist die Verpflichtung entweder so ausgestaltet, dass die zu erreichende Mindestdatenrate über den Zeitverlauf konstant ist oder die Verpflichtung beinhaltet eine Erhöhung der Mindestdatenrate über die Jahre, jeweils beim Endnutzer. Siehe ECC (2015), S. 9 f.

³⁰ ECC (2015), S. 28 ff.

³¹ ECC (2015), S. 28 ff.

Tabelle 1: Kriterien im Zusammenhang mit der Datenrate

Kriterium	Land	Beschreibung
Höhere Datenrate für bestimmte Gebiete	Österreich (800 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Mindestrate im Downlink soll bei 2 Mbit/s und im Uplink bei 0,5 Mbit/s für bestimmte Gemeinden liegen
	Estland (2100 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Datenrate soll bei mindestens 144 Kbit/s in Städten und bei mindestens 64 Kbit/s außerhalb von Städten liegen
Unterschiedliche Mindestdatenraten zu unterschiedlichen Tageszeiten	Island (800 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung spätestens 4 Jahre nach Erhalt des Frequenznutzungsrechts: • Irgendwann innerhalb von 24h soll ein Downlink von 10 Mbit/s erreicht werden; der 24h-Durchschnitt soll bei 3,85 Mbit/s liegen • Downlink soll durchschnittlich 2,5 Mbit/s während der dreistündigen Spitzenzeit sein
Kombination von zu erreichender Mindestdatenrate und Bevölkerungsabdeckung	Österreich (800 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Für 25 % der Bevölkerung soll der Downlink bei 1 Mbit/s und der Uplink bei 0,25 Mbit/s liegen
	Litauen (800 MHz)	<ul style="list-style-type: none"> • Innerhalb von 3 Jahren nach Erhalt der Frequenznutzungsrechte: Für 50 % der Haushalte soll der Downlink bei 2 Mbit/s liegen • Nach 5 Jahren: 2 Mbit/s Downlink für 85 % der Haushalte • Bis 2020: 4 Mbit/s Downlink für 95 % der Haushalte

Quelle: ECC (2015), Table 1.

2.5 Überprüfungs- und Messmethoden

Für die Kontrolle und Messung der Mobilfunkabdeckung eines Landes sprechen laut BEREC³² vor allem zwei Gründe: Erstens können Regulierungsbehörden Verbrauchern Informationen über die jeweilige Versorgungssituation der einzelnen Mobilfunknetzbetreiber bereitstellen und damit Transparenz und Wettbewerb fördern. Der zweite Grund liegt in der Notwendigkeit, die Versorgungsverpflichtungen, welche die Mobilfunknetzbetreiber erfüllen müssen, überprüfen zu können. Häufig fordern Regulierungsbehörden die Mobilfunknetzbetreiber selbst auf, Informationen über die realisierte Mobilfunkabdeckung vorzulegen. Dies kann beispielsweise jährlich oder nach Fristablauf der Versorgungsaufgabe erfolgen. Da in der Regel hierbei Daten aus den Planungstools der Mobilfunknetzbetreiber übermittelt werden, bedarf es einer (stichprobenmäßigen) Überprüfung durch Messfahrten.

Um die Einhaltung von Versorgungsaufgaben zu überprüfen und die tatsächliche Mobilfunkabdeckung darzustellen, lassen sich drei generelle Überprüfungsverfahren abgrenzen: die theoretischen Modellierungen, Abdeckungsschätzungen und Feldmessungen.³³

³² BEREC (2017).

³³ Siehe ECC (2015) S. 10f. und BEREC (2017), S. 26 ff.

Tabelle 2: Methoden zur Überprüfung der Mobilfunkabdeckung

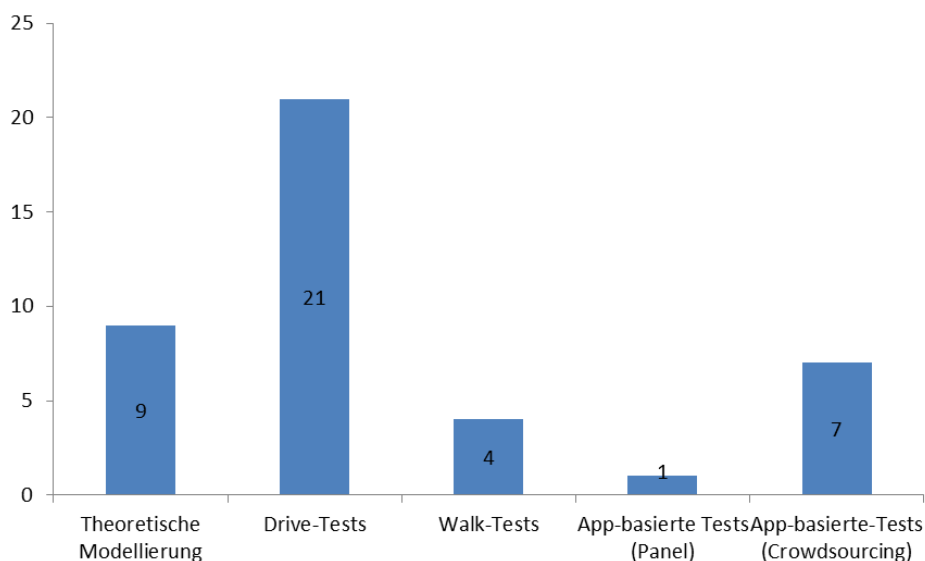
Methoden	Beschreibung
Theoretische Modellierung	Bei theoretischen Modellen werden mathematische und statistische Berechnungen herangezogen, welche die Abdeckung auf Basis unterschiedlicher Parameter darstellen. Dazu werden Informationen über die Standorte der Basisstationen, die entsprechende Höhe der eingesetzten Antennen und die Einstellung von Signalen zu Grunde gelegt. Im Ergebnis können Karten mit der berechneten Mobilfunkabdeckung dargestellt werden. Gleichmaßen werden auch diese Berechnungen in einigen Ländern durch Feldmessungen überprüft, um die Verlässlichkeit zu gewährleisten. ³⁴
Abdeckungsschätzung	Bei der Schätzung der Abdeckung wird eine theoretische Simulation mit praktischen Messungen kombiniert. Dabei werden Standorte, Verkehrswege und Regionen als statistische Referenzwerte ausgewählt, sodass diese vor Ort getestet werden und die Ergebnisse im Nachgang hochgerechnet werden, um eine Aussage über die gesamte Abdeckung treffen zu können.
Drive-Tests	Bei Drive-Tests werden Mobilfunksignale während des Fahrens eines Autos oder Zuges gemessen. Entsprechende Tests mit dem Auto werden vorzugsweise für die Überprüfung der Mobilfunkabdeckung von Verkehrswegen und ländlichen Regionen herangezogen.
Walk-Tests	Von der Herangehensweise ist dieser Test mit dem Drive-Test vergleichbar, da die Mobilfunksignale auch hier während der Bewegung überprüft werden. Allerdings können andere Ziele mit diesem Test erreicht werden, da die Geschwindigkeit deutlich langsamer ist und ebenso eine Indoor-Überprüfung der Versorgung möglich ist.
Appbasierte Tests	Appbasierte Tests sind als Ergänzung oder Unterstützung der bisher genannten Testformen, abgesehen von der theoretischen Modellierung, zu sehen. Somit können mobile Apps während Drive-Tests verwendet werden, um vordefinierte Routen anzuwenden. Gleichzeitig werden appbasierte Tests auch häufig bei Crowdsourcing eingesetzt.
Panelbasierte Tests	Von panelbasierten Tests spricht man, wenn speziell ausgewählte Endnutzergruppen über einen bestimmten Zeitraum Messungen durchführen. Dies kann ebenfalls über eine App erfolgen.
Crowdsourcing	Crowdsourcing sieht vor, über die Aggregation möglichst vieler Nutzerdaten Auskünfte über die Mobilfunkversorgung sowie die jeweilige Qualität zu erhalten. Dabei wird den Endkunden durch den Auftraggeber (Mobilfunknetzbetreiber oder Regulierungsbehörde) eine App zur Verfügung gestellt, die Informationen über eine Vielzahl von Netzwerkparametern an lokalisierten Orten feststellt. Zu den Parametern gehören unter anderem die Upload- und Downloadgeschwindigkeit, die Signalstärke und der zugeordnete Netzbetreiber. ³⁵

Quelle: ECC (2015), BEREC (2018b), S. 8 ff.

Welche Methoden Regulierungsbehörden einsetzen, ist in Abbildung 9 dargestellt. Dabei wurden insgesamt 26 EU-Mitgliedstaaten berücksichtigt. Es wird deutlich, dass mit Abstand am häufigsten Drive-Tests durchgeführt werden. Die neueren appbasierten Tests werden hingegen deutlich seltener verwendet.

³⁴ ECC (2015) S. 11.

³⁵ ECC (2016).

Abbildung 9: Eingesetzte Messmechanismen EU-28³⁶

Quelle: WIK in Anlehnung an BEREC (2018b).

2.6 Sanktionsmechanismen

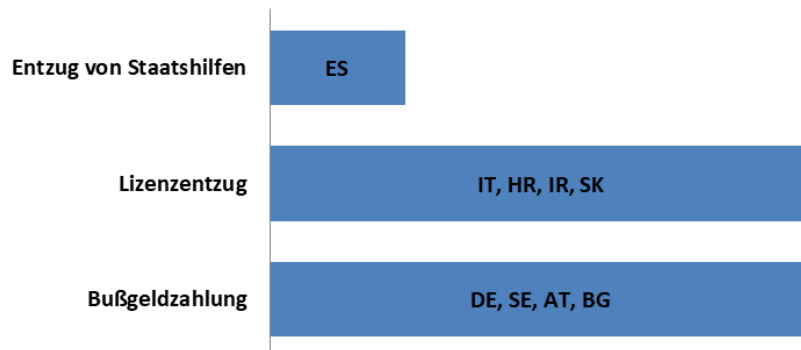
Für den Fall, dass auferlegte Versorgungsaufgaben durch die Mobilfunknetzbetreiber nicht erfüllt werden, stehen Behörden unterschiedliche Sanktionsmechanismen zur Verfügung. Aus einer WIK-Befragung über die RSPG-Plattform im Zeitraum von April bis Mai 2020, an der sich 11 EU-Länder beteiligten, geht hervor, dass die häufigsten Sanktionsmechanismen Bußgelder oder Frequenznutzungsrechtentzug sind (siehe Abbildung 10). Im Fall von Spanien wird bei Nichteinhalten der Versorgungsaufgaben gedroht, Staatshilfen für Mobilfunknetzbetreiber, die für den Ausbau ländlicher Regionen vorgesehen sind, zurückzufordern. Im Fall von Deutschland sind Bußgelder als fixe Beträge vorgesehen, es können jedoch auch zusätzliche Strafen in Höhe eines prozentualen Jahresumsatzes des betroffenen Mobilfunknetzbetreibers erhoben werden. Die Bundesnetzagentur hatte zuletzt im Frühjahr 2020 angekündigt, dass sie gegebenenfalls Zwangs- und Bußgelder verhängen würde, falls die Mobilfunknetzbetreiber ihren Versorgungsaufgaben aus der Frequenzvergabe 2015 nicht nachkommen.³⁷

³⁶ Einige Behörden setzen mehrere Messmechanismen ein, weshalb Mehrfachnennungen auftreten.

³⁷ Siehe

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020/20200414_Versorgungsaufgabe.html, [zuletzt abgerufen am: 31.08.2020.].

Abbildung 10: Bestehende Sanktionsmechanismen befragter EU Länder



Quelle: WIK Befragung über RSPG Plattform, April-Mai 2020, N=11.

3 Quantitative Analyse

Das folgende Kapitel untersucht quantitativ, ob es einen Zusammenhang zwischen den auferlegten Versorgungsverpflichtungen und der tatsächlichen Mobilfunkabdeckung gibt. Darüber hinaus werden weitere Faktoren untersucht, die potentiell einen Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung haben könnten und eine Erklärung für Unterschiede zwischen den EU-Mitgliedstaaten hinsichtlich der Abdeckung darstellen könnten (siehe Abbildung 1). Folgende Schritte wurden im Rahmen der Vorbereitung und Durchführung der quantitativen Analyse durchgeführt:

1. Quantifizierung der Versorgungsauflagen und Erstellung einer Datenbank für den Zeitraum 2008-2018 unter Berücksichtigung relevanter Variablen der Länderdaten der EU-28 mit insgesamt etwa 4.000 Datenpunkten (siehe Kapitel 3.1).
2. Auswahl einer geeigneten Methodik sowie Vorgehensweise beim Untersuchungsansatz (siehe Kapitel 3.2).
3. Berechnungen und Interpretation der Ergebnisse (siehe Kapitel 3.3).

3.1 Datengrundlage und verwendete Variablen

Voraussetzung für die quantitative Analyse ist die Auswahl geeigneter Variablen sowie der Aufbau einer entsprechenden Datenbank für den Untersuchungszeitraum. Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden Länderdaten der EU-28 herangezogen. Der Betrachtungszeitraum liegt zwischen 2008 und 2018. Aus dem Gesamtbetrachtungszeitraum werden jeweils Ausschnitte betrachtet, sodass zwischen 2008 und 2010 der

Aufbau der 3G-Netze (UMTS und technische Weiterentwicklungen) und zwischen 2015 und 2018 der Aufbau der 4G-Netze untersucht werden.³⁸ Somit werden die Frequenzvergaben mit ihren Versorgungsaufgaben bei 2100 MHz und bei 800 MHz betrachtet. Die Beobachtungszeiträume wurden des Weiteren so gewählt, um nach den Vergabezeitpunkten noch ausreichend Zeit zum Aufbau der Mobilfunknetze in den Mitgliedstaaten berücksichtigen zu können.

3.1.1 Abhängige Variablen

Das Ziel dieser Untersuchung liegt darin, Unterschiede in der Mobilfunkabdeckung zwischen den EU-Mitgliedstaaten zu erklären. Demnach ist die zu erklärende Variable (abhängige Variable) die Mobilfunkabdeckung mit 3G bzw. mit 4G in den jeweiligen Ländern. Die Mobilfunkabdeckung bezieht sich entweder auf die Bevölkerung oder die Fläche.

Je nach Modellgleichung werden folgende abhängige Variablen eingesetzt³⁹:

1. Prozentuale Abdeckung der Bevölkerung mit 3G (*Bevölkerungsabdeckung 3G*)⁴⁰
2. Prozentuale Abdeckung der Fläche mit 3G (*Flächenabdeckung 3G*)⁴¹
3. Prozentuale Abdeckung der Bevölkerung mit 4G⁴² (*Bevölkerungsabdeckung 4G*)
4. Prozentuale Abdeckung der Bevölkerung in ländlichen Regionen mit 4G⁴³ (*Bevölkerungsabdeckung Ländlich 4G*)

Anzumerken ist, dass für den Mobilfunkausbau ein linearer Verlauf angenommen wird. Das heißt, dass der Abstand von 50 % Bevölkerungsabdeckung zu 60 % Bevölkerungsabdeckung ebenso gewertet wird wie der Abstand von 90 % Bevölkerungsabdeckung zu 100 %. In der Realität verläuft die Kostenkurve für den Mobilfunkausbau aus Sicht des Mobilfunknetzbetreibers nicht linear und ist die Abdeckung der letzten 10 % der Bevölkerung am kostenintensivsten. Aus Vereinfachungsgründen wird hier ein line-

³⁸ Die verfügbaren Daten bezüglich der Mobilfunkabdeckung für 3G liegen erst ab 2008 vor. Da der Großteil der entsprechenden Frequenznutzungsvergaben für die 3G-Frequenzen zu Beginn des Jahrtausends stattfand, kann die Entwicklung der Mobilfunkabdeckung für diese Jahre nicht mit einbezogen werden.

³⁹ Die Unterschiede bei den verwendeten Variablen für 3G und 4G hängen zum einen mit der Datenverfügbarkeit und zum anderen mit unterschiedlichen Fragestellungen zusammen. So wurden Daten über die Mobilfunkabdeckung der Fläche über alle Länder nur für 3G bis 2010 erfasst. Gleichmaßen wurden im Rahmen der 800 MHz Frequenzvergaben häufig spezielle Auflagen für ländliche Regionen angewendet, weshalb die Frage zu beantworten ist, ob sich diese Auflagen auch auf den 4G-Ausbau in eben diesen Regionen positiv auswirkt. Bei 3G hingegen gab es vergleichbare Auflagen nicht.

⁴⁰ Europäische Kommission (2020).

⁴¹ IDATE Consulting & Research (2009-2011).

⁴² Europäische Kommission (2019).

⁴³ Europäische Kommission (2019).

arer Kostenverlauf angenommen. Da die Länder jedoch immer im gleichen Jahr verglichen werden, sollten diese Abstände nicht zu hoch sein, sodass eine potentielle Verzerrung durch diese getroffene Annahme nicht zu stark ins Gewicht fällt.

3.1.2 Unabhängige Variablen

Die unabhängigen Variablen umfassen vier berücksichtigte Themenfelder: Die Versorgungsauflagen, Demographie und Topographie der Länder, die jeweilige Wirtschaftskraft und Informationen über die betrachteten Frequenzvergaben.

Versorgungsauflagen:

Die zentrale, auf ihren Erklärungsgehalt zu prüfende Variable stellt die Versorgungsauflage dar, welche im Rahmen der Frequenzvergaben auferlegt wurden. Wie bereits in Kapitel 2.1 dargestellt, sind die Auflagen der EU-Mitgliedstaaten sehr heterogen und umfassen eine Vielzahl von unterschiedlichen Faktoren.

Um die Versorgungsauflagen vergleichbar zu machen, werden diese mit Hilfe von Scores, welche deren Umfang darstellen, quantifiziert. Zudem werden nur ausgewählte Frequenzbänder in die Betrachtung einbezogen. Für die Untersuchung der 3G-Mobilfunkabdeckung werden die Versorgungsauflagen des 2100-MHz-Frequenzbandes betrachtet (im Folgenden 3G-Analyse). Bei 4G werden die Auflagen des 800-MHz-Frequenzbandes zugrunde gelegt (im Folgenden 4G-Analyse). Diese Frequenzbänder werden ausgewählt, weil sie in nahezu allen EU-Mitgliedstaaten zum Aufbau der jeweiligen Technologie vergeben wurden.⁴⁴ Die erforderliche Datengrundlage wurde durch Desk-Research und bereits vorhandene qualitative Datenquellen⁴⁵ geschaffen.

Für die Quantifizierung der Scores werden zunächst die unterschiedlichen Kategorien an Versorgungsauflagen (z. B. Flächenvorgaben, abzudeckende Regionen etc.) auf einen Nenner gebracht. Dazu werden alle Versorgungsauflagen auf die prozentual abzudeckende Bevölkerung umgerechnet. Um eine Vergleichbarkeit aller Länder zu berücksichtigen, werden weiter folgende Annahmen getroffen:

1. Es wird angenommen, dass aufgrund der Rentabilität zunächst bevölkerungsreiche Regionen in dem jeweiligen Land ausgebaut werden.

Beispiel: Die Auflage in Polen, 80 % der Fläche abzudeckenden, entspricht rund 89 % der Bevölkerung in den bevölkerungsreichsten Regionen des Landes.

⁴⁴ Anzumerken ist, dass diese Vorgehensweise dazu führen kann, dass Auflagen für ein Land entsprechend unterschätzt oder überschätzt werden, wenn in einzelnen Ländern zusätzliche Frequenzen („Ausweichfrequenzen“) verwendet werden und eben diese umfangreichere oder weniger umfangreiche Versorgungsauflagen haben. Unterschiedliche Vorgaben nach Netzbetreibern konnten ebenso nicht berücksichtigt werden, da diese nicht von allen Ländern getroffen wurden und sie somit nicht vergleichbar zu machen sind.

⁴⁵ ECC (2015).

2. Bei Vorgaben hinsichtlich abzudeckender Städte, Regionen oder Gemeinden wird der prozentuale Anteil der dort lebenden Bevölkerung an der Gesamtbevölkerung berücksichtigt.

Beispiel: Die Vorgabe in Spanien, Städte mit mehr als 250.000 Einwohnern abzudecken, entspricht einer Bevölkerungsabdeckung von knapp 25 % der Gesamtbevölkerung.

Auf Basis der berechneten prozentualen Vorgaben hinsichtlich der Bevölkerungsabdeckung werden drei Scores gebildet, welche auch Unterschiede der vorgegebenen Umsetzungsdauer sowie der Höhe der Versorgungsaufgaben berücksichtigen. Diese umfassen die Geschwindigkeit, mit der die Bevölkerungsabdeckung erreicht werden muss, die höchste Versorgungsaufgabe, welche entsprechend der Auflage erzielt werden soll und einen Gesamtscore, der beide Faktoren berücksichtigt.

1. Score Ausbaugeschwindigkeit

Dieser Score berücksichtigt, dass Länder mit der gleichen Bevölkerungsabdeckungsaufgabe, aber unterschiedlichen Zeiträumen, in denen die Auflage erfüllt werden muss, differenziert werden. Daher wird die jährlich zu erfüllende prozentuale Ausbauaufgabe berechnet. Je höher dieser Wert ist, desto ambitionierter ist die Versorgungsaufgabe in puncto Umsetzungsgeschwindigkeit. Gleichzeitig werden damit unterschiedliche Zwischenziele (z. B. 50 % der Bevölkerung nach 5 Jahren, 80 % der Bevölkerung nach 7 Jahren) beim Ausbau berücksichtigt und damit vergleichbar gemacht. Beispielhaft ist die Vorgehensweise anhand der Versorgungsaufgaben im Zusammenhang mit der Vergabe der 2100-MHz-Frequenzen in Dänemark dargelegt. Das Beispiel zeigt, dass aufgrund der Versorgungsaufgabe in Dänemark im Durchschnitt etwa 11 % der Bevölkerung pro Jahr bis 2008 zusätzlich abgedeckt werden mussten, um im Jahr 2008 eine Abdeckung von 80 % zu erzielen.

Länderbeispiel Dänemark 2001 (3G):

$$\frac{\frac{30\% \text{ Bevölkerung}}{3 \text{ Jahre (2001 bis 2004)}} + \frac{80\% \text{ Bevölkerung}}{7 \text{ Jahre (2001 bis 2008)}}}{2} = \frac{\left(\frac{0,30}{3} + \frac{0,80}{7}\right)}{2} = 0,11$$

2. Score Höchste Auflage

Dieser Score berücksichtigt die höchste prozentuale Auflage im Sinne der Bevölkerungsabdeckung. Je höher dieser Messwert ist, desto umfangreicher und ambitionierter ist die Auflage. Im oben genannten Beispiel für Dänemark müssen nach 7 Jahren 80 % der Bevölkerung abgedeckt sein. Die Bevölkerungsabdeckung von 80 % entspricht für Dänemark der höchsten Versorgungsaufgabe, was einem Score von 0,8 entspricht.

3. Gesamtscore Auflagen 3G/4G

Der Gesamtscore kombiniert die Scores der Ausbaugeschwindigkeit und der höchsten Auflage miteinander. Dabei werden die beiden Scores addiert. Diese Vorgehensweise einer Addition unterschiedlicher Faktoren wird auch in der gängigen Literatur diskutiert und angewendet.⁴⁶ Aufgrund einer einfachen Addition fällt bei der Zusammensetzung des Gesamtscores der Score für die höchste Auflage stärker ins Gewicht, aus dem einfachen Grund, dass bei der Ausbaugeschwindigkeit eine jährlich zu erreichende Abdeckung ermittelt wird und diese per Definition kleiner ist als die höchste zu erreichende Abdeckung. Insgesamt gilt, je höher der Gesamtscore ist, desto ambitionierter sind die Versorgungsauflagen eines Landes.

Eine Übersicht über die Quantifizierung der Versorgungsauflagen bietet Abbildung 11 für 3G und Abbildung 12 für 4G. Daraus wird ersichtlich, dass sich bei 3G der Umfang der Versorgungsauflagen deutlich unterscheidet. So sind die Auflagen in Schweden am umfangreichsten. In Bulgarien oder Frankreich gab es hingegen keine Auflagen für die betrachteten 2100-MHz-Frequenzbänder. Gleichzeitig ist festzustellen, dass es beim Ausbau der 3G-Netze mehr Länder gab, die überhaupt keine Versorgungsverpflichtungen auferlegt haben, als im Vergleich zu 4G.

Für die Einordnung der Ergebnisse der Quantifizierung ist zu beachten, dass für die quantitative Analyse nur jene Auflagen berücksichtigt werden, die ganz spezifisch für 2100 MHz und 800 MHz im Sinne des 3G-Ausbaus und 4G-Ausbaus in den Ländern festgelegt wurden. Das heißt, Länder, die keine Auflagen in diesen für das Modell betrachteten Frequenzbereichen festgelegt haben, wie zum Beispiel Frankreich, können sehr wohl im Rahmen anderer Frequenzvergaben auch Auflagen implementiert haben. Diese werden aus Gründen der Vergleichbarkeit der Länder auf einen spezifisch festgelegten Frequenzbereich für die Berechnungen nicht berücksichtigt. Für die quantitative Analyse wird der „Gesamtscore Auflagen 3G/4G“ zur Repräsentation der Reichweite der Versorgungsauflagen herangezogen.

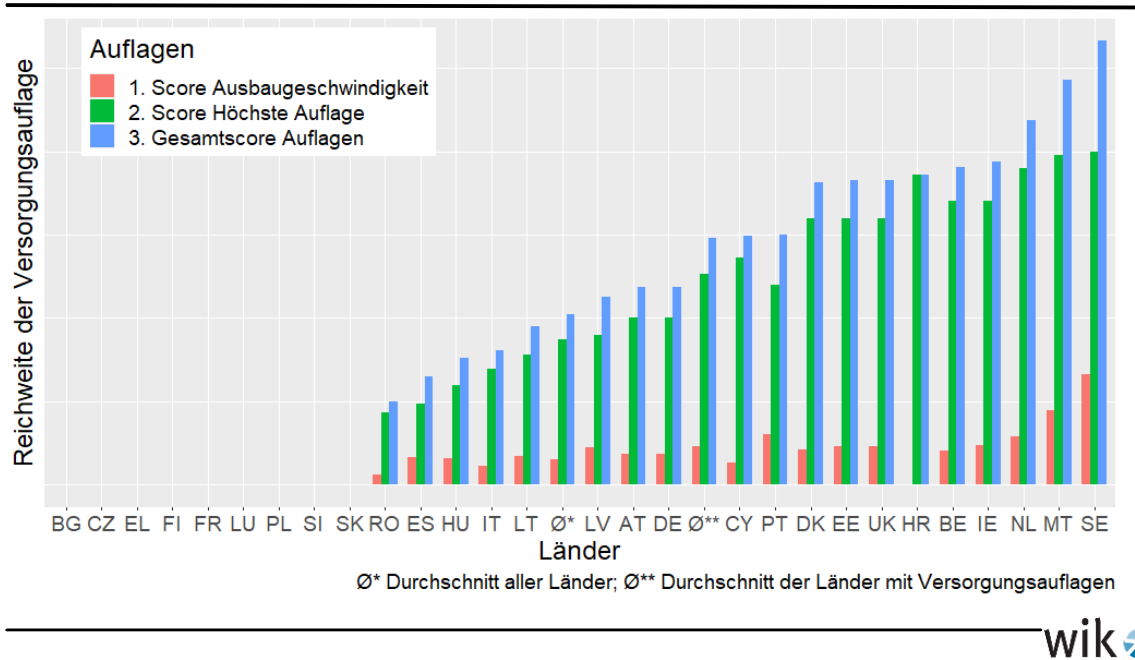
4. Vorgabe Ländliche Regionen

Eine Herausforderung für die EU-Mitgliedstaaten stellt die Versorgung ländlicher Gebiete dar.⁴⁷ Im Zuge der 800-MHz-Frequenzvergabe wurden in den EU-Mitgliedstaaten zunehmend auch Vorgaben für den Mobilfunkausbau in ländlichen Regionen auferlegt. Anhand dieser Variable wurde erfasst, ob es solche Versorgungsauflagen in dem jeweiligen Land gab (Ja oder Nein). Damit wird überprüft, ob diese Maßnahme ebenfalls ein Erklärungsfaktor für Unterschiede der Mobilfunkabdeckung, insbesondere jener in ländlichen Regionen, sein kann.

⁴⁶ Siehe z. B. Tofallis (2014).

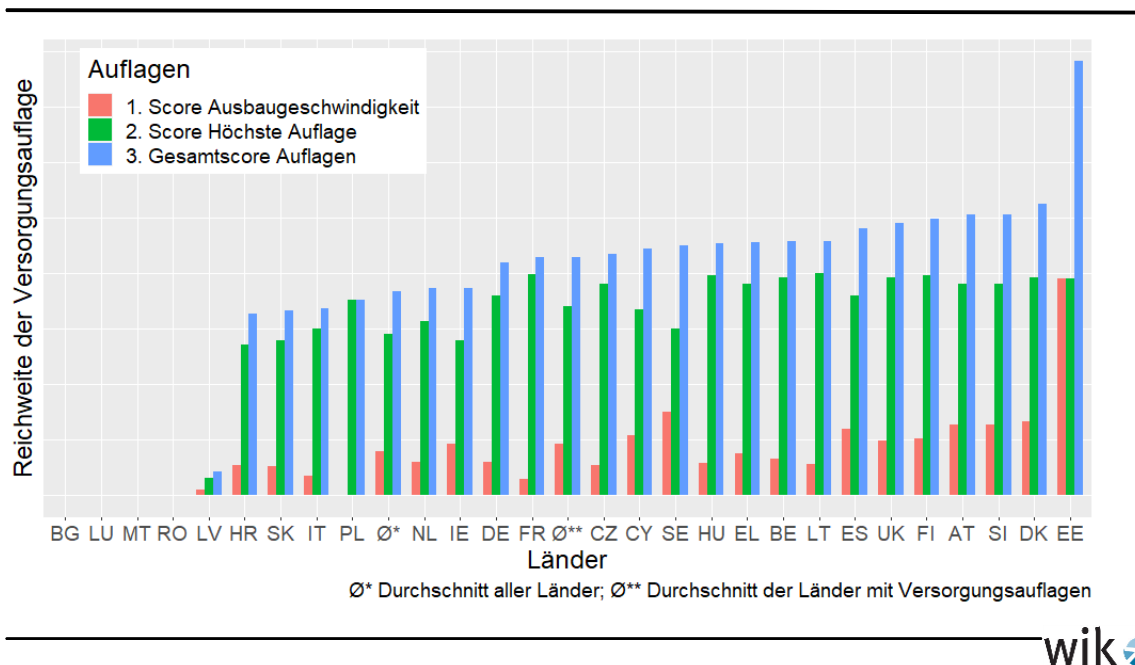
⁴⁷ Laut BEREC spielen dabei zwei Faktoren eine zentrale Rolle: Erstens sind die Kosten für die Errichtung und Wartung von Mobilfunkstandorten, z. B. in Bezug auf Anbindung an Backhaul oder mehr Geländehindernisse deutlich höher im Vergleich zu städtischen Gebieten. Zweitens lohnen sich diese Standorte für die Netzbetreiber ökonomisch häufig nicht, da die Nutzung in diesen Gebieten geringer ist (BEREC, 2017b).

Abbildung 11: Länderübersicht Quantifizierung Versorgungsauflagen 2100 MHz



Quelle: WIK.

Abbildung 12: Länderübersicht Quantifizierung Versorgungsauflagen 800 MHz



Quelle: WIK.

Im Unterschied zu den Versorgungsauflagen, die bei der Vergabe von Frequenzen des 2100-MHz-Frequenzbands auferlegt wurden und in der EU sehr unterschiedlich ausfallen, zeigt Abbildung 12, dass sich die Auflagen bei der Vergabe von 800-MHz-

Frequenzen weniger stark ausdifferenzieren. Einzig Estland stellt einen deutlichen Ausreißer dar, da dort die Auflagen zur Ausbaugeschwindigkeit besonders hoch waren. Gleichermaßen gibt es bei den 800-MHz-Frequenzen im Vergleich zu den 2100-MHz-Frequenzen weniger Länder, die auf Versorgungsaufgaben verzichtet haben.

Wie bereits in Kapitel 2.4 dargestellt, unterscheiden sich die Versorgungsaufgaben der jeweiligen Länder für das 800-MHz-Frequenzband, welches ab 2010 vergeben wurde und das 2100-MHz-Frequenzband, welches Anfang der 2000er im Rahmen der UMTS-Frequenznutzungsrechtvergaben vergeben wurde. Um sie dennoch vergleichbar zu machen, konnten einzelne Versorgungskriterien, wie zum Beispiel geforderte Upload- und Downloadgeschwindigkeiten, nicht berücksichtigt werden. Dadurch wird die Reichweite der Versorgungsaufgaben für einige Länder möglicherweise unterschätzt. Beispielsweise war die Mindestdatenrate für Endnutzer im Downlink laut Versorgungsaufgabe der Vergabe der 800-MHz-Frequenzen in Österreich nur bei 1 Mbit/s angesetzt, in Litauen hingegen bei 2 Mbit/s. Andere Länder haben hingegen gar keine Vorgaben hinsichtlich der Versorgungsparameter gemacht.⁴⁸ Diese Unterschiede sind unter anderem auch darauf zurückzuführen, dass die Frequenzvergaben in unterschiedlichen Jahren stattgefunden haben und die Technologie zu einem späteren Zeitpunkt schon höhere Datenübertragungsraten realisieren konnte. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde demnach auf eine Differenzierung verzichtet.

Neben der Quantifizierung muss das Endogenitätsproblem der Versorgungsaufgaben diskutiert werden. Um kausale Schlüsse ziehen zu können und somit eine fundierte Regulierungsevaluation durchzuführen, muss die erklärende Variable exogen sein. Das heißt, die Versorgungsaufgabe als unabhängige Variable und die Mobilfunkabdeckung als abhängige Variable dürfen sich nicht wechselseitig beeinflussen.⁴⁹ Um das Endogenitätsproblem größtenteils zu überwinden, werden deshalb weitere Variablen in die Betrachtung miteinbezogen.

Demographie und Topographie:

Um zu überprüfen, ob die Unterschiede hinsichtlich der Mobilfunkabdeckung zwischen den Ländern auf demographische, topographische oder auf eine Kombination dieser Konstellationen zurückzuführen sind, wurden die folgenden Variablen aufgenommen:

1. **Bevölkerung**⁵⁰: Umfasst die Bevölkerung je EU-Mitgliedstaat zu einem bestimmten Stichjahr.
2. **Fläche**⁵¹: Umfasst die jeweilige Landesfläche der EU-Mitgliedstaaten zu einem bestimmten Stichjahr in Quadratkilometern.

⁴⁸ Siehe Tabelle 1: Kriterien im Zusammenhang mit der Datenrate.

⁴⁹ DIW ECON (2017).

⁵⁰ Eurostat (2020a).

⁵¹ Eurostat (2020d).

3. **Bevölkerungsdichte⁵²**: Stellt die Kombination aus Bevölkerung und Landesfläche zu einem bestimmten Stichjahr dar. Für die quantitative Analyse wurde ausschließlich die Kombination der Bevölkerungsdichte (Einwohner pro Quadratmeter) als unabhängige Variable berücksichtigt.
4. **Anteil Ländliche Regionen⁵³**: Spiegelt den Anteil der Bevölkerung wider, der in ländlichen Regionen lebt. Dafür wird die Verteilung der Bevölkerung nach dem Grad der Verstädterung berücksichtigt, welche Städte, Vorstädte und ländliche Regionen unterscheidet. Ein ländliches Gebiet ist ein Gebiet, in dem mehr als 50 % der Bevölkerung ländlichen Gitterzellen zugeordnet ist, wie es dem Grad der Verstädterung entspricht.⁵⁴

Wirtschaftskraft:

Zudem wird überprüft, inwiefern die Wirtschaftskraft – hier in Form des BIP pro Kopf – einen Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung hat. Die Hypothese lautet dazu: Umso größer die Wirtschaftskraft in einem Land, desto stärker ist auch der Mobilfunkausbau und damit die Mobilfunkabdeckung. Ebenso wird angenommen, dass das jeweilige Preisniveau für Mobilfunkdienste in einem Land einen indirekten Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung haben kann. Die Hypothese lautet, je höher das Preisniveau, umso höher die potentiellen Margen für Mobilfunknetzbetreiber und umso mehr finanzieller Spielraum besteht für den Mobilfunkausbau. Als Variable fließt daher ein repräsentativer Endkundenpreis in die Analyse ein. Folgende Variablen wurden diesbezüglich einbezogen:

1. **BIP pro Kopf⁵⁵**: Das Bruttoinlandsprodukt wird als Maß für wirtschaftliche Tätigkeit herangezogen. Für eine bessere Vergleichbarkeit wird es im Verhältnis zur durchschnittlichen Bevölkerung (pro Einwohner) betrachtet sowie in Kaufkraftstandards (KKS) ausgedrückt, um Preisunterschiede zwischen Ländern auszugleichen.
2. **Mobilfunkumsätze pro Kopf⁵⁶**: Berücksichtigt die Endkundeneinnahmen aus der Bereitstellung von Mobilfunk-Kommunikationsdiensten während eines Jahres. Diese wird pro Kopf berechnet sowie entsprechend des Preisniveaus in dem jeweiligen Land bereinigt, um die Umsätze zwischen den Ländern vergleichbar zu machen. Die Umsätze sind US-Dollar angegeben.
3. **Paketpreis Endkunde 500 MB⁵⁷**: Erfasst je Land den Endkunden-Mobilfunkpaketpreis in einem Tarifpaket mit 500 MB. Alle Preise werden anhand des durchschnittlichen Jahreswechselkurses des IWF in US-Dollar und anhand

⁵² Eurostat (2019).

⁵³ Eurostat (2020c).

⁵⁴ Eurostat (2018).

⁵⁵ Eurostat (2020b).

⁵⁶ ITU (2019).

⁵⁷ ITU (2020a).

der Umrechnungsfaktoren der Weltbank in Kaufkraftparitäten (USD) umgerechnet, um die Vergleichbarkeit zwischen den Ländern sicherzustellen.⁵⁸

Anzumerken ist, dass länderübergreifende Daten zu Endkundenpreisen und Mobilfunkumsätze für die Stichjahre der 3G-Analyse nicht vorliegen. Somit konnten diese Faktoren bei der empirischen Rechnung für 3G nicht mit einfließen.

Frequenzvergaben:

Eine Auswirkung auf die Mobilfunkabdeckung können das Vergabegahr sowie die erzielten Frequenzerlöse haben. Diese Variablen fließen daher ebenfalls in die Analyse ein.

1. **Vergabegahr:** Jahr, in welchem die Frequenzvergabe für 2100 MHz (3G) bzw. 800 MHz (4G) stattgefunden hat. Damit soll überprüft werden, ob Länder, in denen die Frequenzen früh vergeben wurden über eine bessere Mobilfunkabdeckung verfügen.
2. **Frequenzerlöse pro Kopf⁵⁹:** Für ein Sample von 15 Ländern werden zudem die Preise pro MHz pro Einwohner berechnet, welche im Rahmen der 800-MHz-Frequenzvergabe von den Mobilfunknetzbetreibern gezahlt wurden (in Euro). Anzumerken ist, dass diese Variable ausschließlich in die 4G-Analyse einfließt, da für die UMTS-Vergabe (2100 MHz) keine ausreichenden Daten vorlagen.

3.2 Methodik

3.2.1 Vorgehensweise Untersuchungsansatz

Für die Beantwortung der Frage nach dem Einfluss von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung in den EU-Mitgliedstaaten wird die multiple lineare Regression (MLR) herangezogen. Ziel dieser Methode ist es, die abhängige Variable (Mobilfunkabdeckung) mit unabhängigen Variablen zu erklären. Der Einfluss der Versorgungsauflagen (als unabhängige Variable) auf die Mobilfunkabdeckung steht dabei im Mittelpunkt der Untersuchung. Neben den Versorgungsauflagen wird eine Vielzahl weiterer unabhängiger Variablen als mögliche Erklärungsfaktoren, wie zum Beispiel das BIP pro Kopf, die Bevölkerungsdichte oder die Mobilfunkumsätze, berücksichtigt. Die MLR ermöglicht es, mehrere unabhängige Variablen konstant zu halten, um den Einfluss einer Variable auf die abhängige Variable zu schätzen. Dazu wird bei der MLR die Methode der gewöhnlichen kleinsten Quadrate angewendet, um die jeweilige multiple Regression zu schätzen. So wird jeweils der konkrete Effekt einer unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable geschätzt, während alle anderen unabhängigen Variablen fixiert

⁵⁸ ITU (2020b).

⁵⁹ Ofcom (2014).

bleiben.⁶⁰ Damit wird vermieden, dass der geschätzte Effekt durch andere Faktoren, wie beispielsweise Unterschiede bei der Bevölkerungsdichte, beeinflusst wird.

Es wird für jedes Jahr des jeweiligen Betrachtungszeitraumes⁶¹ eine einzelne Regressionsgleichung aufgestellt, auch um Veränderungen der Effekte im Zeitverlauf darstellen zu können. Im Falle der 3G-Mobilfunkabdeckung werden die Jahre 2008 bis 2010 untersucht. Für die Analyse der 4G-Mobilfunkabdeckung erfolgt die Untersuchung für die Jahre 2015 bis 2018. Die jährliche Regression des Betrachtungszeitraumes erlaubt eine Aussage über die Entwicklung des Einflusses der Versorgungsauflagen nach einer gewissen Zeit. Gleichzeitig dient die separate Regression, im Unterschied zur Panel-Analyse⁶², über die Jahre hinweg dazu, nichtverzerrte Koeffizienten zu schätzen, da eine Autokorrelation verhindert wird. Wenn die Zeitdimension, wie bei der Panel-Analyse, Teil der Regression wäre, würde der Stand des jeweiligen Netzausbaus eines Landes einen erheblichen Erklärungsgehalt der Abdeckung der nächsten Jahre darstellen und somit die anderen Koeffizienten verzerren. Ein weiteres Problem der Panel-Analyse wäre, dass unabhängige Variablen, wie das BIP pro Kopf oder die Versorgungsauflagen, die sich kaum oder gar nicht im Zeitverlauf verändern, als Erklärungsgehalt für die sich im Zeitverlauf verändernde Mobilfunkabdeckung dienen würden.

Die MLR von Länderquerschnitten verschiedener Stichjahre erlaubt Auswirkungen von Versorgungsauflagen und weitere unabhängige Variablen, wie geographische oder demographische Gegebenheiten, die je nach Land sehr unterschiedlich ausfallen, zu untersuchen. Das heißt, der Einfluss einer Variable (wie z. B. der Versorgungsauflage) auf die Mobilfunkabdeckung wird immer unter Konstanthaltung der anderen unabhängigen Variable berechnet.

Aufgrund der begrenzten Stichprobengröße, die durch die Anzahl der Mitgliedstaaten der EU determiniert ist ($N_{\max}=28$), kann nur eine begrenzte Anzahl an unabhängigen Variablen in jede Regressionsgleichung aufgenommen werden.⁶³ In Länderanalysen wird diesem „natürlichen“ Problem oft entgegengewirkt, indem eine zeitliche Dimension (T) eingeführt und somit die Anzahl der Beobachtungen schnell erhöht werden kann ($N \times T$).⁶⁴ Dies ist aus den oben beschriebenen Gründen (Autokorrelation und über die Zeit fixe Variablen wie BIP pro Kopf, Bevölkerungsdichte oder Anzahl ländlicher Regionen) jedoch nicht möglich. Auf Basis von zahlreichen Diskussionen zur Trennschärfe⁶⁵ werden in dieser Studie nicht alle unabhängigen Variablen gleichzeitig betrachtet. Stattdessen werden unterschiedliche Kombinationen von Variablen geschätzt. Da die Beobach-

⁶⁰ Wooldridge (2016).

⁶¹ Für 3G: 2008-2011 und für 4G: 2015-2018.

⁶² Ein Länderquerschnitt ($N \times 1$) betrachtet unterschiedliche Länder ($N > 1$) zu einem einzigen Zeitpunkt ($T=1$). In einem Panel ($N \times T$) hingegen werden unterschiedliche Länder zu mehreren Zeitpunkten ($T > 1$) betrachtet.

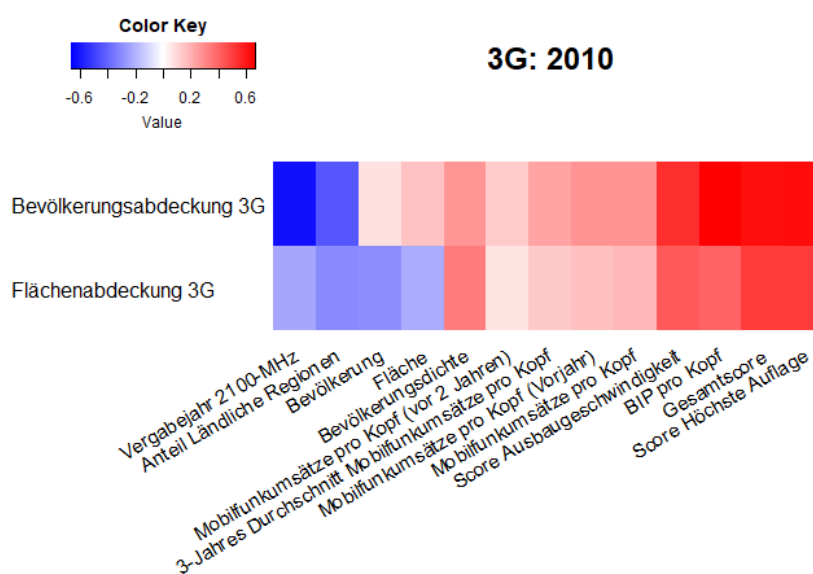
⁶³ Dadurch sind die in dieser Studie verwendeten empirischen Modelle sensibel gegenüber Ausreißern beziehungsweise kann eine Überanpassung (overfitting) der Modelle nicht komplett ausgeschlossen werden.

⁶⁴ Siehe Schularick und Taylor (2012) oder Hayo (1999).

⁶⁵ Siehe Cohen (1988) und Green (1991).

tungszahl gleich der Gesamtpopulation (alle EU-Länder) ist, und der erwartete Effekt als groß angenommen werden kann, wird eine Kombination aus maximal drei unabhängigen Variablen erlaubt.⁶⁶ Für die Auswahl der Kombinationen von unabhängigen Variablen wird im ersten Schritt sowohl für 3G als auch für 4G eine Korrelationsmatrix herangezogen. Mit Hilfe einer solchen Korrelationsmatrix konnten vereinfachte Zusammenhänge zwischen unabhängiger und abhängiger Variable ermittelt werden (siehe Abbildung 13). Auf Basis dieser Zusammenhänge wurden entsprechend die unabhängigen Variablen für die Regressionsanalysen miteinander kombiniert.

Abbildung 13: Korrelationskoeffizienten 3G



Quelle: WIK.

Die roten Felder in Abbildung 13 stellen einen positiven Korrelationswert zwischen der unabhängigen Variable und der abhängigen Variable (Mobilfunkabdeckung) dar, wobei dieser Einfluss umso größer ist, je dunkler die Farbdarstellung ist. Beispielsweise ist die Mobilfunkabdeckung umso größer, je höher das BIP pro Kopf eines Landes ist (positiver Zusammenhang = rot). Im Gegenteil dazu stellen blaue Felder einen negativen Korrelationswert dar. Die Mobilfunkabdeckung ist umso geringer, je größer die ländliche Fläche eines Landes ist (negativer Zusammenhang = blau). Bereits anhand dieser sehr vereinfachten Darstellung zeigt sich, dass es einen starken Zusammenhang zwischen den Versorgungsauflagen und der Mobilfunkabdeckung zu geben scheint, was anhand der Regressionsanalyse in der Folge weiter überprüft wird. Vergleichbar dazu wurde auch eine Korrelationsmatrix für 4G erstellt (siehe Anhang 3). Diese ersten Indikatoren sollen folgend mit den dargestellten Regressionsgleichungen überprüft und die jeweili-

⁶⁶ Diese Begrenzung könnte eine Verzerrung durch ausgelassene Variablen verursachen (omitted-variable bias).

gen Effekte geschätzt werden. Die Ergebnisse der Regressionen werden zusätzlich mit qualitativen Analysen einzelner Länder komplementiert.

3.2.2 Modellgleichungen 3G

Wie bereits erläutert, ist die Erklärung der Unterschiede der tatsächlichen Mobilfunkabdeckung in den EU-Mitgliedstaaten vielschichtig. In der Folge werden eine Reihe von Modellgleichungen dargestellt, die überprüfen, welche Variablen einen Erklärungsbeitrag leisten. Dabei werden die Versorgungsaufgaben als erklärende Variable in Kombination mit weiteren unabhängigen Variablen stets berücksichtigt. Die weiteren Variablen sind zunächst so gewählt, dass jeweils eine Demographie-/Topographie-Variable und eine Variable, welche die Wirtschaftskraft widerspiegelt, Teil des Modells sind. Für jedes Stichjahr im Zeitraum 2008-2011 wird eine separate Berechnung erstellt. Tabelle 3 zeigt die Auswahl an Kombinationen, bei denen der Effekt der unabhängigen Variablen auf die Mobilfunkabdeckung repräsentativ für andere Kombinationen ist.

Tabelle 3: Ausgewählte Kombinationen der unabhängigen Variablen für 3G-Mobilfunkabdeckung

	Jeweils für die Jahre 2008 bis 2010/2011 und jeweils für die abhängigen Variablen Bevölkerungsabdeckung 3G und Flächenabdeckung 3G			
	Modell 1a	Modell 1b	Modell 1c	Modell 1d
Gesamtscore Auflagen	✓	✓	✓	✓
BIP pro Kopf	✓		✓	✓
Anteil Ländliche Regionen	✓			
Bevölkerungsdichte		✓		
Mobilfunksätze pro Kopf (Vorjahr)		✓	✓	
Vergabegahr (2100 MHz)				✓

Quelle: WIK.

Modell 1a geht der Forschungsfrage nach, welchen Erklärungsgehalt der Umfang von Versorgungsaufgaben für die Unterschiede der 3G-Mobilfunkabdeckung in den EU-Mitgliedstaaten unter Berücksichtigung des Anteils der Bevölkerung in ländlichen Regionen sowie dem jeweiligen BIP pro Kopf liefert. Beispielhaft für Modell 1a lautet die entsprechende Modellgleichung wie folgt:

$$\begin{aligned}
 & \text{Bevölkerungsabdeckung } 3G_i \\
 & = \beta_0 + \beta_1 \text{Gesamtscore Auflagen } 2100 \text{ MHz}_i \\
 & + \beta_2 \text{Anteil Ländliche Regionen}_i + \beta_3 \text{BIP pro Kopf}_i + u_i
 \end{aligned}$$

Entsprechend erfolgt die Berechnungen für die Modelle 1b bis 1d mit unterschiedlichen Variablen. Gleichzeitig werden die vier dargestellten Modelle zur zusätzlichen Kontrolle auch in Bezug auf die prozentuale Flächenabdeckung in den Ländern hin überprüft.

3.2.3 Modellgleichungen 4G

Aufgrund der besseren Datenlage in den vergangenen Jahren konnten bei der Analyse der 4G-Mobilfunkabdeckung mehr Variablen berücksichtigt werden als bei 3G. Neben der Bevölkerungsabdeckung wird auch die Abdeckung der Bevölkerung in ländlichen Regionen untersucht. Dies hängt damit zusammen, dass bei 4G deutlich spezifischere Auflagen (generell für ländliche und/oder unterversorgte Gebiete) implementiert wurden. Die ersten vier Modellgleichungen sind hinsichtlich der unabhängigen Variablen identisch zur Vorgehensweise bei 3G, um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Zusätzlich werden bei 4G auch mögliche Einflüsse der Frequenzpreise, der Endkundenpreise sowie der Vorgaben für den spezifischen Ausbau ländlicher Regionen untersucht (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Ausgewählte Kombinationen der unabhängigen Variablen für 4G-Mobilfunkabdeckung

	Jeweils für die Jahre 2015 bis 2018 und jeweils für die abhängigen Variablen Bevölkerungsabdeckung 4G und 4G Abdeckung im ländlichen Raum					
	Modell 2a	Modell 2b	Modell 2c	Modell 2d	Modell 2e	Modell 2f
Gesamtscore Auflagen	✓	✓	✓	✓	✓	✓
BIP pro Kopf	✓		✓	✓	✓	
Anteil Ländliche Regionen	✓					
Bevölkerungsdichte		✓				
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)		✓	✓			
Vergabejahr (800 MHz)				✓		
Preis MHz pro Kopf 800 MHz					✓	
Preis Endkunde						✓
Vorgabe Ländliche Region						✓

Quelle: WIK.

3.3 Ergebnisse und Interpretation

3.3.1 Übersicht zentrale Ergebnisse

- Die **Reichweite der Versorgungsauflagen** (Gesamtscore Auflagen) hat in nahezu jedem Modell einen positiven signifikanten Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung sowohl bei 3G als auch bei 4G. Es zeigt sich jedoch, dass dieser Einfluss bei 3G stärker auftritt und der absolute Wert des Koeffizienten kleiner wird, je weiter das Betrachtungsjahr von der Frequenzvergabe entfernt ist.
- Der **Anteil ländlicher Regionen** ist sowohl bei der 3G als auch bei der 4G kein Erklärungsfaktor für Unterschiede in der Mobilfunkabdeckung.
- Das **BIP pro Kopf** hat in der Mehrzahl der Modelle einen positiven signifikanten Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung beider Generationen.
- Bei der Betrachtung der **Bevölkerungsdichte** als erklärende Variable ist der Effekt nicht eindeutig. Insgesamt lässt sich bei einem Ländervergleich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Mobilfunkabdeckung feststellen.
- Der **Einfluss des Vergabjahres** für die 2100-MHz-Frequenzen (3G) bzw. 800-MHz-Frequenzen (4G) lässt sich quantitativ nicht eindeutig nachweisen. Einzig im Jahr 2010 ist der Einfluss des Vergabjahres für UMTS negativ signifikant, d. h. je später die Frequenzen vergeben wurden, umso schlechter ist die 3G-Abdeckung. Dieser Effekt lässt sich in den anderen Jahren nicht zeigen, auch nicht bei 4G.
- Die für 4G zusätzliche Variable **Vorgabe für Ländliche Regionen** weist keinen statistisch signifikanten Einfluss auf.
- Gleiches gilt auch für die **Mobilfunkumsätze pro Kopf** des Vorjahres sowie **Endkundenpreise**.

3.3.2 Ergebnisse und Interpretation 3G

3.3.2.1 Modell 1a (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, BIP pro Kopf, Anteil Bevölkerung in ländlichen Regionen):

Anhand des ersten Modells (siehe Tabelle 5) zeigt sich, dass sowohl die Versorgungsauflagen als auch das BIP pro Kopf einen Einfluss auf die prozentuale 3G-Mobilfunkabdeckung der Bevölkerung haben. In den jeweiligen Berechnungen wurden nahezu immer alle 28 EU-Mitgliedstaaten berücksichtigt (N=28). So haben beispiels-

weise die Auflagen für das Betrachtungsjahr 2008 einen positiv statistisch signifikanten Einfluss auf die Abdeckung auf einem 95 %-Konfidenzintervall. Das heißt, je höher die Auflagen in einem Land waren, desto höher war auch die prozentuale Bevölkerungsabdeckung mit 3G. Dieser positiv statistisch signifikante Effekt zeigt sich auch für die Jahre 2009 und 2010, wobei der absolute Wert der Koeffizienten im Verlauf von 2008 bis 2010 kleiner wird. Dies lässt vermuten, dass der Einfluss der Versorgungsaufgaben vor allem am Anfang des Ausbaus des 3G-Netzes einen höheren Effekt auf den Fortschritt der Mobilfunkabdeckung hat. Weiter zeigen die Berechnungen, dass auch das BIP pro Kopf als unabhängige Variable für die 3G-Abdeckung für die Jahre 2008 bis 2010 statistisch signifikant ist. Der positive Koeffizient bedeutet, dass Länder, die ein höheres BIP pro Kopf haben, auch eine bessere Mobilfunkabdeckung haben. Nicht quantitativ erklären lässt sich hingegen die Mobilfunkabdeckung mit dem Anteil der Bevölkerung in ländlichen Regionen. So ist der Koeffizient zwar negativ, was bedeutet, dass je höher der Anteil der in ländlichen Regionen lebenden Bevölkerung ist, desto niedriger ist auch die Abdeckung mit 3G in dem jeweiligen Land. Jedoch sind die entsprechenden Koeffizienten zu keinem Betrachtungsjahr signifikant. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass in der vorliegenden Analyse Länderdaten miteinander verglichen werden. Auf der Basis einer kleinteiligeren territorialen Klassifizierung innerhalb eines Landes wird man vermutlich feststellen, dass es einen negativen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Anteil der Bevölkerung in ländlichen Regionen und der Mobilfunkabdeckung gibt. In Bezug auf die regionale Verfügbarkeit von UMTS ist hier zu beachten, dass UMTS überwiegend mit Kapazitätsfrequenzen oberhalb von 1 GHz realisiert wird. Wollte ein Mobilfunknetzbetreiber mit diesen Frequenzen eine Flächenabdeckung erzielen, müsste der im Vergleich zum Einsatz von Frequenzen unterhalb von 1 GHz, dem sogenannten Flächenspektrum, deutlich mehr Basisstationen errichten, womit deutlich höhere Kosten verbunden sind.⁶⁷

Für das Betrachtungsjahr 2011 zeigen sich hingegen keinerlei signifikanten Effekte der berücksichtigten unabhängigen Variablen auf die 3G-Mobilfunkabdeckung. Dies kann damit erklärt werden, dass zu diesem Zeitpunkt die Unterschiede in der 3G-Mobilfunkabdeckung zwischen den Ländern nur noch sehr gering sind. Die fehlenden Unterschiede in der abhängigen Variable (Mobilfunkabdeckung) lassen sich nicht durch Unterschiede in den unabhängigen Variablen erklären.

Zur Überprüfung der Ergebnisse wurden auch Berechnungen durchgeführt, welche als abhängige Variable die prozentuale Flächenabdeckung mit 3G in den Ländern berücksichtigen. Dabei sind die Ergebnisse für Modellgleichung 1a vergleichbar (siehe Anhang 4).

⁶⁷ Vgl. dazu Stumpf et al. (2005).

Tabelle 5: Ergebnisse Modell 1a

	2008	2009	2010	2011
Gesamtscore Auflagen	0,2284 ** (0,0879)	0,2006 ** (0,0792)	0,1018 *** (0,0352)	0,0165 (0,0221)
BIP pro Kopf (in 1.000)⁶⁸	0,0111 *** (0,0037)	0,0081 ** (0,0035)	0,0049 *** (0,0015)	0,0015 (0,0010)
Anteil Ländliche Regionen	-0,0023 (0,0022)	-0,0020 (0,0021)	-0,0006 (0,0009)	0,0002 (0,0006)
N	27	28	28	28
R2	0,5469	0,4650	0,5427	0,1231
Adj R2	0,4878	0,3982	0,4855	0,0135
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.2.2 Modell 1b (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, Bevölkerungsdichte, Mobilfunkumsätze pro Kopf):

Auch im Zusammenhang mit den unabhängigen Variablen Bevölkerungsdichte und Mobilfunkumsätze in den entsprechenden Ländern (siehe Tabelle 6) zeigt sich, dass die Auflagen in den Jahren 2008 bis 2010 einen positiv statistisch signifikanten Einfluss auf die 3G-Abdeckung haben. Vergleichbar zum vorherigen Modell lässt dieser Einfluss anhand der Koeffizienten im Zeitverlauf absolut gesehen nach. Ebenso lassen sich im Jahr 2011 die Unterschiede anhand des Modells nicht mehr signifikant erklären.

Die These, dass Länder, in denen die Bevölkerungsdichte geringer ist, auch eine schwächere Mobilfunkabdeckung haben könnten, lässt sich anhand des Modells nicht bestätigen. Dies ist, wie beim Anteil der Bevölkerung in ländlichen Regionen, darauf zurückzuführen, dass wir Länderdaten miteinander vergleichen. Bei einer Betrachtung innerhalb der einzelnen Länder bzw. auf Basis regionaler/lokaler Daten ist anzunehmen, dass ein positiver Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsdichte und der Mobilfunkabdeckung besteht. Auf Länderebene zeigt auch eine qualitative Betrachtung (siehe Anhang 9 für eine grafische Darstellung), dass, abgesehen von Malta, kein Zusammenhang beider Variablen sichtbar wird. Finnland und Schweden zum Beispiel haben beide eine sehr niedrige Bevölkerungsdichte und lagen dennoch bei der 3G-Mobilfunkabdeckung der Bevölkerung auf Rang 1 beziehungsweise auf Rang 4. Gleichzeitig ist in Großbritannien, Deutschland und Italien der gegenteilige Effekt sichtbar, d. h. die Bevölkerungsdichte ist höher als in den skandinavischen Ländern, die 3G-Mobilfunkabdeckung allerdings deutlich geringer.

⁶⁸ Das BIP pro Kopf wurde in der Folge bei allen Ergebnistabellen aus Darstellungsgründen mit dem Faktor 1000 multipliziert. Das bedeutet für die Interpretation der Koeffizienten immer: Wenn das BIP/Kopf um 1000 steigt, steigt die Mobilfunkabdeckung c.p. um x %.

Die Mobilfunkumsätze des Vorjahres haben hingegen in den Jahren 2008 und 2010 in dieser Modellkonstellation einen positiv statistisch signifikanten Einfluss. Das bedeutet, dass der Ausbau auch von den zu erzielenden Umsätzen der Mobilfunknetzbetreiber in dem jeweiligen Land abhängt. Auffällig ist, dass der Anteil des Erklärungsgehalts der 3G-Mobilfunkabdeckung, ausgedrückt durch das Adjusted R2, in Modell 1b deutlich geringer ist, als es noch bei Modell 1a der Fall war. Das heißt, durch Weglassen einiger Variablen aus Modell 1a ist ein erheblicher Teil des Erklärungsgehalts entfallen. In einem weiteren Modell erfolgt eine erneute Kombination an unabhängigen Variablen. Demnach wurde zur Überprüfung der in Modell 1b gefundenen Effekte ein weiteres Modell mit einer neuen Kombination an unabhängigen Variablen herangezogen (siehe Modell 1c).

Tabelle 6: Ergebnisse Modell 1b

	2008	2009	2010	2011
Gesamtscore Auflagen	0,2871 ** (0,1076)	0,2354 ** (0,0955)	0,1278 *** (0,0434)	0,0112 (0,0239)
Bevölkerungsdichte 2010 (in 1.000)⁶⁹	0,1042 (0,1885)	0,0625 (0,1702)	-0,0032 (0,0780)	0,0265 (0,0430)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	0,0006 * (0,0004)	0,0002 (0,0003)	0,0003 * (0,0002)	-0,0000 (0,0001)
N	27	28	28	28
R2	0,3610	0,2646	0,3544	0,0467
Adj R2	0,2777	0,1727	0,2737	-0,0724
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.2.3 Modell 1c (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, BIP pro Kopf, Mobilfunkumsätze pro Kopf):

Tabelle 7 bestätigt in Bezug auf den Effekt der Versorgungsauflagen auf die 3G-Abdeckung die Ergebnisse aus den vorherigen Berechnungen. So haben die Auflagen einen positiv signifikanten Effekt auf die 3G-Mobilfunkabdeckung. Gleiches gilt für den Einfluss des BIPs pro Kopf. Modell 1c zeigt, dass durch die Kontrolle des BIPs pro Kopf der Erklärungsgehalt (Adj R2) wieder vergleichbar zu den Ergebnissen aus Modellgleichung 1a ist. Das heißt, Unterschiede in der 3G-Mobilfunkabdeckung zwischen den Ländern lassen sich nicht signifikant über höhere oder niedrigere Mobilfunkumsätze erklären, sondern über Unterschiede die beim BIP pro Kopf bestehen. Identische Ergebnisse zeigen auch die Berechnungen unter Berücksichtigung der Flächenabdeckung (siehe Anhang 6).

⁶⁹ Die Bevölkerungsdichte wurde in der Folge bei allen Ergebnistabellen aus Darstellungsgründen mit dem Faktor 1.000 multipliziert, zur direkten Interpretation dieses Koeffizienten in Bezug auf die Mobilfunkabdeckung ist dies zu berücksichtigen.

Tabelle 7: Ergebnisse Modell 1c

	2008	2009	2010	2011
Gesamtscore Auflagen	0,2670 ***	0,2214 ***	0,1120 ***	0,0097
	(0,0847)	(0,0766)	(0,0338)	(0,0202)
BIP pro Kopf (in 1.000)	0,0116 ***	0,0101 ***	0,0049 ***	0,0023 **
	(0,0039)	(0,0035)	(0,0016)	(0,0010)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	0,0002	-0,0001	0,0001	-0,0002
	(0,0003)	(0,0003)	(0,0002)	(0,0001)
N	27	28	28	28
R2	0,5345	0,4489	0,5402	0,2049
Adj R2	0,4738	0,3800	0,4828	0,1055
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.2.4 Modell 1d (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, BIP pro Kopf, Vergabegahr 2100-MHz-Frequenznutzungsrechte):

Die Ergebnisse der Berechnungen von Modell 1d sind deutlich heterogener hinsichtlich des Einflusses der unabhängigen Variablen. So sind die Versorgungsauflagen nur für das Jahr 2010 signifikant, das BIP pro Kopf für die Jahre 2008 und 2009. Neu betrachtet wurde dabei die Variable des Vergabegahres der Frequenzrechte. Dabei zeigt sich für das Betrachtungsjahr 2010 ein negativ signifikanter Einfluss des Vergabegahres auf die 3G-Mobilfunkabdeckung. Das bedeutet für dieses Jahr: Je früher die Frequenzvergaben in den Ländern stattgefunden haben, desto höher war im Jahr 2010 die 3G-Abdeckung. Für die vorherigen Jahre ist dieser Einfluss jedoch nicht statistisch signifikant. Allerdings ist der Erklärungsgehalt (Adj R2) für das Betrachtungsjahr 2010 im Vergleich dieser Modellgleichung mit Abstand am höchsten. Dabei ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass die Stichprobengröße (N) im Vergleich zu den bisherigen drei Modellen etwas kleiner war, was das heterogenere Ergebnis erklären könnte.

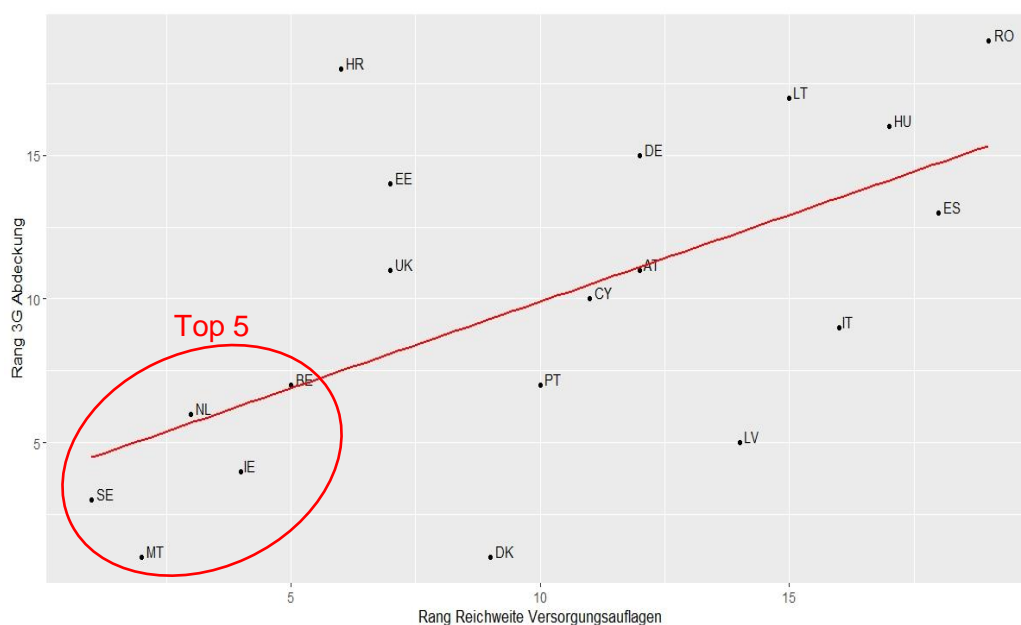
Tabelle 8: Ergebnisse Modell 1d

	2008	2009	2010	2011
Gesamtscore Auflagen	0,1314	0,1403	0,0936 **	0,0081
	(0,1091)	(0,1028)	(0,0366)	(0,0278)
BIP pro Kopf (in 1.000)	0,0262 **	0,0213 *	0,0015	0,0001
	(0,0108)	(0,0105)	(0,0037)	(0,0028)
Vergabegahr (2100 MHz)	0,0283	0,0334	-0,0202 *	-0,0069
	(0,0305)	(0,0303)	(0,0108)	(0,0082)
N	23	24	24	24
R2	0,5407	0,4340	0,6144	0,1278
Adj R2	0,4681	0,3491	0,5566	-0,0030
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

Die aufgeführten Regressionsanalysen haben durchweg einen positiv signifikanten Einfluss der Versorgungsauflagen auf die 3G-Mobilfunkabdeckung herausgestellt. Dieser Zusammenhang lässt sich auch vereinfacht anhand eines Streudiagramms darstellen. Dazu wurde eine Rangfolge der Länder bei der Reichweite der Versorgungsauflagen und eine Rangfolge bei der 3G-Mobilfunkabdeckung im Jahr 2010 erstellt. Abbildung 14 zeigt, dass Länder mit umfangreichen Versorgungsauflagen in der Regel auch eine höhere Mobilfunkabdeckung haben.

Abbildung 14: Zusammenhang Versorgungsauflagen und 3G-Mobilfunkabdeckung⁷⁰



Quelle: WIK.

3.3.3 Ergebnisse und Interpretation 4G

Um bei 4G eine einheitliche Vorgehensweise zu 3G zu gewährleisten, wurden zunächst die vier identischen Modellgleichungen wie bei 3G überprüft.⁷¹ Ergänzend dazu wurden aufgrund der besseren Datenlage weitere unabhängige Variablen (Endkundenpreise und MHz Preis pro Kopf) in die Analyse mit aufgenommen. Eine weitere Variable, die in die 4G-Analyse einfließt, bezieht sich auf die Vorgaben für den Mobilfunkausbau in ländlichen Regionen („Vorgabe ländliche Regionen“). Solche Auflagen wurden im Zuge der 800 MHz Frequenzvergaben auferlegt. Mit Hilfe dieser erweiterten Versorgungsauflage wird überprüft, ob diese Maßnahme ebenfalls ein Erklärungsfaktor für Unterschiede der Mobilfunkabdeckung, insbesondere jener in ländlichen Regionen, sein kann.

⁷⁰ Rote Linie zeigt linearen Zusammenhang zwischen Rang Reichweite Versorgungsauflagen und Rang 3G-Mobilfunkabdeckung. Rote Markierung zeigt Top 5 Rang Reichweite Versorgungsauflagen und Top 5 Rang 3G-Mobilfunkabdeckung sind deckungsgleich.

⁷¹ Siehe Modellgleichungen 2a bis 2d (3.3.2).

3.3.3.1 Modell 2a (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, BIP pro Kopf, Anteil ländliche Regionen):

Tabelle 9 zeigt, dass die Versorgungsauflagen in den Jahren 2015 und 2016 einen signifikant positiven Einfluss auf die Bevölkerungsabdeckung mit 4G hatten. Das BIP pro Kopf hat in diesen Jahren ebenfalls einen signifikanten Einfluss. Wie bei 3G lässt der absolute Effekt der Versorgungsauflagen sowie des BIP pro Kopf im Zeitverlauf nach. Die Versorgungsauflagen in den Jahren 2017 und 2018 haben dagegen keinen statistisch signifikanten Effekt mehr. Dies kann, wie bei der 3G-Analyse, damit zusammenhängen, dass die Unterschiede in der 4G-Mobilfunkabdeckung zwischen den Mitgliedstaaten in späteren Jahren nach der Frequenzzuteilung kleiner sind. Dies zeigt sich ebenso an dem sehr niedrigen Adjusted R2 für die Jahre 2017 und 2018.

Weiter lässt sich, wie schon bei der 3G-Analyse (Modell 1a, siehe Tabelle 5), statistisch nicht nachweisen, dass ein höherer Anteil an ländlicher Bevölkerung einen negativen Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung hat. Wie bereits bei 3G erwähnt, liegt das vermutlich an der Methodik, dass in der vorliegenden Analyse Länderdaten miteinander verglichen werden. Bei einer kleinteiligeren territorialen Klassifizierung wäre vermutlich ein signifikant negativer Einfluss zwischen Anteil ländlicher Bevölkerung und der 4G-Mobilfunkabdeckung feststellbar. Eine deskriptive Betrachtung zeigt, dass es zum einen einige Länder gibt, wie z. B. Dänemark, in denen ein hoher Anteil der Bevölkerung (33,3 %) in ländlichen Regionen lebt und die Mobilfunkabdeckung trotzdem sehr gut ist. Zum anderen gibt es gegenteilige Beispiele wie Großbritannien mit nur 12,5 % Bevölkerung in ländlichen Regionen, aber einer nur durchschnittlichen Mobilfunkabdeckung. Dass sich kein Zusammenhang zwischen beiden Variablen zeigen lässt, wird auch anhand von Anhang 7 deutlich.

Tabelle 9: Ergebnisse Modell 2a

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auflagen	0,1180 **	0,0715 **	0,0154	0,0074
	(0,0454)	(0,0260)	(0,0113)	(0,0047)
BIP pro Kopf 2015 (in 1.000)	0,0058 ***	0,0023 **	0,0007	-0,0001
	(0,0019)	(0,0011)	(0,0005)	(0,0002)
Anteil Ländliche Regionen	0,0006	-0,0006	-0,0001	-0,0002
	(0,0013)	(0,0007)	(0,0003)	(0,0001)
N	27	27	27	27
R2	0,4016	0,3804	0,1717	0,1461
Adj R2	0,3236	0,2996	0,0636	0,0347
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.3.2 Modell 2b (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, Bevölkerungsdichte, Mobilfunkumsätze pro Kopf):

Auch bei 4G bestätigt sich anhand von Modell 2b der signifikant positive Einfluss der Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung (siehe Tabelle 10). Allerdings ist im Unterschied zur Modellkonstellation bei 3G auch die Bevölkerungsdichte für die Jahre 2016-2018 positiv signifikant. Das bedeutet, je höher die Bevölkerungsdichte in einem Land ist, desto besser ist auch die Abdeckung. Es muss jedoch beachtet werden, dass der Erklärungsgehalt (Adj R2) des Modells 2b deutlich geringer ist als jener bei Modell 1b. Auch bei der Überprüfung des Einflusses der Bevölkerungsdichte auf die 4G-Mobilfunkabdeckung der Bevölkerung in ländlichen Gebieten bestätigt sich kein signifikanter Effekt (siehe Anhang 8).

Im Vergleich zu 3G gibt es bei der 4G-Mobilfunkabdeckung mehr Länder, bei denen eine niedrige Bevölkerungsdichte mit einer niedrigen 4G-Mobilfunkabdeckung (2018) einhergeht. Dazu zählen beispielsweise Zypern, Rumänien, Griechenland, Kroatien, Bulgarien, Litauen und Lettland. Dabei muss sowohl beachtet werden, dass die Abstände in der 4G-Mobilfunkabdeckung 2018 zwischen den Ländern recht klein waren als auch, dass es nach wie vor Gegenbeispiele (Schweden und Finnland) gibt, die trotz einer extrem niedrigen Bevölkerungsdichte ein sehr gutes 4G-Netz haben. Welchen Einfluss die Bevölkerungsdichte auf den Mobilfunkausbau hat lässt sich mit Hilfe der vorliegenden Analyse somit nicht zweifelsfrei bestimmen.

Tabelle 10: Ergebnisse Modell 2b

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auflagen	0,1159 *	0,0895 ***	0,0224 *	0,0109 **
	(0,0573)	(0,0288)	(0,0121)	(0,0047)
Bev.Dichte 2015 (in 1000)	0,0270	0,1173 **	0,0452 *	0,0206 **
	(0,1118)	(0,0566)	(0,0244)	(0,0095)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	0,0002	0,0001	-0,0000	-0,0000
	(0,0004)	(0,0002)	(0,0001)	(0,0000)
N	27	27	27	27
R2	0,1643	0,3329	0,1817	0,2441
Adj R2	0,0553	0,2458	0,0750	0,1455
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.3.3 Modell 2c (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, BIP pro Kopf, Mobilfunkumsätze pro Kopf):

Modell 2c, welches den Einfluss der Auflagen, des BIP und der Mobilfunkumsätze untersucht, kommt bei den Auswirkungen auf die 4G-Mobilfunkabdeckung zu vergleichba-

ren Ergebnisse wie bei 3G (siehe Tabelle 7). So bestätigt sich der positive Einfluss der Versorgungsauflagen und des BIP pro Kopf auf die 4G-Mobilfunkabdeckung der Bevölkerung. Ebenso bestätigt sich, dass es keinen statistisch signifikanten Effekt der Mobilfunkumsätze in dem jeweiligen Land auf die 4G-Mobilfunkabdeckung gibt (siehe Anhang 10).

Tabelle 11: Ergebnisse Modell 2c

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auflagen	0.1164 ** (0.0443)	0.0704 ** (0.0263)	0.0154 (0.0112)	0.0072 (0.0048)
BIP pro Kopf 2015 (in 1000)	0.0068 *** (0.0021)	0.0030 ** (0.0012)	0.0010 * (0.0005)	0.0000 (0.0002)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	-0.0005 (0.0004)	-0.0001 (0.0003)	-0.0001 (0.0001)	0.0000 (0.0000)
N	27	27	27	27
R2	0.4309	0.3671	0.1863	0.0897
Adj R2	0.3566	0.2845	0.0802	-0.0291
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.3.4 Modell 2d (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, BIP pro Kopf, Vergabegahr 2100 MHz-Frequenznutzungsrechte):

Die Ergebnisse von Modellgleichung 2d zeigen keinerlei signifikante Effekte (siehe Tabelle 12). Demnach ist insbesondere das Vergabegahr der 800-MHz-Frequenzen kein statistisch signifikanter Erklärungsfaktor für die Abdeckung mit 4G. Dass bei dieser Modell-Zusammenstellung auch keine Koeffizienten der Versorgungsauflagen beziehungsweise des BIP pro Kopfs signifikant sind, wird vermutlich damit zusammenhängen, dass die Stichprobengröße mit 21 Ländern deutlich kleiner ist als es in den bisherigen Modellen der Fall war. Dies spiegelt sich ebenso in einem durchweg niedrigen Adj R2 als Messgröße für den Anteil des Erklärungsgehaltes wider.

Tabelle 12: Ergebnisse Modell 2d

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auflagen	0,0657	0,0537	0,0183	0,0148
	(0,1057)	(0,0552)	(0,0266)	(0,0109)
BIP pro Kopf 2015 (in 1.000)	0,0033	0,0007	0,0001	-0,0004
	(0,0037)	(0,0019)	(0,0009)	(0,0004)
Vergabegahr (800 MHz)	-0,0152	-0,0140	-0,0064	-0,0017
	(0,0183)	(0,0096)	(0,0046)	(0,0019)
N	21	21	21	21
R2	0,1582	0,2051	0,1566	0,1629
Adj R2	0,0096	0,0649	0,0078	0,0152
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.3.5 Modell 2e (unabhängige Variablen: Versorgungsaufgaben, BIP pro Kopf, Preis pro MHz (800-MHz-Frequenzband)):

Modell 2e untersucht neben dem Einfluss der Versorgungsaufgaben und des BIP pro Kopf, inwiefern der zu zahlende Preis pro MHz pro Kopf im Rahmen der Frequenzvergaben von 800 MHz einen Einfluss auf die spätere 4G-Mobilfunkabdeckung hat. Die Ergebnisse zeigen, dass die Preisvariable für jedes Jahr einen negativen Koeffizienten hat (siehe Tabelle 13). Das heißt, je höher die Frequenzpreise pro MHz pro Kopf in der Vergabe sind, desto niedriger ist auch die 4G-Mobilfunkabdeckung der Bevölkerung. Statistisch signifikant ist dieser Koeffizient jedoch nur für das Jahr 2018.

Eine bivariate Betrachtung von 4G-Mobilfunkabdeckung (2018) und dem MHz-Preis pro Kopf ist in Anhang 11 dargestellt. Da der Preis pro MHz pro Kopf im 800-MHz-Frequenzband in Irland verhältnismäßig groß war (16,22 Euro/MHz pro Kopf versus 2,73 Euro/MHz pro Kopf im Durchschnitt in den restlichen 13 Ländern) und Irland im Jahr 2017 den letzten Platz im 4G-Mobilfunkausbau belegt (aus der Teilstichprobe von 14 Ländern), wird der Anstieg der Trendlinie stark von diesem Ausreißer beeinflusst. Mit Irland ist der Anstieg der Trendlinie negativ, was eine schlechtere Abdeckung bei höheren Frequenzpreisen impliziert. Ohne den Ausreißer scheint der Zusammenhang umgedreht. Die grafische Analyse zeigt zudem, dass durch die fehlende ausreichende Variation in den Frequenzpreisen keine Vorhersagen getroffen werden können, da die Punkte nicht um die Trendlinie herum liegen, sondern auf einen Punkt konzentriert sind (siehe Anhang 11). Somit ist der in Modell 2e (Tabelle 13) geschätzte negative Zusammenhang der Variable Preis MHz pro Kopf nicht robust unter dem Ausschluss eines einzelnen Ausreißers.

Tabelle 13: Ergebnisse Modell 2e

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auflagen	0,0574	0,0925 ***	0,0208 *	0,0211 ***
	(0,0514)	(0,0285)	(0,0101)	(0,0060)
BIP pro Kopf 2015 (in 1.000)	0,0053	0,0027	0,0004	-0,0001
	(0,0031)	(0,0017)	(0,0006)	(0,0004)
Preis MHz pro Kopf 800 MHz	-0,0049	-0,0030	-0,0010	-0,0017 **
	(0,0063)	(0,0035)	(0,0012)	(0,0007)
N	14	14	14	14
R2	0,3366	0,6139	0,3419	0,6052
Adj R2	0,1376	0,4981	0,1445	0,4868
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

3.3.3.6 Modell 2f (unabhängige Variablen: Versorgungsauflagen, Endkundenpreis, Vorgabe ländliche Region):

Modell 2f untersucht neben dem Einfluss der Versorgungsaufgabe, ob die Höhe der Endkundenpreise in den betrachteten Ländern einen Einfluss auf die 4G-Mobilfunkabdeckung haben und inwiefern Vorgaben für die Abdeckung ländlicher Regionen den Ausbau beeinflussen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei beiden unabhängigen Variablen unter Konstant-Haltung der jeweils anderen Variablen kein statistisch signifikanter Effekt besteht (siehe

Tabelle 14). Identische Ergebnisse haben sich auch bei Berücksichtigung der Abdeckung der Bevölkerung in ländlichen Regionen mit 4G herausgestellt, die insbesondere für die Überprüfung der Auflagen speziell für diese Regionen interessant sind.

Eine Erklärung dafür könnte darin liegen, dass Länder ohne Versorgungsaufgaben für ländliche Gebiete ohnehin schon hohe allgemeine Versorgungsaufgaben implementiert haben (zum Beispiel Dänemark, Finnland, Großbritannien). Über alle EU-28 betrachtet, liegt die durchschnittliche Abdeckung ländlicher Regionen jener Länder ohne eine solche Vorgabe sogar höher als die durchschnittliche Abdeckung in Ländern mit einer solchen spezifischen Vorgabe. Eine andere Möglichkeit die Mobilfunkversorgung in ländlichen Gebieten zu verbessern ist es, Infrastruktur-Sharing zu unterstützen, sodass nur ein Anbieter in wirtschaftlich weniger attraktiven Gebieten ausbauen muss. Zu den Ländern, in denen Mobilfunknetzbetreiber Vereinbarungen über aktives Infrastruktur-Sharing sowie Spektrum-Sharing abgeschlossen haben, zählen Dänemark, Finnland, Frankreich, Polen und Schweden. ⁷² Diese fünf Länder lagen zum Zeitpunkt 2018 auch

⁷² BEREC (2018c).

bei der Abdeckung mit 4G der Bevölkerung ländlicher Gebiete auf den ersten fünf Plätzen.

Eine alleinige Betrachtung der 4G-Mobilfunkabdeckung und Endkundenpreise zeigt, wie stark sie sich unter den Ländern unterscheidet. Bei einer 4G-Mobilfunkabdeckung zwischen 97,5 % und fast 100 % variieren die Endkundenpreise zwischen USD 2,66 (Polen) und USD 28,49 (Belgien), sodass ein eindeutiger Trend nicht ersichtlich ist. Lediglich Ausreißer Zypern, mit relativ geringem Netzausbau und hohen Endkundenpreisen, verschiebt den Anstieg der Trendlinie ins Negative (vgl. grafische Darstellung in Anhang 12 und negativer Koeffizient von Preis Endkunde in

Tabelle 14).⁷³

Tabelle 14: Ergebnisse Modell 2f

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auflagen	0,1008 *	0,0604 *	0,0114	0,0060
	(0,0531)	(0,0317)	(0,0129)	(0,0050)
Preis Endkunde 500 MB (pppUSD)⁷⁴	-0,0091	-0,0018	-0,0006	
	(0,0053)	(0,0028)	(0,0011)	
Vorgabe ländliche Region (Ja/Nein)	0,0434	0,0285	0,0101	0,0036
	(0,0517)	(0,0307)	(0,0132)	(0,0048)
N	26	26	26	26
R2	0,2784	0,2303	0,1111	0,1075
Adj R2	0,1801	0,1253	-0,0101	0,0299
Standardfehler in Klammern *** p < 0,01; ** p < 0,05; * p < 0,1.				

Quelle: WIK.

4 Fazit

Abschließend bleibt festzuhalten, dass es kaum Studien gibt, die sich mit der quantitativen Analyse von Einflussfaktoren auf die Mobilfunkabdeckung befassen. Außerdem gibt es bislang keine quantitative Analyse, welche den Effekt von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung analysiert. In der vorliegenden Studie wurde ein Ansatz entwickelt, der es ermöglicht, den Effekt von Versorgungsauflagen auf die Mobilfunkabdeckung zu messen.

⁷³ Zusätzlich wurden die Jahre 2015 und 2016 betrachtet und zeigen ein ähnliches Bild. Bei Ausschluss von Zypern für 2017 ist die Trendlinie nahezu waagrecht.

⁷⁴ Für das Jahr 2018 lagen keine Daten über die Endkundenpreise vor.

Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen zeigen, dass Versorgungsauflagen einen durchweg positiv signifikanten Effekt auf die Mobilfunkabdeckung haben. Ein weiteres Ergebnis der Untersuchung besteht in der Erkenntnis, dass der Einfluss der Versorgungsauflagen in den ersten Jahren nach Vergabe der Frequenznutzungsrechte am stärksten auf die Mobilfunkabdeckung wirkt. Je weiter das untersuchte Betrachtungsjahr von der Frequenzvergabe entfernt ist, umso geringer ist der gemessene Effekt der Versorgungsauflage auf die Mobilfunkabdeckung. Ein nachvollziehbares Ergebnis, wenn man bedenkt, dass Versorgungsauflagen mit dem Ziel verbunden sind, möglichst zügig den Ausbau von Mobilfunknetzen voranzutreiben. Die beobachteten Ergebnisse beziehen sich auf die 3G-Mobilfunkabdeckung im Zusammenhang mit den Versorgungsauflagen des 2100-MHz-Frequenzbandes, welche Anfang der 2000er Jahre in Europa vergeben wurden. Außerdem beziehen sie sich auf die 4G-Mobilfunkabdeckung und die Versorgungsauflagen in dem 800-MHz-Frequenzband, welches ab 2010 in Europa vergeben wurde. Dabei sollte bei der Bewertung der quantitativen Ergebnisse jedoch berücksichtigt werden, dass das im Diskussionsbeitrag entwickelte Modell nur einen Ausschnitt der Wirklichkeit abbilden kann und einige Faktoren wie detaillierte Versorgungskriterien nicht berücksichtigt werden konnten. Dies hängt insbesondere mit der sehr heterogenen Ausgestaltung der Versorgungsauflagen in den EU-Mitgliedstaaten zusammen, die eine Vergleichbarkeit schwierig macht. Ebenso konnten umfassende Versorgungsauflagen über alle Frequenzbänder, die für den Mobilfunkausbau von 3G und 4G relevant sind, nicht vollständig betrachtet werden.

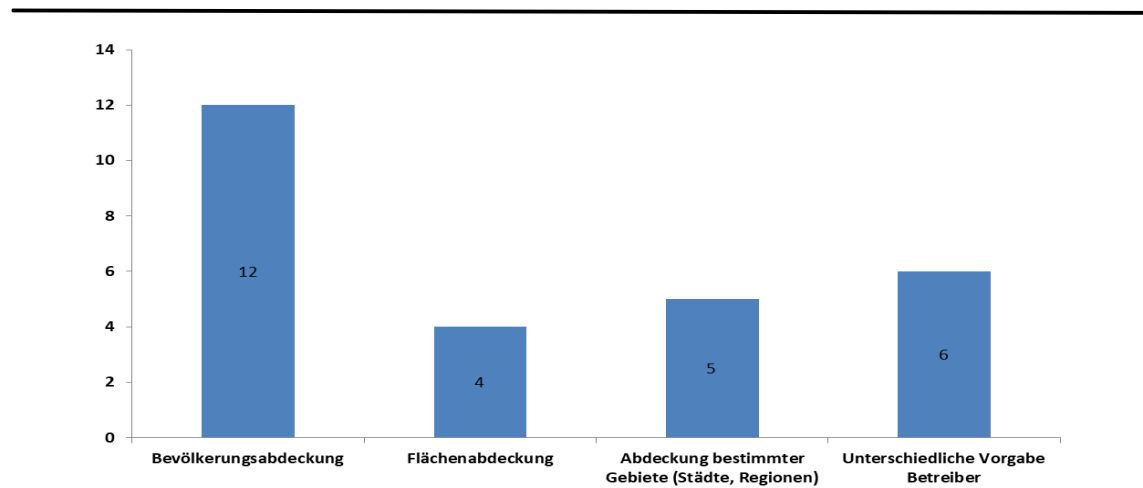
Neben dem Einfluss der Versorgungsauflagen wurde auch der Einfluss von Wirtschaftsfaktoren und demographischen Faktoren auf die Mobilfunkabdeckung untersucht. Im Ergebnis zeigt sich, dass das BIP pro Kopf eines Landes einen positiven Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung hat. Dies konnte sowohl bei der 3G- als auch bei der 4G-Mobilfunkabdeckung festgestellt werden. Je besser das Land wirtschaftlich aufgestellt ist, umso besser hat sich die Mobilfunkabdeckung entwickelt. Dagegen konnten bei anderen Wirtschaftsfaktoren, wie beispielsweise den Mobilfunkumsätzen pro Kopf oder dem Preisniveau für Mobilfunkdienste eines Landes (Endkundenpreise in Kaufkraftparitäten) und der Mobilfunkabdeckung kein Zusammenhang festgestellt werden.

Bei der Betrachtung der Bevölkerungsdichte als erklärende Variable ist der Effekt dagegen nicht eindeutig. Das liegt daran, dass in der vorliegenden Analyse Länderdaten miteinander verglichen werden. Entsprechend gibt es Länder mit einer niedrigen Bevölkerungsdichte, die eine hohe Mobilfunkabdeckung haben und Länder mit einer relativ hohen Bevölkerungsdichte und einer vergleichsweise niedrigen Mobilfunkabdeckung. Würde man den Einfluss der Bevölkerungsdichte auf die Mobilfunkabdeckung auf einer regionalen/lokalen Ebene analysieren, kommt man vermutlich zum Schluss, dass in Gebieten mit einer höheren Bevölkerungsdichte der Mobilfunkausbau schneller erfolgt und somit ein positiver, statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen beiden Variablen besteht. Im Ländervergleich sind es jedoch eher Wirtschaftlichkeitsfaktoren (BIP pro Kopf), die neben Versorgungsauflagen einen messbaren Einfluss auf die Mobilfunkabdeckung haben.

Mit Hilfe weiterer Daten wäre es möglich, die vorliegenden Analysen auszubauen und zu vertiefen. So könnte die Berücksichtigung der Mobilfunkabdeckung nach Anbieter und die bereits angesprochene kleinteiligere territoriale Klassifizierung genauere Ergebnisse und Erkenntnisse über die Einflussfaktoren des Mobilfunkausbaus liefern. Weiterführende Untersuchungen könnten auch den Ausbau von 5G und mögliche Einflüsse von in diesem Zusammenhang bestehenden Versorgungsverpflichtungen untersuchen. Für den Ausbau des 5G-Netzes wurden entsprechende Pionierbänder bereits festgelegt. Ebenso wäre es interessant, die quantitativen Ergebnisse mit der Frage der Verhältnismäßigkeit der Auflagen zu verbinden. Zukünftige Studien könnten daraus weitere Einblicke in die Wirkungsweise von Versorgungskriterien und speziell abgezielten Versorgungsauflagen gewinnen.

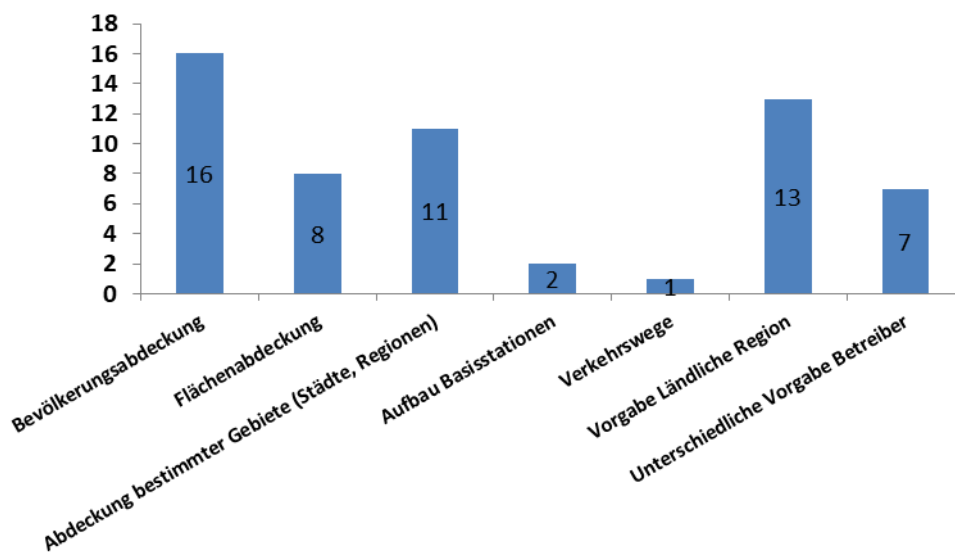
Anhang

Anhang 1: Nutzung unterschiedlicher Typen von Versorgungsauflagen bei 2100 MHz

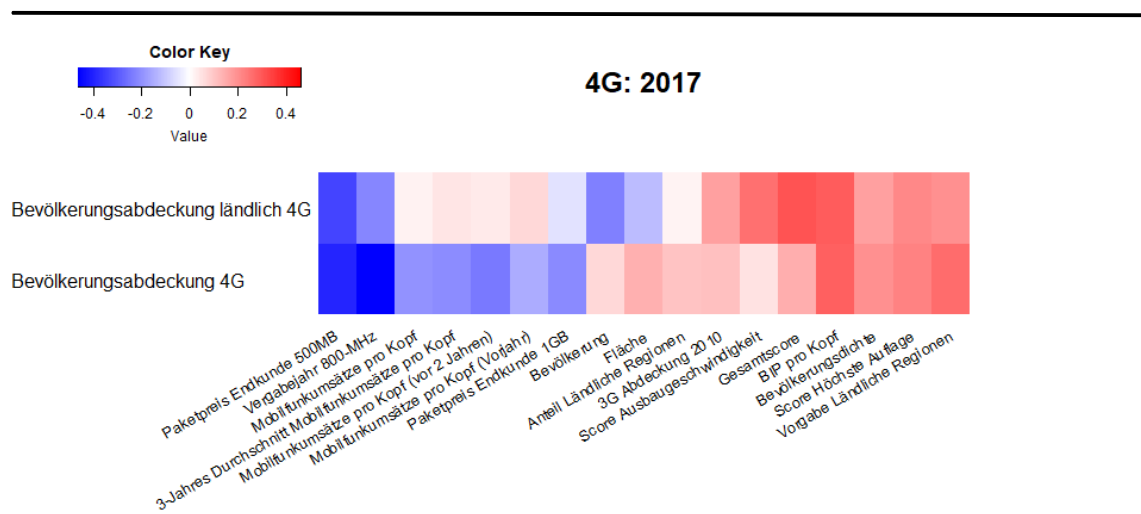


Quelle: WIK in Anlehnung an ECC (2015), Tabelle 1.

Anhang 2: Nutzung unterschiedlicher Arten von Versorgungsauflagen bei 800 MHz



Anhang 3: Korrelationskoeffizienten 4G



Quelle: WIK.

Anhang 4: Modell 1a unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Fläche mit 3G

	2008	2009	2010
Gesamtscore Auflagen	0.1658 *** (0.0466)	0.1142 ** (0.0468)	0.0851 ** (0.0405)
BIP pro Kopf (in 1000)	0.0100 ** (0.0044)	0.0140 *** (0.0045)	0.0043 (0.0038)
Anteil Ländliche Regionen	-0.0022 (0.0026)	-0.0005 (0.0027)	-0.0007 (0.0023)
N	25	26	25
R2	0.5795	0.4990	0.2872
Adj R2	0.5194	0.4306	0.1853

*** p < 0.01; ** p < 0.05; * p < 0.1.

Quelle: WIK.

Anhang 5: Modell 1b unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Fläche mit 3G

	2008	2009	2010
Gesamtscore Auflagen	0.1637 *** (0.0549)	0.1239 ** (0.0573)	0.0848 * (0.0422)
Bev.Dichte 2010	0.0003 (0.0002)	0.0002 (0.0002)	0.0001 (0.0002)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	0.0003 (0.0004)	0.0005 (0.0004)	0.0003 (0.0004)
N	25	26	25
R2	0.4706	0.2888	0.2715
Adj R2	0.3950	0.1918	0.1674

*** $p < 0.01$; ** $p < 0.05$; * $p < 0.1$.

Quelle: WIK.

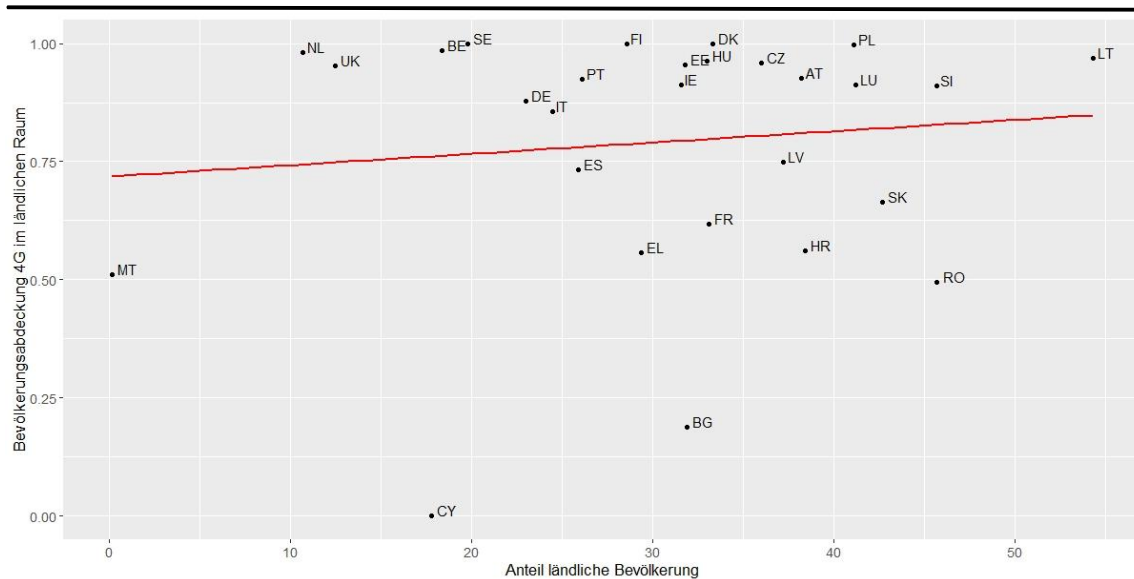
Anhang 6: Modell 1c unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Fläche mit 3G

	2008	2009	2010
Gesamtscore Auflagen	0.1803 *** (0.0448)	0.1147 ** (0.0444)	0.0911 ** (0.0382)
BIP pro Kopf (in 1000)	0.0116 ** (0.0044)	0.0152 *** (0.0048)	0.0041 (0.0043)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	-0.0000 (0.0004)	-0.0001 (0.0004)	0.0001 (0.0004)
N	25	26	25
R2	0.5650	0.5010	0.2861
Adj R2	0.5029	0.4330	0.1841

*** p < 0.01; ** p < 0.05; * p < 0.1.

Quelle: WIK.

Anhang 7: Grafische Darstellung des Zusammenhangs ländliche Bevölkerung und ländliche 4G-Mobilfunkabdeckung 2016



Hinweis: Rote Linie zeigt linearen Zusammenhang zwischen Anteil ländliche Bevölkerung und Bevölkerungsabdeckung.

Quelle: WIK.

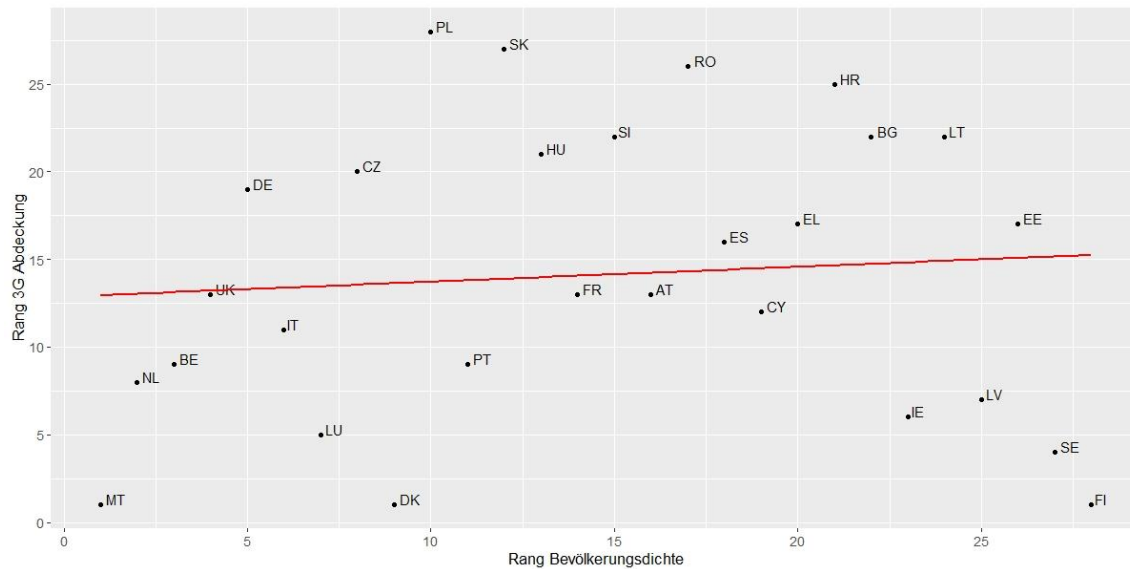
Anhang 8: Modell 2b unter Berücksichtigung der prozentualen Mobilfunkabdeckung der Bevölkerung in ländlichen Regionen

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auf- lagen	0.1364 (0.1542)	0.2488 ** (0.1075)	0.0948 ** (0.0395)	0.0375 * (0.0209)
Bev.Dichte 2015 (in 1000)	-0.2641 (0.3012)	0.0752 (0.2116)	0.0891 (0.0794)	0.0337 (0.0421)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	0.0007 (0.0012)	-0.0001 (0.0009)	0.0000 (0.0004)	-0.0002 (0.0002)
N	27	27	27	27
R2	0.0960	0.1962	0.2079	0.1672
Adj R2	-0.0219	0.0914	0.1046	0.0586

*** p < 0.01; ** p < 0.05; * p < 0.1.

Quelle: WIK.

Anhang 9: Grafische Darstellung des Zusammenhangs Bevölkerungsdichte und 3G-Mobilfunkabdeckung 2010



Hinweis: Rote Linie zeigt linearen Zusammenhang zwischen Rang Bevölkerung und Rang 3G Mobilfunkabdeckung.

Quelle: WIK.

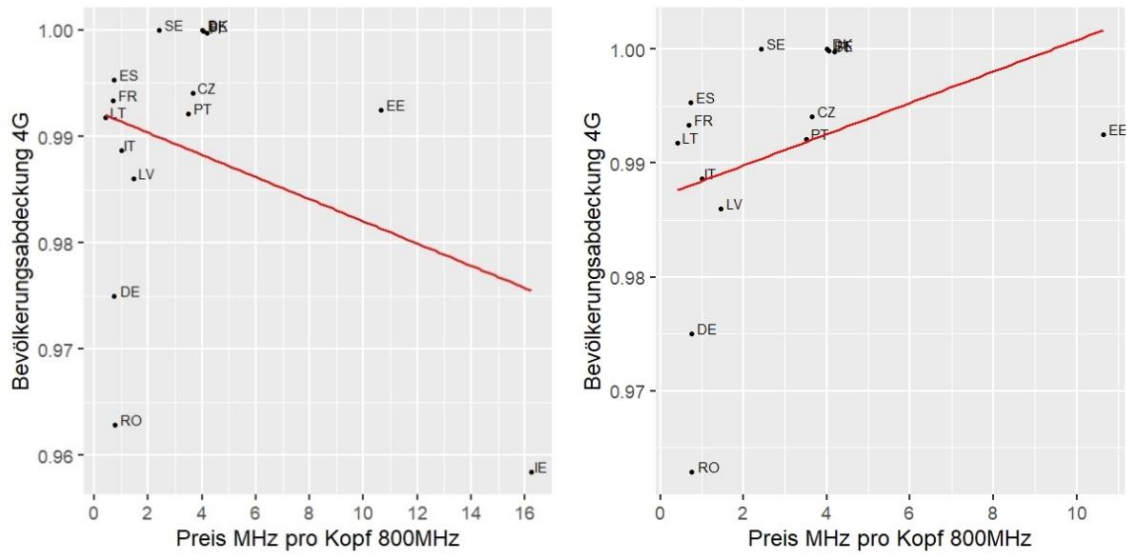
Anhang 10: Modell 3b

	2015	2016	2017	2018
Gesamtscore Auf- lagen	0.1164 ** (0.0443)	0.0704 ** (0.0263)	0.0154 (0.0112)	0.0072 (0.0048)
BIP pro Kopf 2015 (in 1000)	0.0068 *** (0.0021)	0.0030 ** (0.0012)	0.0010 * (0.0005)	0.0000 (0.0002)
Mobilfunkumsätze pro Kopf (Vorjahr)	-0.0005 (0.0004)	-0.0001 (0.0003)	-0.0001 (0.0001)	0.0000 (0.0000)
N	27	27	27	27
R2	0.4309	0.3671	0.1863	0.0897
Adj R2	0.3566	0.2845	0.0802	-0.0291

*** p < 0.01; ** p < 0.05; * p < 0.1.

Quelle: WIK.

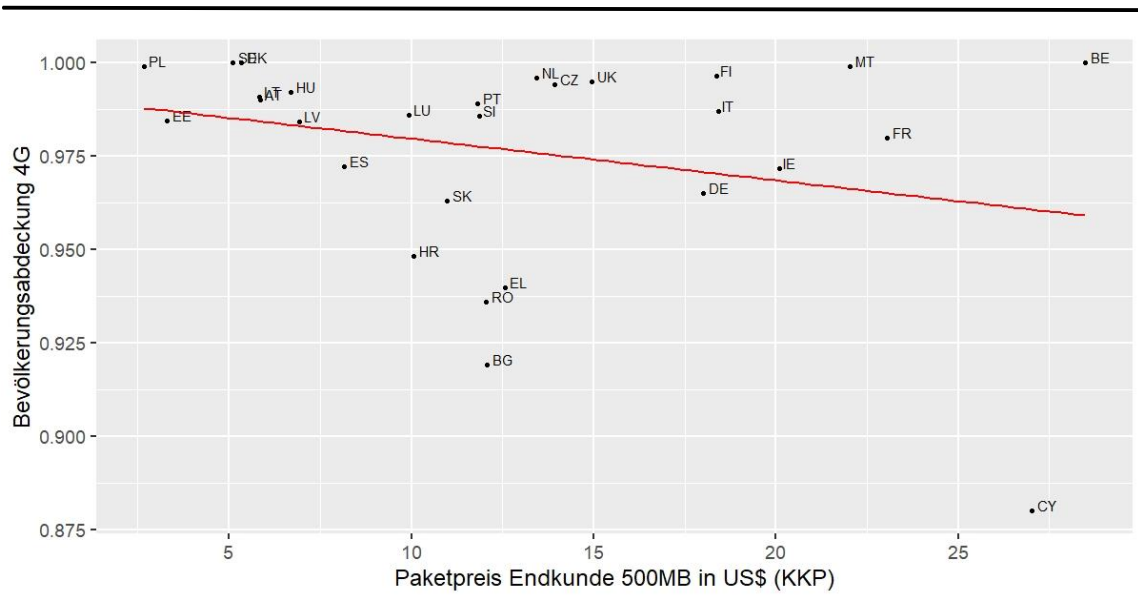
Anhang 11: 4G-Mobilfunkabdeckung (2018) und 800 MHz pro Kopf Frequenzpreise mit IE (links) und ohne IE (rechts)



Hinweis: Rote Linie zeigt linearen Zusammenhang zwischen Abdeckung und Paketpreis.

Quelle: WIK.

Anhang 12: 4G-Mobilfunkabdeckung und Endkundenpreise 2017



Hinweis: Rote Linie zeigt linearen Zusammenhang zwischen Abdeckung und Paketpreis.

Quelle: WIK.

Literaturverzeichnis

- Anacom (2013): Multi-band auction, abrufbar unter: <https://www.anacom.pt/render.jsp?categoryId=352976>, zuletzt abgerufen am: 31.08.2020.
- BEREC (2018a): BEREC report on practices on spectrum authorization, award procedures and coverage obligations with a view to considering their suitability to 5G (BoR (18) 235), abrufbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/8314-berec-report-on-practices-on-spectrum-au_0.pdf. Zuletzt abgerufen am: 10.03.2020.
- BEREC (2018b): Common Position on monitoring mobile coverage (BoR (18) 115), abrufbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/regulatory_best_practices/common_approaches_positions/8315-berec-common-position-on-information-to-consumers-on-mobile-coverage. Zuletzt abgerufen am: 10.03.2020.
- BEREC (2018c): BEREC Report on infrastructure sharing (BoR (18) 116), abrufbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/8164-berec-report-on-infrastructure-sharing, zuletzt abgerufen am: 7.07.2020.
- BEREC (2017a): Draft BEREC Preliminary report in view of a common position on monitoring mobile coverage (BoR (17) 186), abrufbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/download/0/7300-draft-berec-preliminary-report-in-view-o_0.pdf. Zuletzt abgerufen am: 10.03.2020.
- BEREC (2017b): BEREC and RSPG joint report on facilitating mobile connectivity in "challenge areas" (BoR (17) 256), abrufbar unter: https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/7574-berec-and-rspg-joint-report-on-facilitating-mobile-connectivity-in-challenge-areas. Zuletzt abgerufen am: 07.07.2020.
- BNetzA (2010): Präsidentenkammerentscheidung BK 1a-09/002.
- DIW ECON (2017): [Methodische Ansätze zur kausalen Analyse der Auswirkungen regulatorischer Maßnahmen](#). In: Evaluierung der Wirksamkeit von Regulierung im Telekommunikationssektor, abrufbar unter <https://diw-econ.de/publikationen/studien/evaluierung-der-wirksamkeit-von-regulierung-im-telekommunikationssektor/>. Zuletzt abgerufen am 09.07.20.
- Europäische Kommission (2020): Broadband connectivity, abrufbar unter: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/connectivity>, zuletzt abgerufen am: 13.07.2020.
- Europäische Kommission (2019): Broadband coverage in Europe 2018 final dataset, abrufbar unter: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=62761. Zuletzt aberufen am: 09.04.2020.
- Eurostat (2020a): Population on 1 January by age and sex, abrufbar unter: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_pjan&lang=en. Zuletzt abgerufen am 09.04.2020.
- Eurostat (2020b): BIP pro Kopf in KKS, abrufbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-datasets/product?code=sdg_10_10. Zuletzt abgerufen am:09.04.2020.

- Eurostat (2020c): Distribution of population by degree of urbanisation, abrufbar unter: <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>. Zuletzt abgerufen am: 28.04.2020.
- Eurostat (2020d): Area by NUTS 3 region, abrufbar unter: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_r_d3area&lang=en. Zuletzt abgerufen am: 04.05.2020.
- Eurostat (2019): Population density, abrufbar unter: <https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tps00003>. Zuletzt abgerufen am: 27.01.2020.
- Eurostat (2018): Glossary: Rural area, abrufbar unter: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Rural_area. Zuletzt abgerufen am: 28.04.2020.
- Electronic Communications Committee (ECC) (2016): ECC report 231, LTE coverage measurements, abrufbar unter: <https://www.ecodocdb.dk/download/494da92a-263a/ECCRep256.pdf>. Zuletzt abgerufen am: 10.03.2020.
- Electronic Communications Committee (ECC) (2016a): LTE Coverage Measurements – ECC Report 256.
- Electronic Communications Committee (ECC) (2015): ECC report 231, Mobile coverage obligations, abrufbar unter: <https://www.ecodocdb.dk/download/59a0f2f2-668b/ECCREP231.PDF>. Zuletzt abgerufen am: 10.03.2020.
- Electronic Communications Committee (ECC) (2008): Monitoring Methodology to Assess the Performance of GSM networks – ECC Report 118.
- Electronic Communications Committee (ECC) (2007): UMTS Coverage Measurements – ECC Report 103.
- Hayo, B. (1999): Money-output Granger causality revisited: An empirical analysis of EU countries, Applied Economics, 31(11), 1489-1501. IDATE Consulting & Research (2011). Broadband Coverage in Europe Final Report 2011 (Survey Data as of 31 December 2010), Studie für DG INFSO (Europäische Kommission), abrufbar unter: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7d2308bb-f9c9-485e-9113-c76789da39f0/language-en/format-PDF>. Zuletzt abgerufen am: 09.04.2020.
- IDATE Consulting & Research (2010): Broadband coverage in europe final report 2010 (Survey Data as of 31 December 2009), Studie für DG INFSO (Europäische Kommission), abrufbar unter: http://publications.europa.eu/resource/cellar/e768abd3-dddb-4d09-9938-a521c29dbaf1.0001.01/DOC_1. Zuletzt abgerufen am: 09.04.2020.
- IDATE Consulting & Research (2009): Broadband coverage in Europe final report 2009 (Survey Data as of 31 December 2008), Studie für DG INFSO (Europäische Kommission), abrufbar unter: <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/fb110e12-5598-41de-ac06-1052f52ce7f6/language-en/format-PDF/source-121293405>. Zuletzt abgerufen am: 09.04.2020.
- ITU (2020a): ICT Price Baskets (IPB), abrufbar unter: <https://www.itu.int/net4/ITU-D/ipb/#ipbtimeseries-tab>. Zuletzt abgerufen am: 28.04.2020.
- ITU (2020b): ICT Price Basket Methodology, abrufbar unter: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/definitions/pricemethodology.aspx>. Zuletzt abgerufen am: 28.04.2020.

- ITU (2019): World Telecommunication/ICT Indicators Database 2019 (23rd Edition/December 2019), abrufbar unter: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/wtid.aspx>. Zuletzt abgerufen am: 09.04.2020.
- ITU (2016): Office of Electronic Communications (UKE, Republic of Poland) contribution to the CWG-Internet Online Open Consultation (February- September 2016), abrufbar unter: <https://www.itu.int/en/council/cwg-internet/Pages/display-feb2016.aspx?ListItemID=22>. Zuletzt abgerufen am: 31.08.2020.
- Jobson, J. D. (1991): Applied Multivariate Data Analysis. Springer Verlag New York, Inc. 1991.
- Ofcom (2019): Economic Geography 2019 – An analysis of the determinants of mobile and fixed coverage in the UK.
- Ofcom (2014): Update on European auctions since Ofcom's consultation on Annual licence fees for 900 MHz and 1800 MHz spectrum, abrufbar unter: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0021/74109/telefonica_response.pdf. Zuletzt abgerufen am: 09.04.2020.
- Ofcom (2012): Spectrum value of 800MHz, 1800MHz and 2.6GHz, abrufbar unter: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/pdf_file/0025/74653/ofcom-4g-spectrum-reserve-prices.pdf. Zuletzt abgerufen am: 31.08.2020.
- Schularick, M./Taylor, A. M. (2012): Credit booms gone bust: Monetary policy, leverage cycles, and financial crises, 1870-2008. *American Economic Review*, 102(2), 1029-61.
- Stumpf et al. (2005): Der Einfluss der Frequenzausstattung auf die Wettbewerbsbedingungen im deutschen Mobilfunkmarkt. Studie für die E-Plus Mobilfunk.
- Tofallis, C. (2014): Add or multiply? A tutorial on ranking and choosing with multiple criteria. *INFORMS Transactions on education*, 14(3), 109-119.
- Umlaut & WIK (2019): Abschlussbericht zur Versorgungs- und Kostenstudie Mobilfunk. BMVI 1902/DG12, abrufbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/versorgungs-und-kostenstudie-mobilfunk.pdf?__blob=publicationFile. Zuletzt abgerufen am 25.09.2020.
- Wooldridge, J. M. (2016): Introductory econometrics: A modern approach. Nelson Education.
- Wooldridge, J. M. (2010): Econometric analysis of cross section and panel data. The MIT Press.

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

- Nr. 393: Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Implikationen der Internationalisierung von Telekommunikationsnetzen und Diensten für die Nummernverwaltung, Dezember 2014
- Nr. 394: Rolf Schwab:
Stand und Perspektiven von LTE in Deutschland, Dezember 2014
- Nr. 395: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Produktive Effizienz von Postdienstleistern, November 2014
- Nr. 396: Petra Junk, Sonja Thiele:
Methoden für Verbraucherbefragungen zur Ermittlung des Bedarfs nach Post-Universaldienst, Dezember 2014
- Nr. 397: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Analyse des Preissetzungsverhaltens der Netzbetreiber im Zähl- und Messwesen, März 2015
- Nr. 398: Annette Hillebrand, Martin Zauner:
Qualitätsindikatoren im Brief- und Paketmarkt, Mai 2015
- Nr. 399: Stephan Schmitt, Marcus Stronzik:
Die Rolle des generellen X-Faktors in verschiedenen Regulierungsregimen, Juli 2015
- Nr. 400: Franz Büllingen, Solveig Börnsen:
Marktorganisation und Marktrealität von Machine-to-Machine-Kommunikation mit Blick auf Industrie 4.0 und die Vergabe von IPv6-Nummern, August 2015
- Nr. 401: Lorenz Nett, Stefano Lucidi, Ulrich Stumpf:
Ein Benchmark neuer Ansätze für eine innovative Ausgestaltung von Frequenzgebühren und Implikationen für Deutschland, November 2015
- Nr. 402: Christian M. Bender, Alex Kalevi Dieke, Petra Junk:
Zur Marktabgrenzung bei Kurier-, Paket- und Expressdiensten, November 2015
- Nr. 403: J. Scott Marcus, Christin Gries, Christian Wernick, Imme Philbeck:
Entwicklungen im internationalen Mobile Roaming unter besonderer Berücksichtigung struktureller Lösungen, Januar 2016
- Nr. 404: Karl-Heinz Neumann, Stephan Schmitt, Rolf Schwab unter Mitarbeit von Marcus Stronzik:
Die Bedeutung von TAL-Preisen für den Aufbau von NGA, März 2016
- Nr. 405: Caroline Held, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum:
Entgelte für den Netzzugang zu staatlich geförderter Breitband-Infrastruktur, März 2016
- Nr. 406: Stephan Schmitt, Matthias Wissner:
Kapazitätsmechanismen – Internationale Erfahrungen, April 2016
- Nr. 407: Annette Hillebrand, Petra Junk:
Paketshops im Wettbewerb, April 2016
- Nr. 408: Tseveen Gantumur, Iris Henseler-Unger, Karl-Heinz Neumann:
Wohlfahrtsökonomische Effekte einer Pure LRIC - Regulierung von Terminierungsentgelten, Mai 2016
- Nr. 409: René Arnold, Christian Hildebrandt, Martin Waldburger:
Der Markt für Over-The-Top Dienste in Deutschland, Juni 2016
- Nr. 410: Christian Hildebrandt, Lorenz Nett:
Die Marktanalyse im Kontext von mehrseitigen Online-Plattformen, Juni 2016
- Nr. 411: Tseveen Gantumur, Ulrich Stumpf:
NGA-Infrastrukturen, Märkte und Regulierungsregime in ausgewählten Ländern, Juni 2016
- Nr. 412: Alex Dieke, Antonia Niederprüm, Sonja Thiele:
UPU-Endvergütungen und internationaler E-Commerce, September 2016 (in deutscher und englischer Sprache verfügbar)

- Nr. 413: Sebastian Tenbrock, René Arnold:
Die Bedeutung von Telekommunikation in intelligent vernetzten PKW, Oktober 2016
- Nr. 414: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Big Data und OTT-Geschäftsmodelle sowie daraus resultierende Wettbewerbsprobleme und Herausforderungen bei Datenschutz und Verbraucherschutz, November 2016
- Nr. 415: J. Scott Marcus, Christian Wernick:
Ansätze zur Messung der Performance im Best-Effort-Internet, November 2016
- Nr. 416: Lorenz Nett, Christian Hildebrandt:
Marktabgrenzung und Marktmacht bei OTT-0 und OTT-1-Diensten, Eine Projektskizze am Beispiel von Instant-Messenger-Diensten, Januar 2017
- Nr. 417: Peter Kroon:
Maßnahmen zur Verhinderung von Preis-Kosten-Scheren für NGA-basierte Dienste, Juni 2017
- Nr. 419: Stefano Lucidi:
Analyse marktstruktureller Kriterien und Diskussion regulatorischer Handlungsoptionen bei engen Oligopolen, April 2017
- Nr. 420: J. Scott Marcus, Christian Wernick, Tseveen Gantumur, Christin Gries:
Ökonomische Chancen und Risiken einer weitreichenden Harmonisierung und Zentralisierung der TK-Regulierung in Europa, Juni 2017
- Nr. 421: Lorenz Nett:
Incentive Auctions als ein neues Instrument des Frequenzmanagements, Juli 2017
- Nr. 422: Christin Gries, Christian Wernick:
Bedeutung der embedded SIM (eSIM) für Wettbewerb und Verbraucher im Mobilfunkmarkt, August 2017
- Nr. 423: Fabian Queder, Nicole Angenendt, Christian Wernick:
Bedeutung und Entwicklungsperspektiven von öffentlichen WLAN-Netzen in Deutschland, Dezember 2017
- Nr. 424: Stefano Lucidi, Bernd Sörries, Sonja Thiele:
Wirksamkeit sektorspezifischer Verbraucherschutzregelungen in Deutschland, Januar 2018
- Nr. 425: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzpolitische Herausforderungen durch das Internet der Dinge - künftiger Frequenzbedarf durch M2M-Kommunikation und frequenzpolitische Handlungsempfehlungen, März 2018
- Nr. 426: Saskja Schäfer, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum unter Mitarbeit von Stephan Schmitt:
Zugang zu gebäudeinterner Infrastruktur und adäquate Bepreisung, April 2018
- Nr. 427: Christian Hildebrandt, René Arnold:
Marktbeobachtung in der digitalen Wirtschaft – Ein Modell zur Analyse von Online-Plattformen, Mai 2018
- Nr. 428: Christin Gries, Christian Wernick:
Treiber und Hemmnisse für kommerziell verhandelten Zugang zu alternativen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, Juli 2018
- Nr. 429: Serpil Taş, René Arnold:
Breitbandinfrastrukturen und die künftige Nutzung von audiovisuellen Inhalten in Deutschland: Herausforderungen für Kapazitätsmanagement und Netzneutralität, August 2018
- Nr. 430: Sebastian Tenbrock, Sonia Strube Martins, Christian Wernick, Fabian Queder, Iris Henseler-Unger:
Co-Invest Modelle zum Aufbau von neuen FTTB/H-Netzinfrastrukturen, August 2018
- Nr. 431: Johanna Bott, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Die Nutzung von Daten durch OTT-Dienste zur Abschöpfung von Aufmerksamkeit und Zahlungsbereitschaft: Implikationen für Daten- und Verbraucherschutz, Oktober 2018
- Nr. 432: Petra Junk, Antonia Niederprüm:
Warenversand im Briefnetz, Oktober 2018

- Nr. 433: Christian M. Bender, Annette Hillebrand:
Auswirkungen der Digitalisierung auf die Zustellogistik, Oktober 2018
- Nr. 434: Antonia Niederprüm:
Hybridpost in Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 436: Petra Junk:
Digitalisierung und Briefsubstitution: Erfahrungen in Europa und Schlussfolgerungen für Deutschland, Oktober 2018
- Nr. 437: Peter Kroon, René Arnold:
Die Bedeutung von Interoperabilität in der digitalen Welt – Neue Herausforderungen in der interpersonellen Kommunikation, Dezember 2018
- Nr. 438: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Auswirkung von Bündelprodukten auf den Wettbewerb, März 2019
- Nr. 439: Christian M. Bender, Sonja Thiele:
Der deutsche Postmarkt als Infrastruktur für europäischen E-Commerce, April 2019
- Nr. 440: Serpil Taş, René Arnold:
Auswirkungen von OTT-1-Diensten auf das Kommunikationsverhalten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Juni 2019
- Nr. 441: Serpil Taş, Christian Hildebrandt, René Arnold:
Sprachassistenten in Deutschland, Juni 2019
- Nr. 442: Fabian Queder, Marcus Stronzik, Christian Wernick:
Auswirkungen des Infrastrukturwettbewerbs durch HFC-Netze auf Investitionen in FTTP-Infrastrukturen in Europa, Juni 2019
- Nr. 443: Lorenz Nett, Bernd Sörries:
Infrastruktur-Sharing und 5G: Anforderungen an Regulierung, neue wettbewerbliche Konstellationen, Juli 2019
- Nr. 444: Pirmin Puhl, Martin Lundborg:
Breitbandzugang über Satellit in Deutschland – Stand der Marktentwicklung und Entwicklungsperspektiven, Juli 2019
- Nr. 445: Bernd Sörries, Marcus Stronzik, Sebastian Tenbrock, Christian Wernick, Matthias Wissner:
Die ökonomische Relevanz und Entwicklungsperspektiven von Blockchain: Analysen für den Telekommunikations- und Energiemarkt, August 2019
- Nr. 446: Petra Junk, Julia Wielgosch:
City-Logistik für den Paketmarkt, August 2019
- Nr. 447: Marcus Stronzik, Matthias Wissner:
Entwicklung des Effizienzvergleichs in Richtung Smart Grids, September 2019
- Nr. 448: Christian M. Bender, Antonia Niederprüm:
Berichts- und Anzeigepflichten der Unternehmen und mögliche Weiterentwicklungen der zugrundeliegenden Rechtsnormen im Postbereich, September 2019
- Nr. 449: Ahmed Elbanna unter Mitwirkung von Fabian Eltges:
5G Status Studie: Herausforderungen, Standardisierung, Netzarchitektur und geplante Netzentwicklung, Oktober 2019
- Nr. 450: Stefano Lucidi, Bernd Sörries:
Internationale Vergleichsstudie bezüglich der Anwendung und Umsetzung des Nachbildbarkeitsansatzes, Dezember 2019
- Nr. 451: Matthias Franken, Matthias Wissner, Bernd Sörries:
Entwicklung der funkbasierten Digitalisierung in der Industrie, Energiewirtschaft und Landwirtschaft und spezifische Frequenzbedarfe, Dezember 2019
- Nr. 452: Bernd Sörries, Lorenz Nett:
Frequenzmanagement: Lokale/regionale Anwendungsfälle bei 5G für bundesweite Mobilfunknetzbetreiber sowie für regionale und lokale Betreiber unter besonderer Betrachtung der europäischen Länder sowie von China, Südkorea und den Vereinigten Staaten von Amerika, Dezember 2019
- Nr. 453: Martin Lundborg, Christian Märkel, Lisa Schrade-Grytsenko, Peter Stamm:
Künstliche Intelligenz im Telekommunikationssektor – Bedeutung, Entwick-

- lungsperspektiven und regulatorische Implikationen, Dezember 2019
- Nr. 454: Fabian Eltges, Petra Junk:
Entwicklungstrends im Markt für Zeitungen und Zeitschriften, Dezember 2019
- Nr. 455: Christin Gries, Julian Knips, Christian Wernick:
Mobilfunkgestützte M2M-Kommunikation in Deutschland – zukünftige Marktentwicklung und Nummerierungsbedarf, Dezember 2019
- Nr. 456: Menessa Ricarda Braun, Christian Wernick, Thomas Plückebaum, Martin Ockenfels:
Parallele Glasfaserausbauten auf Basis von Mitverlegung und Mitnutzung gemäß DigiNetzG als Möglichkeiten zur Schaffung von Infrastrukturwettbewerb, Dezember 2019
- Nr. 457: Thomas Plückebaum, Martin Ockenfels:
Kosten und andere Hemmnisse der Migration von Kupfer- auf Glasfasernetze, Februar 2020
- Nr. 458: Andrea Liebe, Jonathan Lennartz, René Arnold:
Strategische Ausrichtung bedeutender Anbieter von Internetplattformen, Februar 2020
- Nr. 459: Sebastian Tenbrock, Julian Knips, Christian Wernick:
Status quo der Abschaltung der Kupfernetzinfrastruktur in der EU, März 2020
- Nr. 460: Stefano Lucidi, Martin Ockenfels, Bernd Sörries:
Anhaltspunkte für die Replizierbarkeit von NGA-Anschlüssen im Rahmen des Art. 61 Abs. 3 EKEK, März 2020
- Nr. 461: Fabian Eltges, Gabriele Kulenkampff, Thomas Plückebaum, Desislava Sabeva:
SDN/NFV und ihre Auswirkungen auf die Kosten von Mobilfunk und Festnetz im regulatorischen Kontext, März 2020
- Nr. 462: Lukas Wiewiorra, Andrea Liebe, Serpil Taş
Die wettbewerbliche Bedeutung von Single-Sign-On- bzw. Login-Diensten und ihre Relevanz für datenbasierte Geschäftsmodelle sowie den Datenschutz, Juni 2020
- Nr. 463: Bernd Sörries, Lorenz Nett, Matthias Wissner
Die Negativauktion als ein Instrument zur Versorgung weißer Flecken mit Mobilfunkdiensten, Dezember 2020
- Nr. 464: Sebastian Tenbrock, Christian Wernick:
Incumbents als Nachfrager von Vorleistungen auf FTTB/H-Netzen, Dezember 2020
- Nr. 465: Marcus Stronzik, Gonzalo Zuloaga:
Empirische Untersuchung der FTTB/H-Ausbauaktivität im europäischen Vergleich, Dezember 2020
- Nr. 466: Antonia Niederprüm mit Unterstützung von Gonzalo Zuloaga und Willem van Lienden:
Verbundproduktion im Zustellmarkt: Briefnetze mit Paketen oder Paketnetze mit Briefen?, Dezember 2020
- Nr. 467: Serpil Taş, Lukas Wiewiorra (in Zusammenarbeit mit dem Weizenbaum-Institut):
Multihoming bei Plattformdiensten – Eine nachfrageseitige Betrachtung, Dezember 2020
- Nr. 468: Menessa Ricarda Braun, Julian Knips, Christian Wernick:
Die Angebotsentwicklung auf dem deutschen Mobilfunkmarkt 2017-2020, Dezember 2020
- Nr. 469: Isabel Gull, Lisa Schrade-Grytsenko, Martin Lundborg:
Cloud-Lösungen und KI-as-a-Service – Aktuelle und potenzielle Anwendungsszenarien und Marktentwicklungen, Dezember 2020
- Nr. 470: Bernd Sörries, Matthias Franken, Dajan Baischew, Stefano Lucidi:
Einfluss von Versorgungsaufgaben auf die Mobilfunkabdeckung in der EU, Dezember 2020

ISSN 1865-8997